

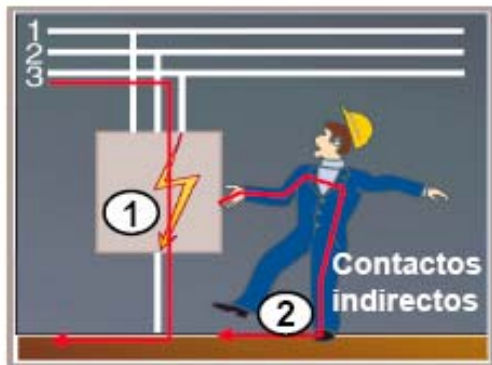
Schneider
Electric

Protecção de pessoas

Sistemas de ligação à terra

Os perigos da corrente eléctrica

- Definição dos riscos



O fluxo de corrente nas instalações eléctricas comporta sempre riscos.

Aparelhos mal isolados, defeitos de cablagem ou utilização incorrecta de um dispositivo podem provocar perigos importantes ao nível dos equipamentos (incêndio) e das pessoas (electrocussão).

Electrização : *aplicação de uma tensão entre 2 partes do corpo humano.*

Electrocussão : *electrização que provoca a morte.*

Riscos numa instalação eléctrica

➡ Curto-circuitos

➡ Sobrecargas

➡ Correntes de fuga

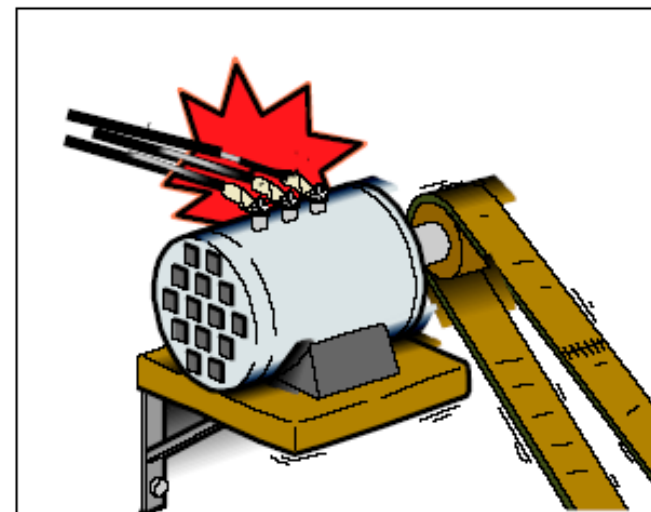
➤ *Deterioração do isolamento de um condutor*

➤ **Causas**

correntes de fuga à terra (fase/massa)

➤ **Consequências**

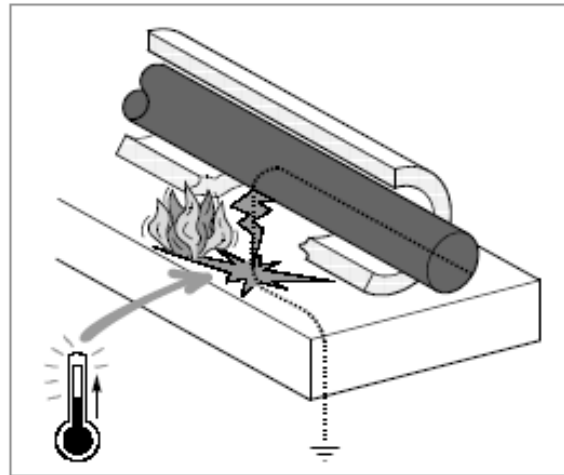
incêndios
electrocução
destruição dos receptores



Corrente de fuga à terra

Na maioria das situações, resulta da deterioração do isolamento entre 2 condutores ou entre um condutor e a massa.

Risco de incêndio



*Nota importante :
30% dos incêndios
domésticos são devidos a
estes "fogos eléctricos".*

- A corrente toma um caminho não previsto o que provoca um sobreaquecimento podendo **originar incêndios**.
- As fugas à terra podem também ser provocadas por outros factores nomeadamente superfícies isolantes sujas.

Estas correntes de fuga na superfície apresentam sérios riscos para as pessoas quando são postas em contacto com estas superfícies.

Efeitos da corrente ao passar pelo corpo humano

Norma CEI 60479-1 e CEI 479-2



Os perigos que as pessoas correm quando são atravessadas pela corrente eléctrica dependem essencialmente da sua intensidade e do tempo de passagem.

Esta corrente depende da *tensão de contacto* que se aplica sobre esta pessoa, assim como da *impedância* encontrada pela corrente ao longo do seu caminho no corpo humano.

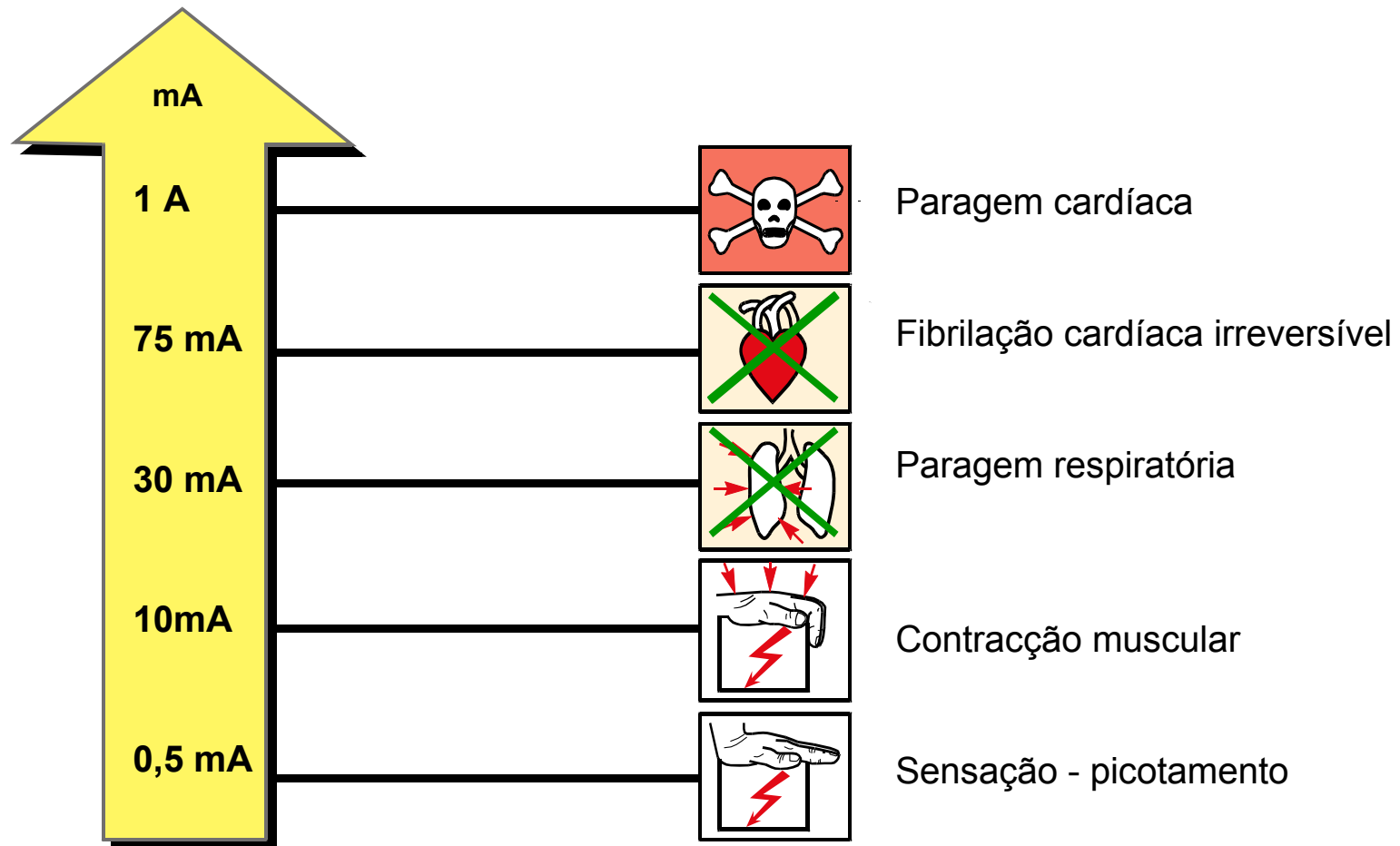
Esta relação não é linear, porque a impedância depende do trajeto, da frequência da corrente e da tensão de contacto aplicada assim como do estado de humidade da pele.

Proteger o homem dos efeitos perigosos da corrente eléctrica é prioritária, o risco de electrização é sempre o primeiro a tomar em consideração.

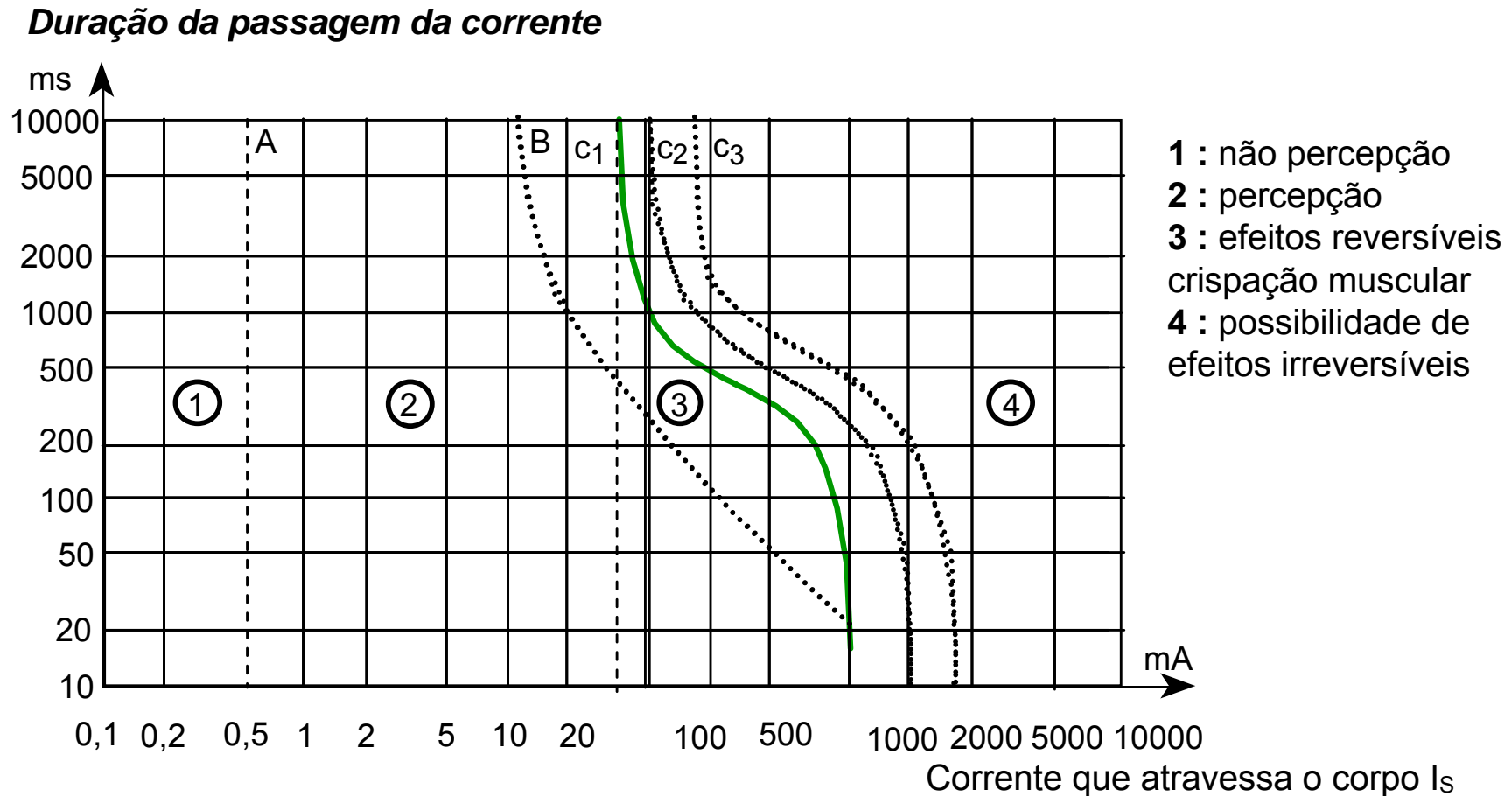
Efeitos da corrente alternada entre os 15 e 100Hz

IEC 60479-1

Valores críticos em corrente



Os choques eléctricos



A **curva C1** da CEI 479.1. : Curva tempo (ms)/corrente (mA) de 15 a 100 Hz

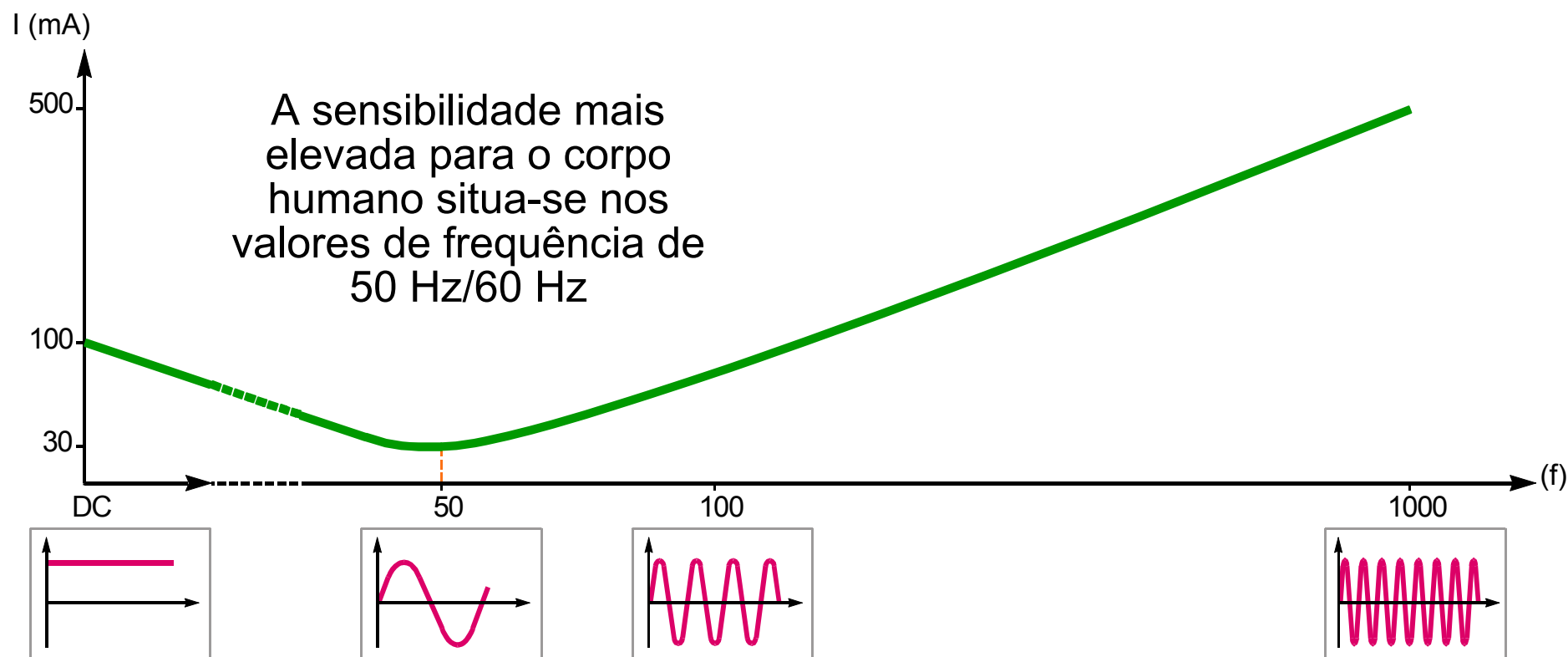
Define o limite de exposição tempo/corrente a um choque eléctrico **não deve ser ultrapassada !...**

Efeitos da corrente alternada >100Hz

1. Quanto maior for a frequência menores são os riscos de fibrilação cardíaca.
2. Aumentam os riscos de queimadura.
3. Quanto maior o valor da frequência (entre 200 e 400 Hz), mais a impedância do corpo diminui.

Consideram-se geralmente idênticas as condições de protecção de pessoas para contactos indirectos em 400Hz e 50/60 Hz.

Sensibilidade do corpo humano à frequência



Protecção contra os contactos directos e indirectos

Definições .

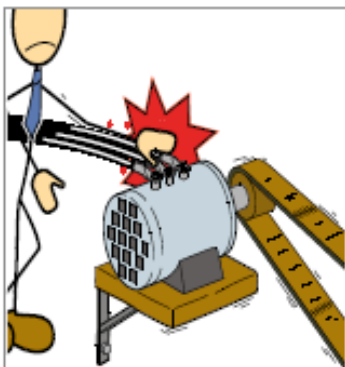
Contacto directo : contacto das pessoas (ou de animais) com as partes activas do material eléctrico



Contacto indirecto : contacto das pessoas (ou de animais) com as massas colocadas acidentalmente sob tensão



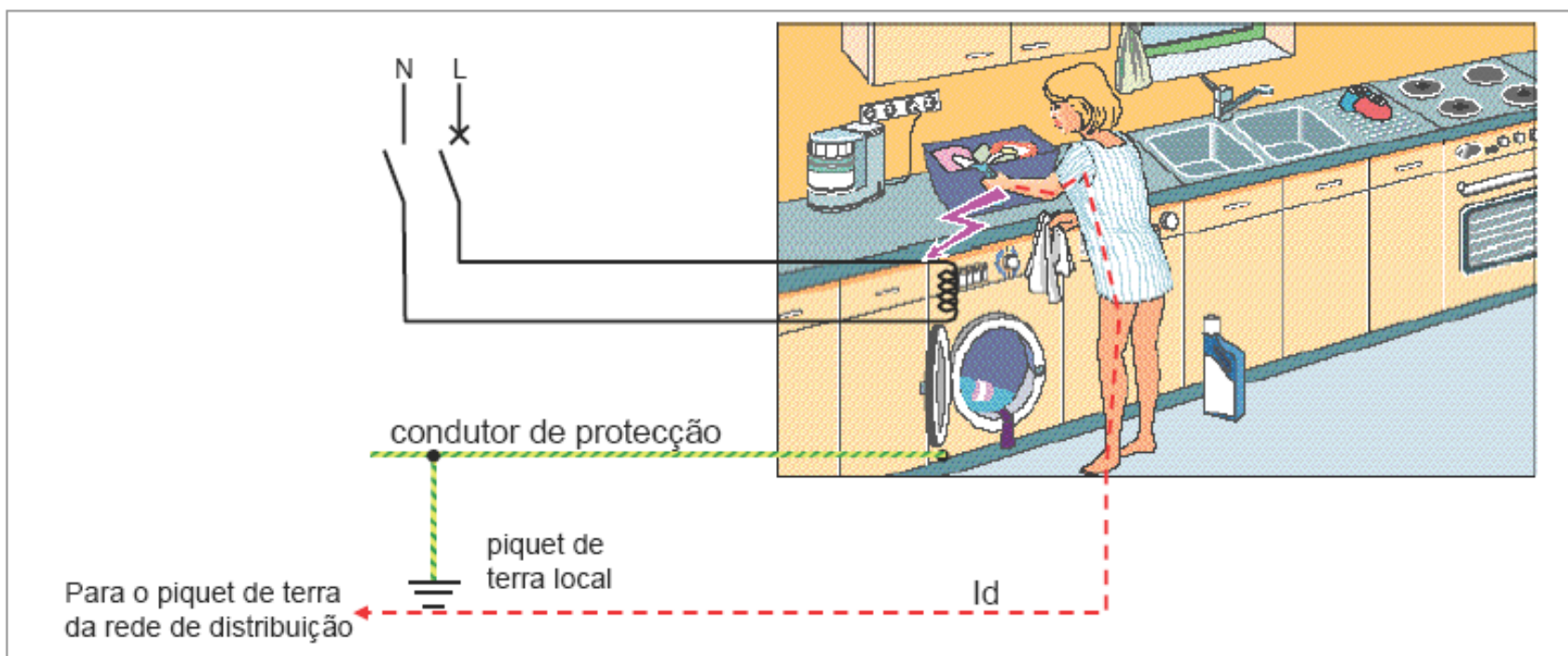
Massa : Parte conductora acessível que não é uma parte activa mas que pode ser colocada sob tensão em caso de defeito (isolamento).



Contacto directo: contacto das pessoas (ou de animais) com as partes activas do material eléctrico

Características

Qualquer que seja o regime de neutro, no caso de um contacto directo, a corrente que retorna à fonte é a que atravessa o corpo humano



Meios de protecção contra os contactos directos

A primeira forma de protecção consiste em pervenir todo o risco de contacto directo com uma peça sob tensão:

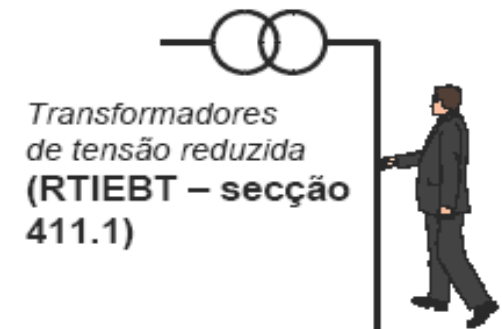
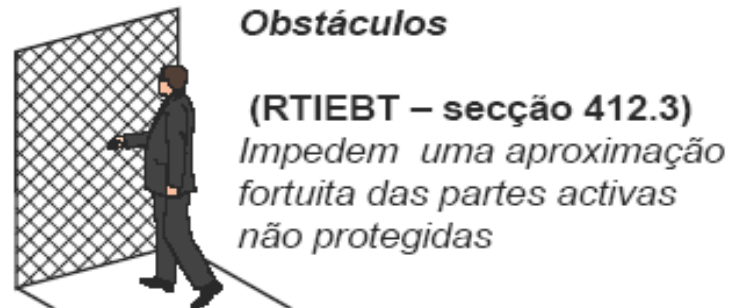
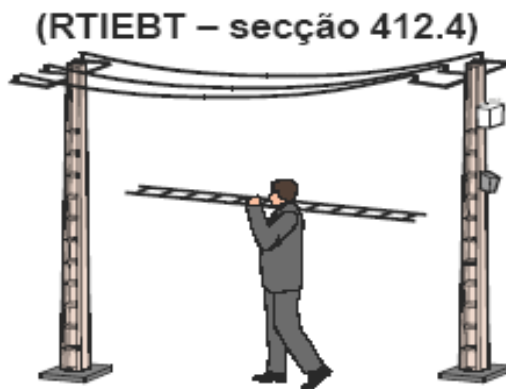
Esta protecção deverá ser realizada logo :

- ✓ na construção do material eléctrico
- ✓ na sua instalação

Meios de protecção contra os contactos directos

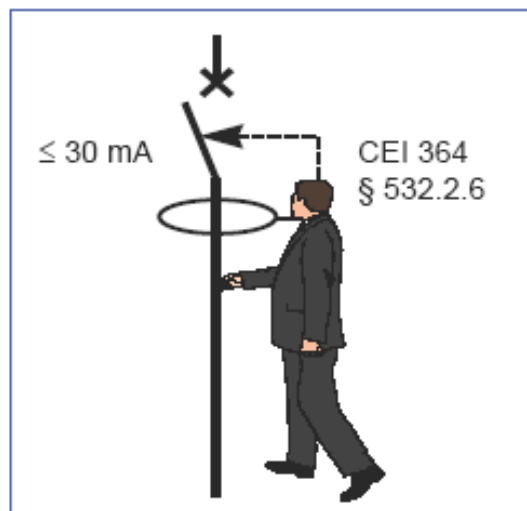


Afastamento



Medidas complementares

- RTIEBT – secção 412.5 / 481.3.1.2

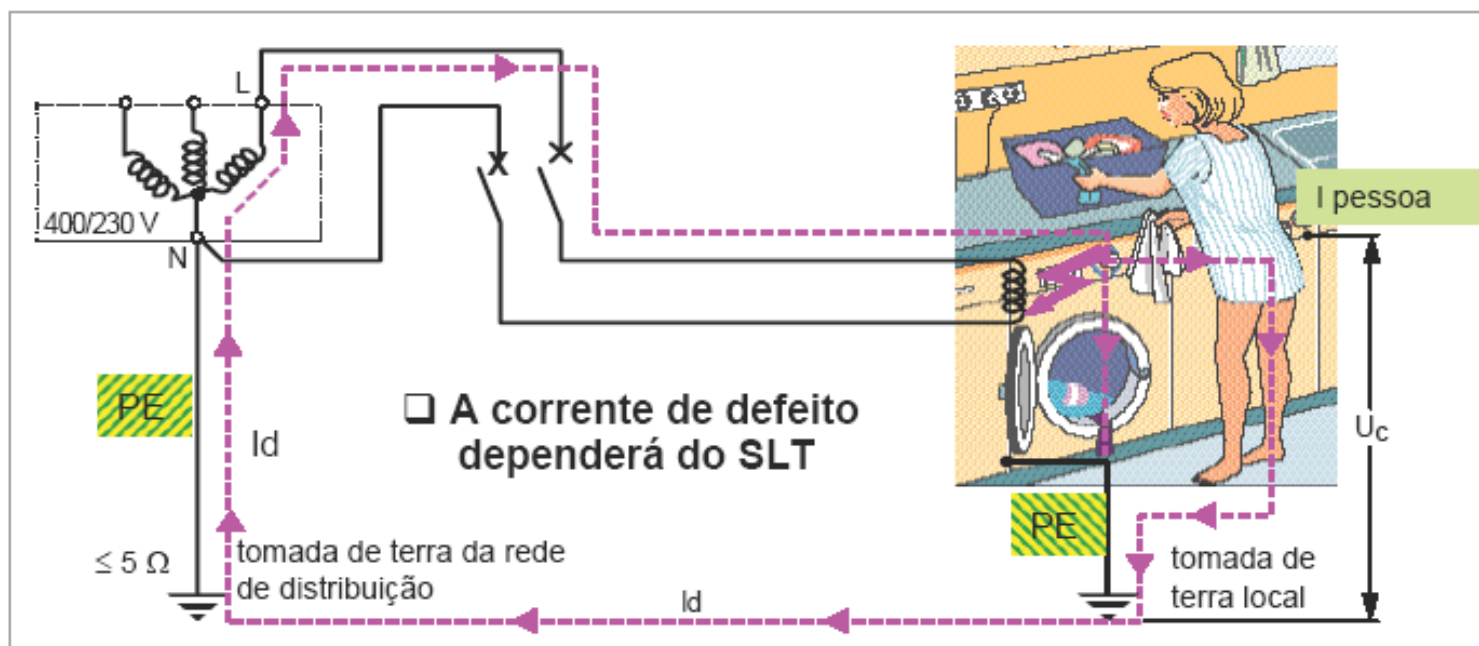


O emprego de dispositivos diferenciais, de corrente residual estipulada não superior a 30mA, é reconhecido como medida de protecção complementar em caso de falha de outras medidas de protecção para contactos directos ou em caso de imprudência dos utilizadores

Contacto indirecto: contacto de pessoas (ou animais) com **massas colocadas acidentalmente** sob tensão

Características

A corrente de defeito não circula integralmente através do corpo humano .



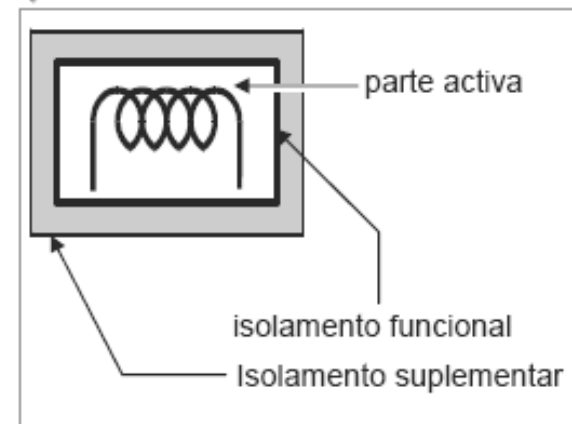
A protecção contra os contactos indirectos pressupõe a utilização de material eléctrico **seguro e com boa manutenção.**

Meios de protecção contra os **contactos indirectos** sem corte automático de alimentação

se não for possível realizar o corte automático de alimentação,
(RTIEBT secção 413.2 e seguintes)

☐ Emprego de material de classe II =

simbolo 



☐ Afastamento ou interposição de obstáculos isolantes

☐ Ligações equipotenciais locais não religadas à terra

☐ Protecção por separação eléctrica dos circuitos

ex. : transformador de separação 230V/230V.



Meios de protecção contra os **contactos indirectos** sem corte automático de alimentação

Protecção por tensão reduzida (secção 411.1)

transformador de separação secundária ($U_n < 50 \text{ V}$),



Tipo TRS (para circuitos não ligados à terra) ou
TRP (para circuitos ligados à terra)

RTIEBT – secção 413 – protecção contra os contactos indirectos

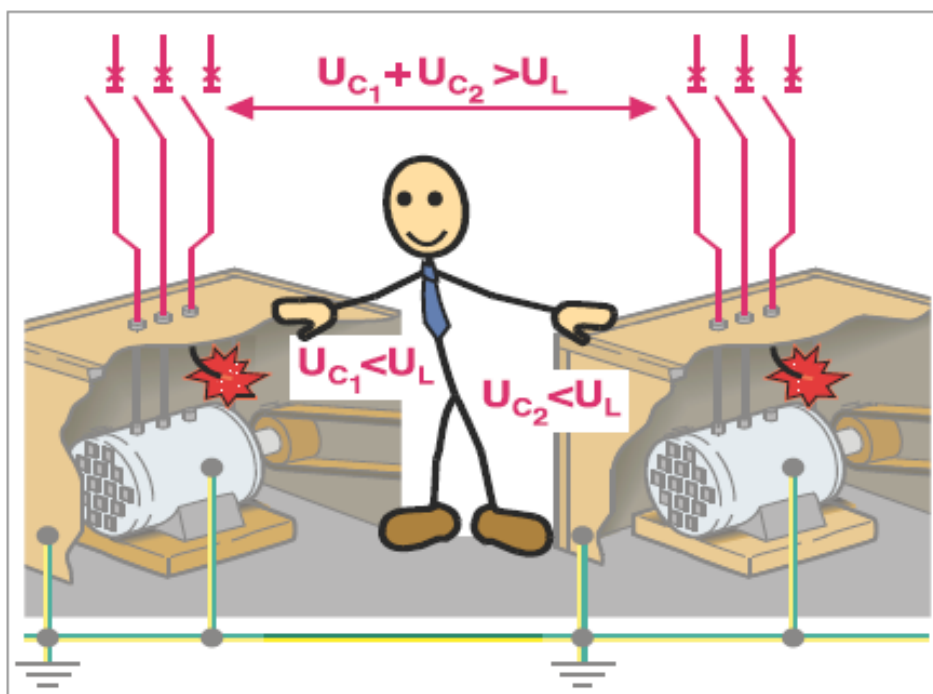
Protecção por corte automático de alimentação (413.1)

Ligação à terra de todas as massas dos materiais eléctricos e de todos os elementos condutores acessíveis.

Duas massas simultaneamente acessíveis devem ser religadas a uma mesma tomada de terra.

Colocação fora de tensão automática da parte onde se produzir um defeito de isolamento, por um dispositivo de protecção (de acordo com o sistema de ligação à terra).

Este dispositivo de protecção deve funcionar num tempo compatível com os quadros. **“Duração máxima da tensão de contacto”.**



Princípio :

- Ligação à terra de todas as massas dos materiais eléctricos e de todos os elementos condutores acessíveis
- Duas massas simultaneamente acessíveis devem ser religadas a uma mesma tomada de terra

Corte de alimentação

413.1.1.1/ 481.3.1.1

Duração máxima de manutenção da tensão de contacto nas condições correspondentes a UL= 50 Vac ou UL=120Vdc

Quadro 41 GA

| tensão de contacto presumida (V) | tempo de corte Máximo do dispositivo de protecção (s) | |
|----------------------------------|---|-------------------|
| | corrente alterna | corrente contínua |
| < 50 | 5 | 5 |
| 50 | 5 | 5 |
| 75 | 0,60 | 5 |
| 90 | 0,45 | 5 |
| 120 | 0,34 | 5 |
| 150 | 0,27 | 1 |
| 220 | 0,17 | 0,4 |
| 280 | 0,12 | 0,3 |
| 350 | 0,08 | 0,2 |
| 500 | 0,04 | 0,1 |

Duração máxima de manutenção da tensão de contacto nas condições correspondentes a UL= 25 Vac ou UL=60Vdc

Quadro 48 GE

| tensão de contacto presumida (V) | tempo de corte Máximo do dispositivo de protecção (s) | |
|----------------------------------|---|-------------------|
| | corrente alterna | corrente contínua |
| 25 | 5 | 5 |
| 50 | 0,48 | 5 |
| 75 | 0,30 | 2 |
| 90 | 0,25 | 0,80 |
| 110 | 0,18 | 0,50 |
| 150 | 0,12 | 0,25 |
| 230 | 0,05 | 0,06 |
| 280 | 0,02 | 0,02 |

Protecção contra os contactos indirectos com corte automático de alimentação

**Emprego de dispositivo diferencial alta sensibilidade ($I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$)
para os circuitos : Ver parte 7 das RTIEBT**

- de tomadas de corrente estipulada $\geq 32\text{A}$ qualquer que seja o local,
- tomadas de corrente em locais molhados qualquer que seja a corrente estipulada,
- tomadas de corrente em instalações temporárias, de alimentação a:
 - caravanas, barcos de passeio, instalações florestais, salas de água e piscinas.

Nota : esta protecção pode ser individual por circuito ou por grupo de circuitos.

**Emprego de dispositivo diferencial de sensibilidade ($I_{\Delta n} \leq 500 \text{ mA}$)
Em locais classificados com risco de incêndio (*secção 705.422*)**

Protecção contra os choques eléctricos – RTIEBT . 481

curvas da segurança

As medidas de protecção com corte automático de alimentação são baseadas no respeito das curvas de segurança.

Tensão limite convencional absoluta U_L

É a tensão máxima à qual pode ser, indefinidamente submetida, uma pessoa nas condições dadas

U_L depende da resistência do corpo humano que é, notavelmente, função do estado de humidade da pele (código BB)

- Por convenção, são definidos três estados para o corpo humano
- RTIEBT – secção 322.2- resistência eléctrica do corpo humano

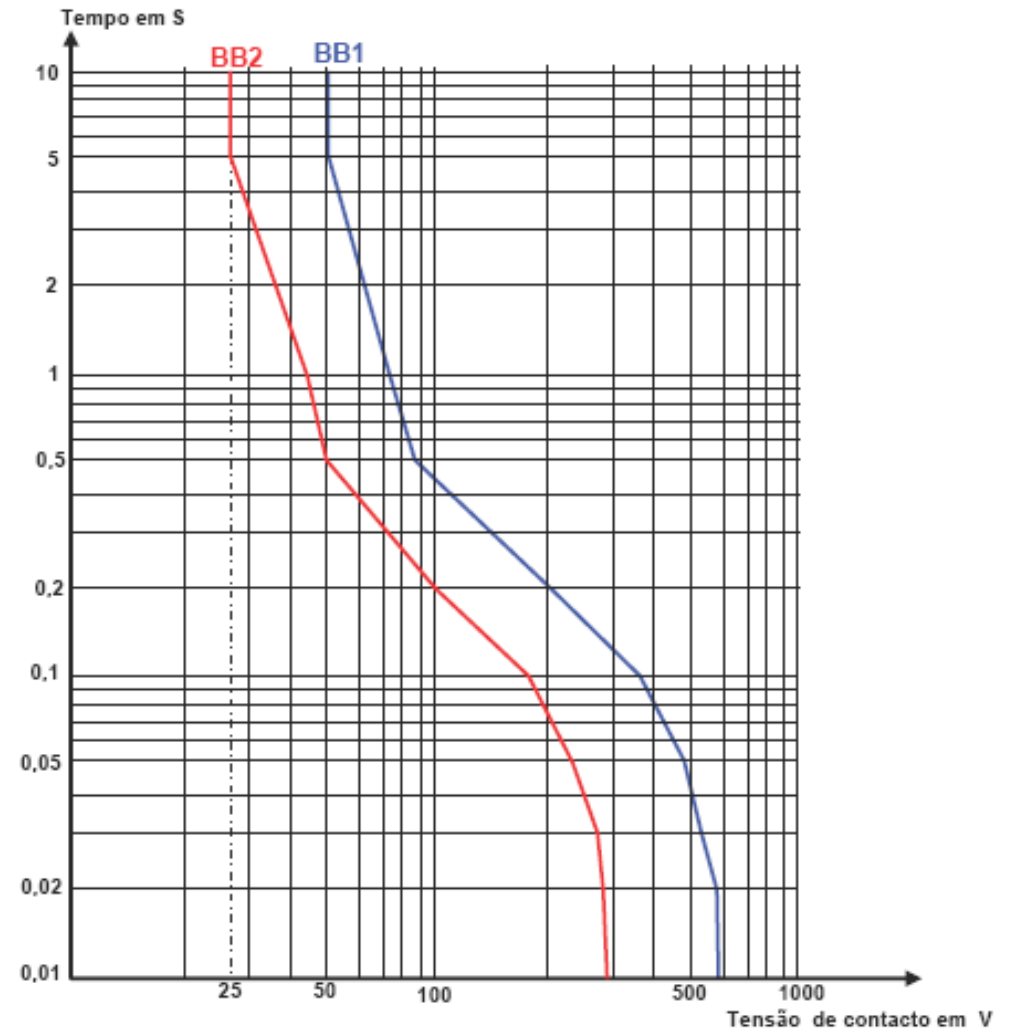
| Código | Estado do corpo humano | Tensão limite Convencional absoluta UL em Volts | | |
|--------|---------------------------------------|--|-----------------------------------|--------------------------------|
| | | Corrente Alternada (AC) | Corrente Contínua não Lisa (DC) | Corrente Contínua lisa (DCL) |
| BB1 | Pele seca ou húmida por suor – Normal | RTIEBT -413.1 50 | 75 | 120 |
| BB2 | Pele molhada – baixa | RTIEBT -481.3 25 | 36 | 60 |
| BB3 | Pele imersa – muito baixa | 12 | 18 | 30 |

Tensão Limite convencional relativa

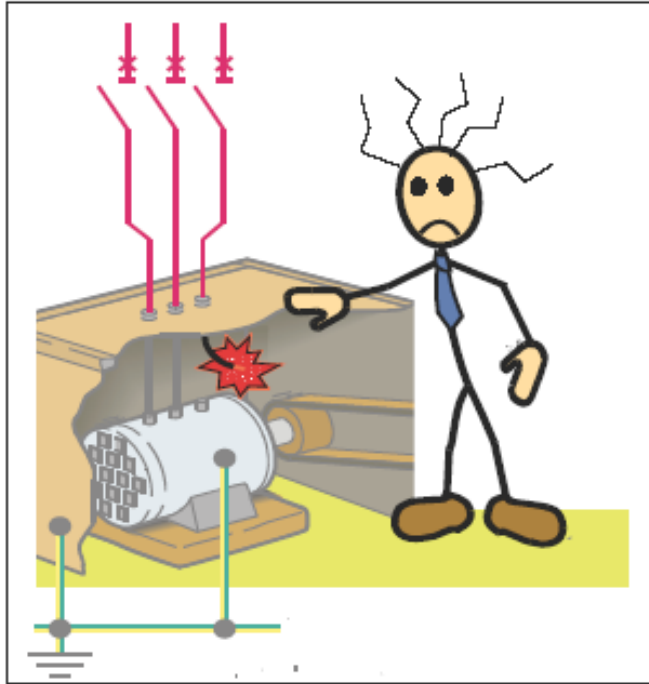
$UL(t)$ = curvas de segurança

Indica o tempo máximo durante o qual uma pessoa pode ser submetida a uma dada tensão.

| Tempo máximo (s) | $U_L(t)$ (V) | |
|------------------|--------------|--------|
| | BB1 AC | BB2 AC |
| ∞ | < 50 | < 25 |
| 5 | 50 | 25 |
| 1 | 72 | 43 |
| 0,5 | 87 | 50 |
| 0,2 | 207 | 109 |
| 0,1 | 340 | 170 |
| 0,05 | 465 | 227 |
| 0,03 | 520 | 253 |
| 0,02 | 543 | 263 |
| 0,01 | 565 | 275 |



Princípio da protecção



Se U_c (tensão de contacto) $\leq U_L$

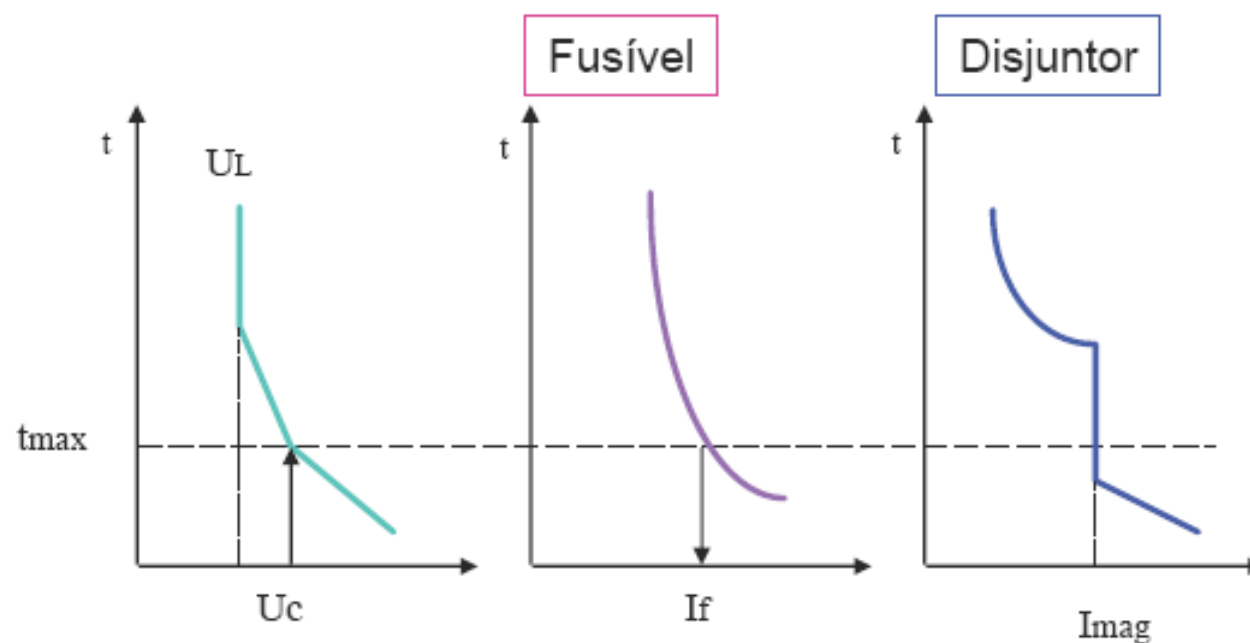


protecção de pessoas assegurada

Se U_c (tensão de contacto) $> U_L$



disparo obrigatório no tempo exigido pelas curvas de segurança



★ Tomar em consideração as tolerâncias dos equipamentos de protecção

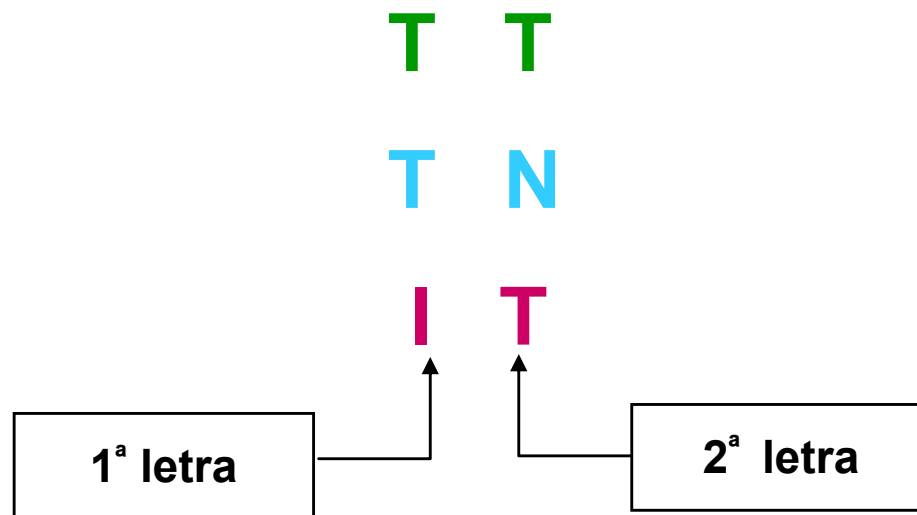
A colocação fora de tensão da instalação ou parte da instalação faz-se de diferente forma (equipamentos) de acordo com os **sistemas de ligação à terra**

Os sistemas de ligação à terra

Generalidades sobre os sistemas de ligação à terra

- SLT – Sistema de Ligação à Terra caracteriza:
 - O modo de ligação à terra de um dos pontos de alimentação (em geral o neutro)
 - A forma de colocação á terra das massas de utilização
- ☐ A escolha destas ligações condiciona as medidas de protecção de pessoas contra os contactos indirectos.
- ☐ Em critérios de segurança de pessoas, os três sistemas são equivalentes se todas as regras de instalação forem respeitadas.
- ☐ São os imperativos de continuidade de serviço e de condições de exploração que determinam a ou as escolhas dos sistemas de ligação à terra (ou regimes de neutro).

Sistema



Situação da alimentação / terra :

T = ligação directa de um ponto com a terra
I = isolado ou impedante

Situação das massas da instalação / terra:

T = massas religadas directamente à terra
N = massas religadas ao ponto de Neutro

esquema

T N

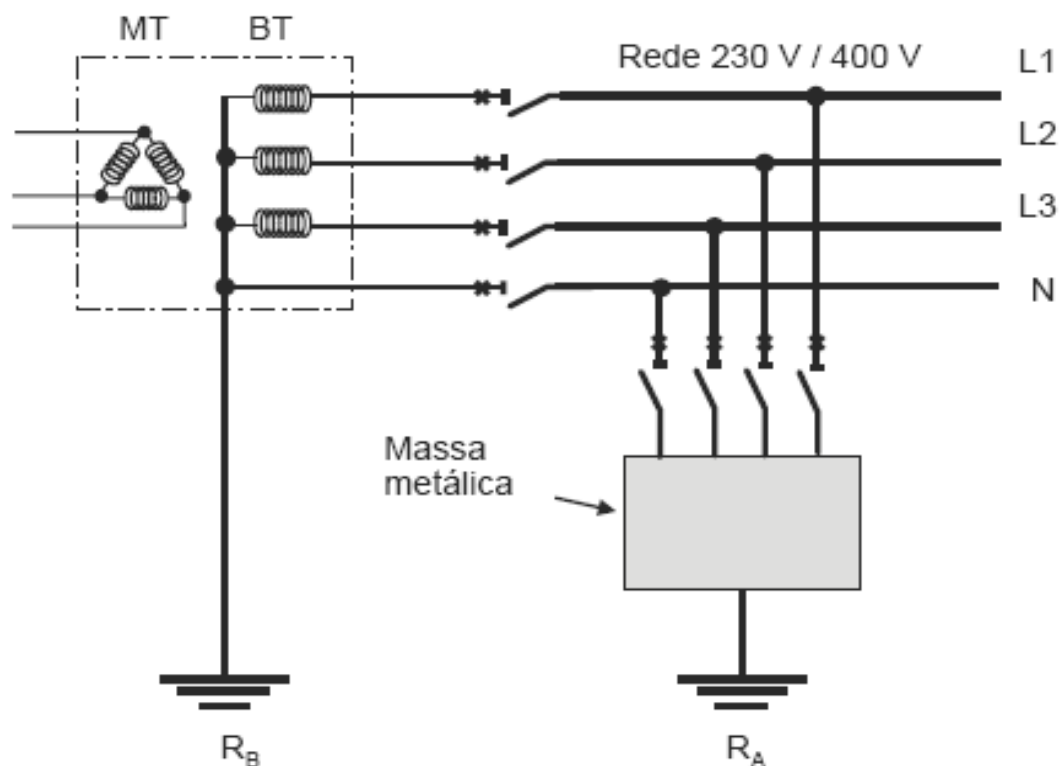
TN S = função de protecção PE distinto do N ou do conductor activo (fase) ligado à terra

TN C = função de protecção comum com o N (PEN)

Sistema TT

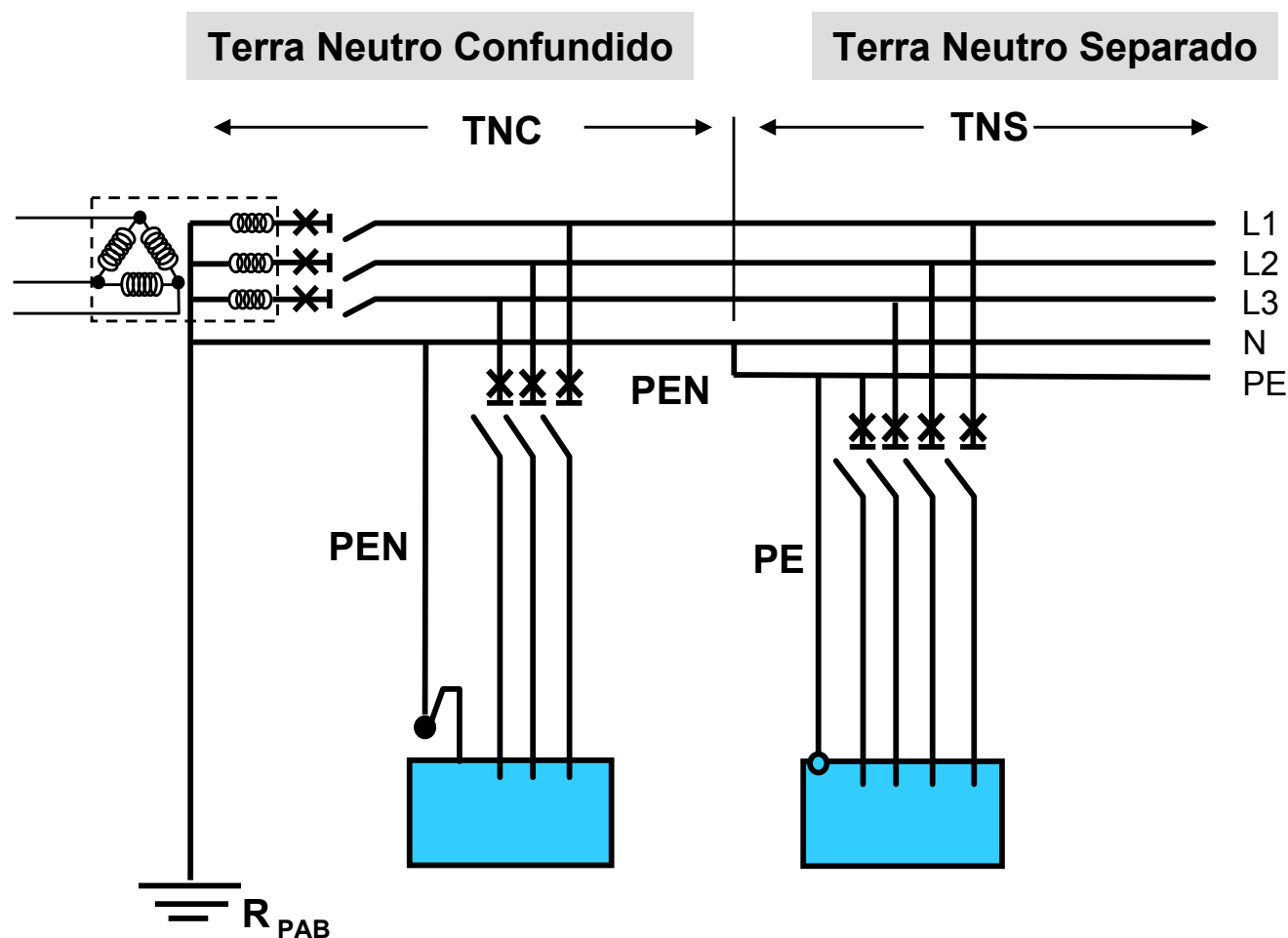
RTIEBT – secção 312.2.2

❑ O ponto de neutro da alimentação ligado à terra de serviço, as massas da instalação estão ligadas a uma tomada de terra de protecção eléctrica distinta da tomada de terra de serviço.



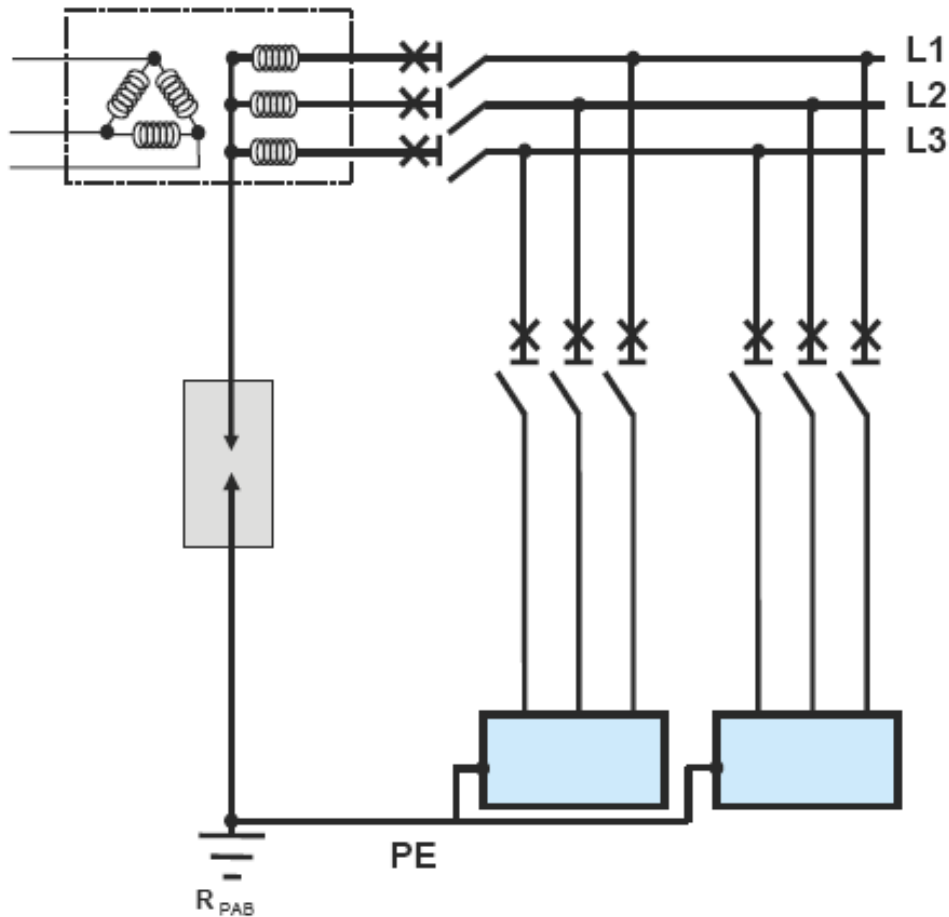
Sistema TN

RTIEBT – secção 312.2.1



Sistema IT

RTIEBT – secção 312.2.3

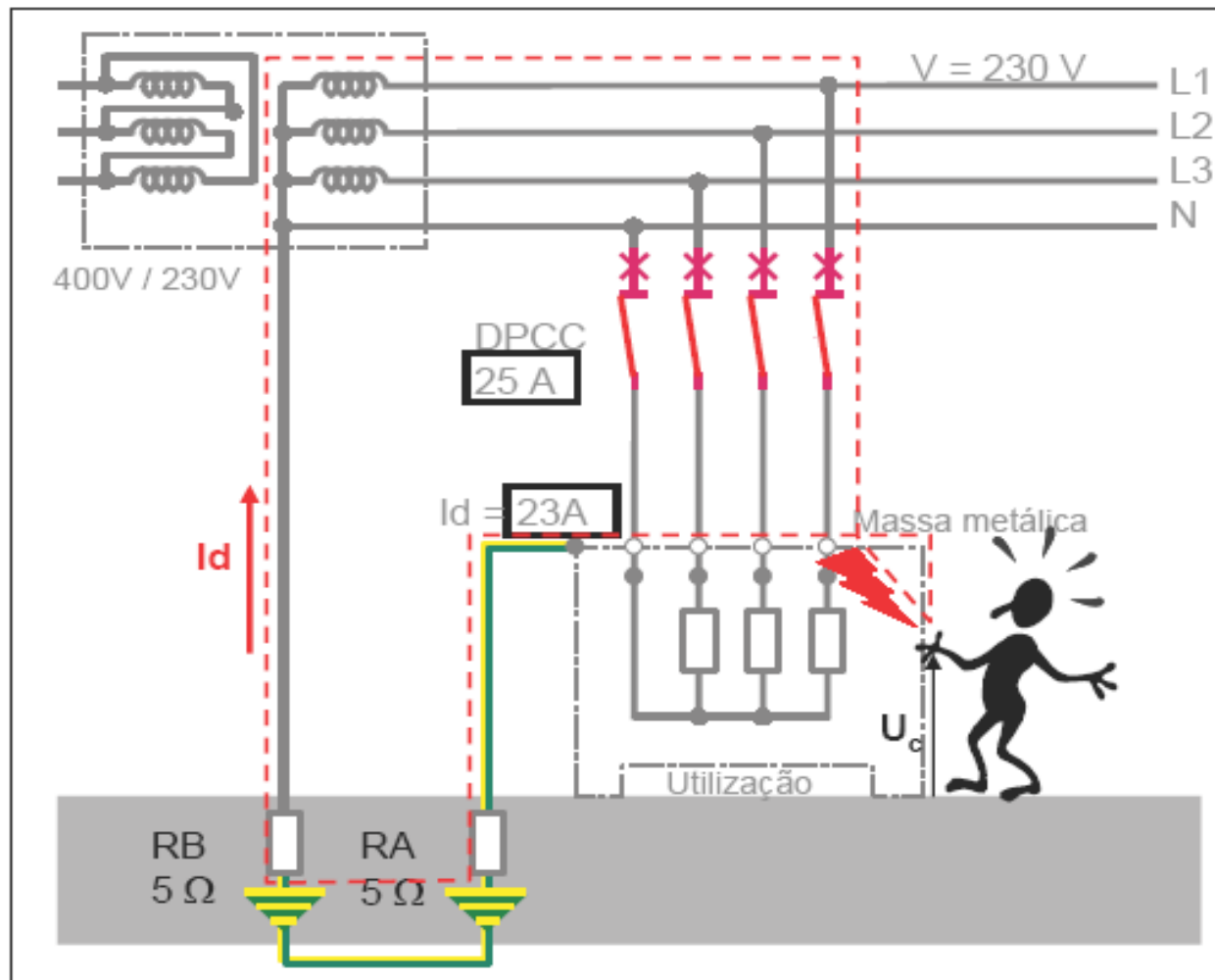


□ Todas as partes activas são isoladas da terra (ou religadas por uma impedância), as massas da instalação estão ligadas à terra.

Comportamento dos diferentes Sistemas de ligação à terra na Protecção de Pessoas

Contactos indirectos em sistema TT

RTIEBT – secção 413.1.4



$$I_d = \frac{V}{Z_{anel}}$$

$$= \frac{230}{5 + 5} = 23A$$

$$U_c = R_u \times I_d = 5 \times 23 = 115V$$



perigo !

413.1.4.2 – no esquema TT

- Deve verificar-se a seguinte condição

$$R_A \times I_A \leq 50$$

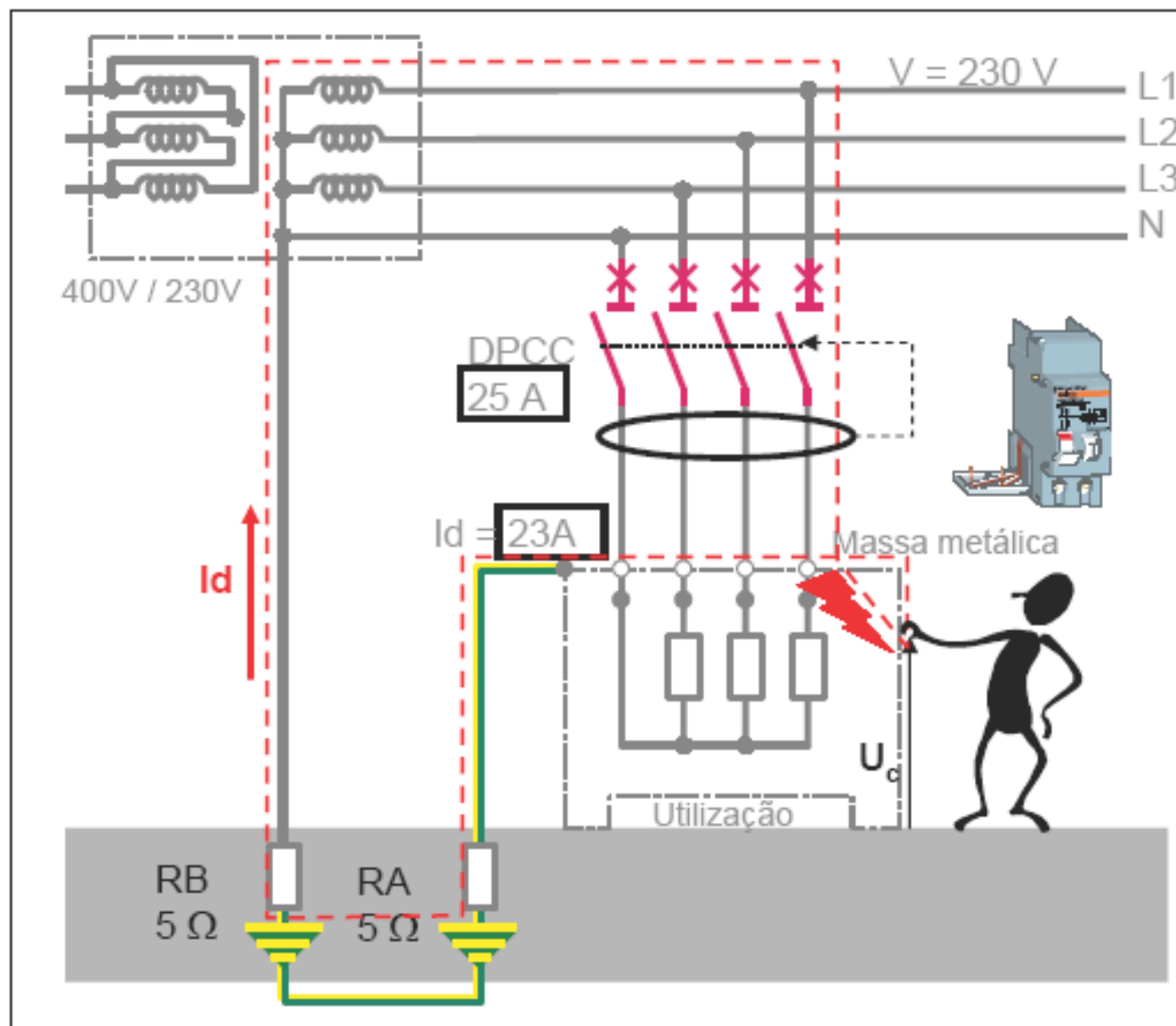
Em que R_A é a soma das resistências do eléctrodo de terra e dos condutores de protecção das massas em ohms.

I_A é a corrente que garante o funcionamento automático do dispositivo de protecção em Ampére.

Quando este dispositivo for diferencial, I_A é a corrente diferencial residual estipulada $I_{\Delta N}$.

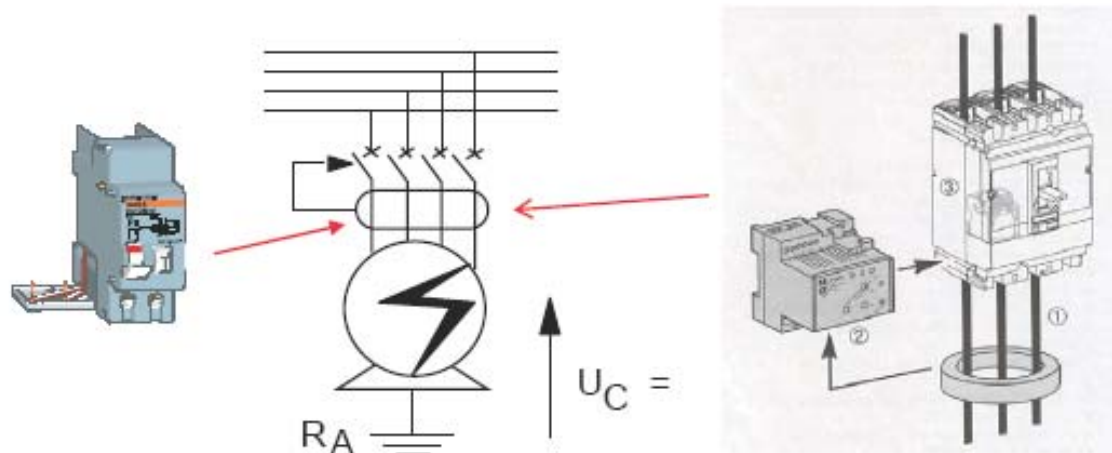
Esta regra é válida em condições gerais de humidade, em casos mais severos, veja-se secção 481.3.1 .

Solução.



Colocação em serviço do sistema TT

- Determinação do valor $I_{\Delta N}$ do DDR



U_L = tensão limite de segurança

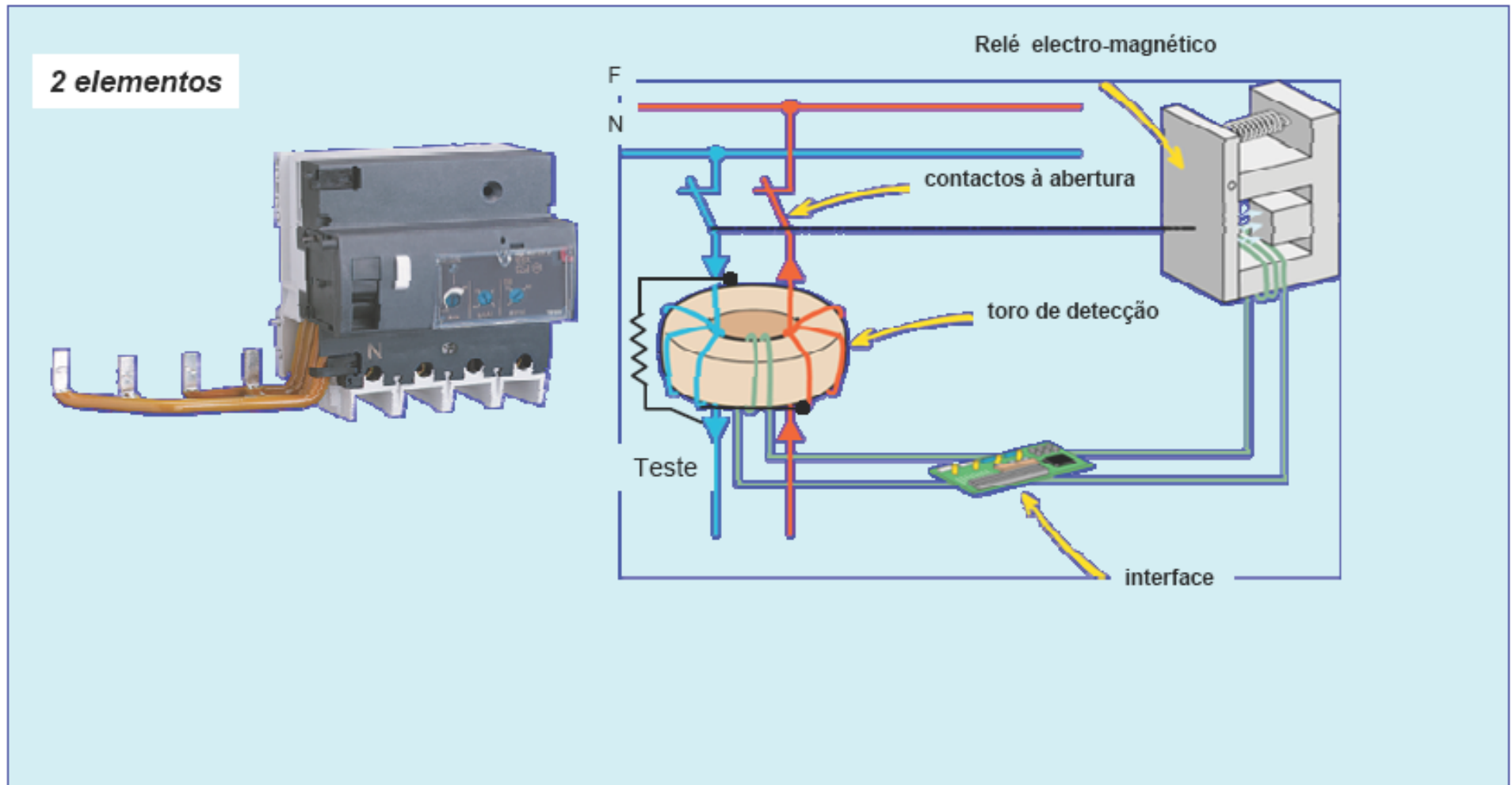
$$I_{\Delta n} \leq \frac{U_L}{R_A}$$

$$U_L = 50 \text{ Vac} \quad (413.1.1.1)$$

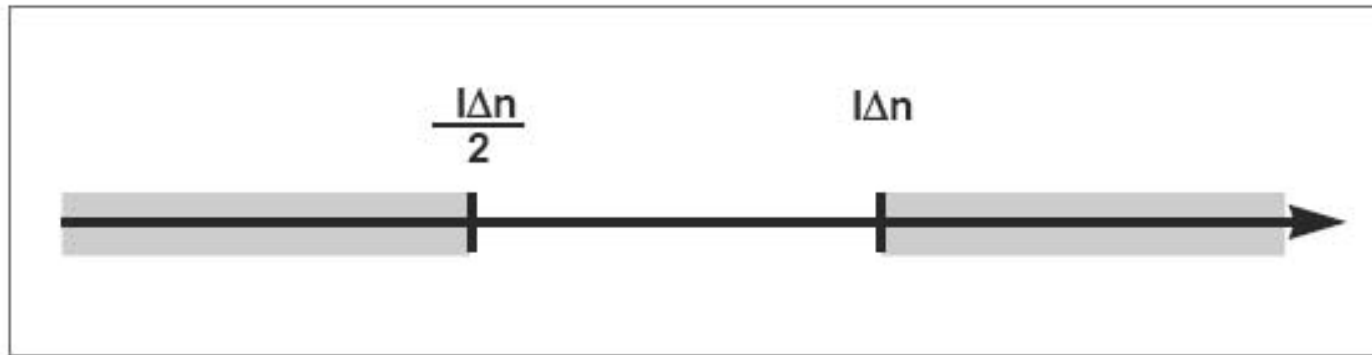
$$U_L = 25 \text{ Vac} \quad (481.3.1)$$

Constituição do DDR

Dispositivo de medida, associado a um captor, toro « cercado » pelos condutores activos.



Sensibilidade



- De acordo com a norma CEI 61008, CEI 61009 e CEI 60947-2 :
os valores nominais das correntes diferenciais de funcionamento
- 0,006 A ; - 0,01 A ; - 0,03 A ; - 0,1 A ; - 0,3 A ; - 0,5 A ; - 1 A ; - 3 A ; - 10 A ; - 30 A.

❑ Comportamento de um DDR em presença da componente contínua

De acordo com CEI 60755 : regras gerais relativas aos dispositivos de protecção à corrente diferencial residual.

■ **Definição classe AC :** O disparo é assegurado pelas correntes diferenciais alternadas sinusoidais, que lhe são bruscamente aplicadas ou que eles aumentem lentamente

■ **Definição classe A :** O disparo é assegurado para as correntes alternadas sinusoidais, e também para as correntes diferenciais contínuas pulsatórias que lhe sejam bruscamente aplicadas ou que eles aumentem lentamente

■ **Definição classe B :** diferencial para o qual o disparo é assegurado para as correntes alternadas sinusoidais e também para as correntes diferenciais contínuas pulsatórias que lhe sejam bruscamente aplicadas ou que eles aumentem lentamente

Classe AC



Classe A



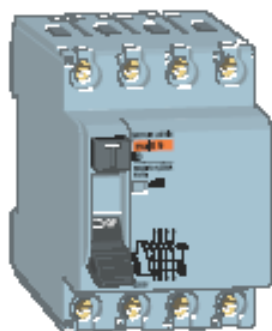
Classe B



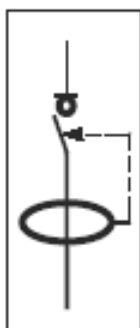
❑ Gama de produtos

3 grupos :

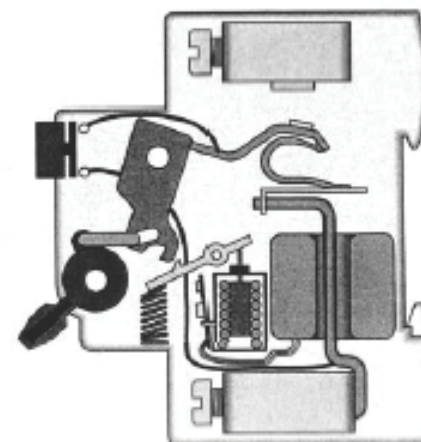
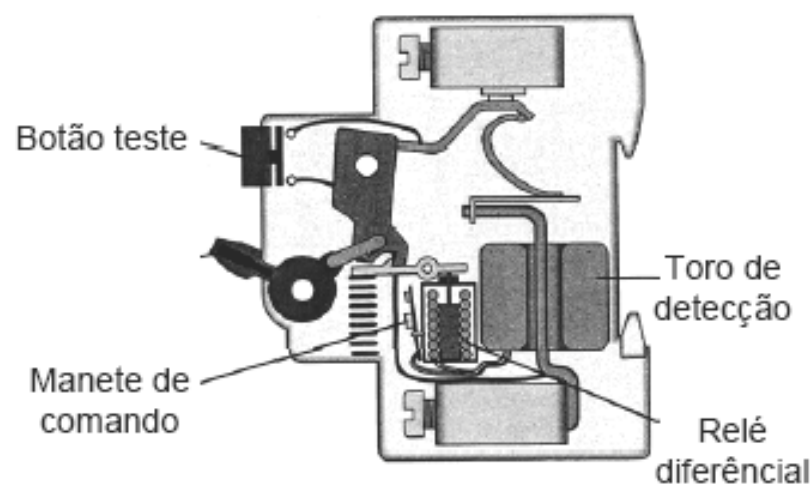
1 - Interruptor diferencial (ID).



ID



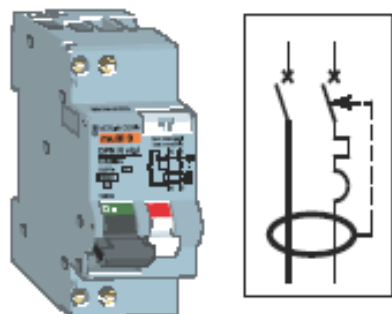
Únicamente para detecção de correntes de fuga \Rightarrow obrigação de coordenar com um disjuntor.



Acessórios !

O mecanismo de disparo é o interruptor !...

2 - Disjuntor-diferencial (DPN Vigì).

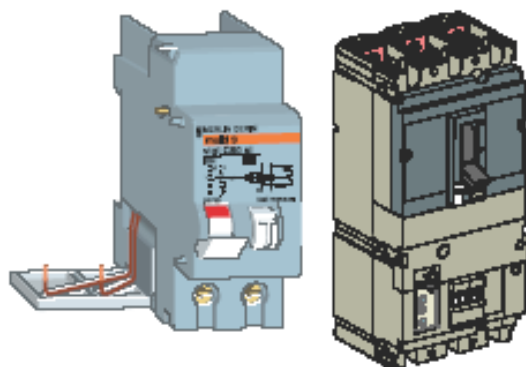


= disjuntor + diferencial = 1! produto

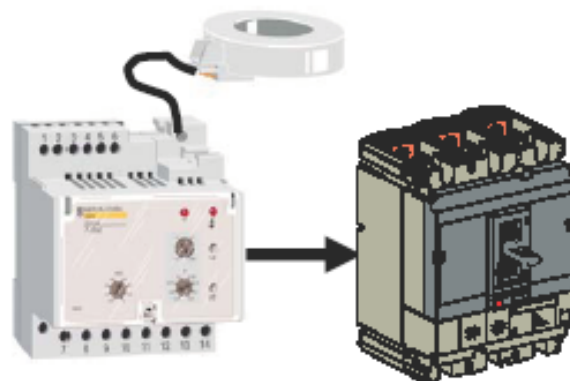
Protecção magnéto-térmica da fase, neutro não protegido

DPN Vigì

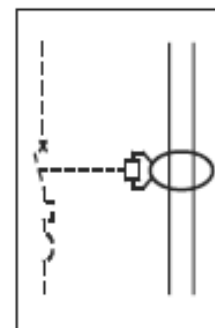
3 - Blocos independentes (Vigì, relé). = bloco adicional para o disjuntor



Bloc Vigì



Relé diferencial + toro



Bloc Vigì "si"

Sem mecanismo interno \Rightarrow ordem mecânica transmitida ao disjuntor.

Coordenação entre diferentes dispositivos de protecção

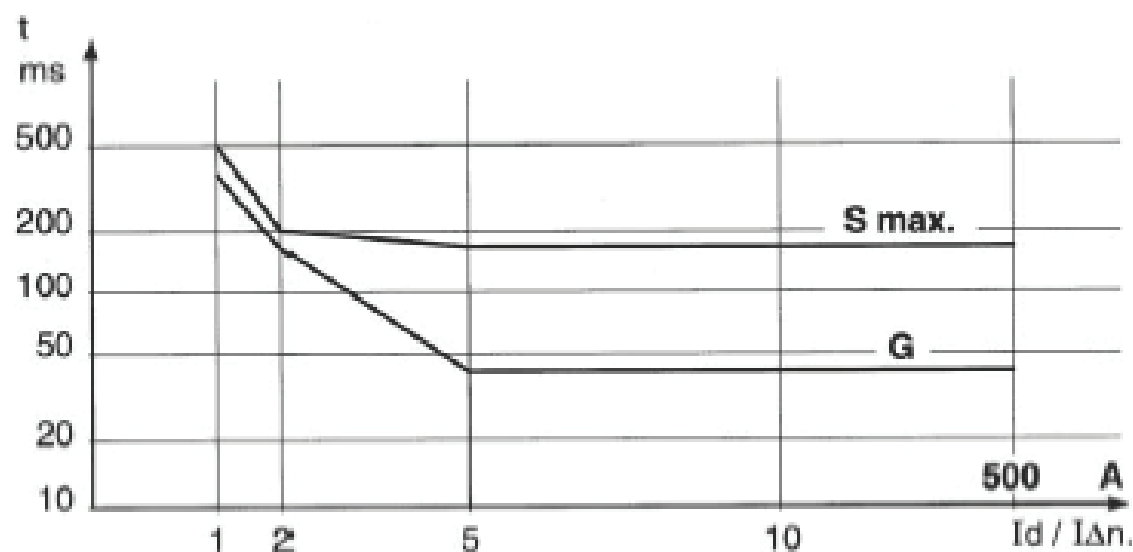
– Dispositivos diferenciais – secção 539-3

Valores normalizados do tempo de funcionamento máximo e do tempo de não funcionamento de acordo com a CEI 61008 e CEI 61009 :

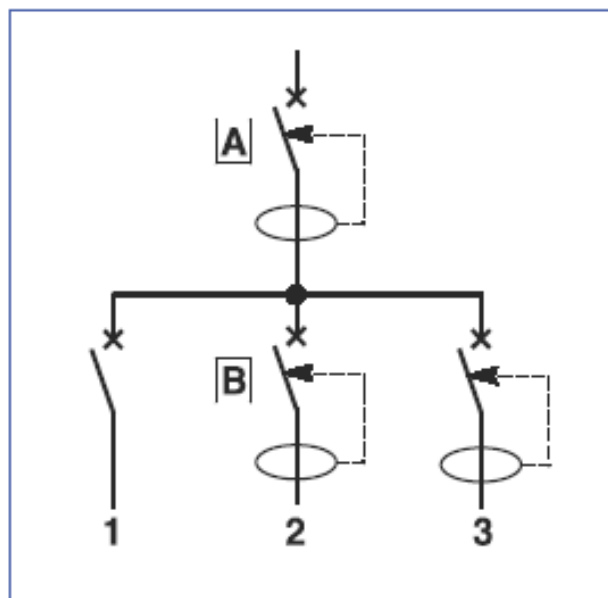
| Tipo | I_n A | $I\Delta n$ A | Valores normalizados do tempo (s) de funcionamento e de não funcionamento (em segundos) a : | | | | |
|-----------|--------------------------|--------------------------|---|--------------|--------------|-------|-----------------------------------|
| | | | $I\Delta n$ | $2I\Delta n$ | $5I\Delta n$ | 500 A | |
| Geral | Não importa qual o valor | Não importa qual o valor | 0,3 | 0,15 | 0,04 | 0,04 | Tempo de funcionamento máximo |
| Selectivo | ≥ 25 | $> 0,030$ | 0,5 | 0,2 | 0,15 | 0,15 | Tempo de funcionamento máximo |
| | | | 0,13 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | Tempo de não funcionamento mínimo |

Curvas de disparo

Curvas de tempo de funcionamento máximo para disjuntor ou ID « s » e para uso geral instantâneo.



Colocação em serviço da selectividade



Selectividade horizontal
Selectividade vertical

■ **Selectividade**

De acordo com a natureza dos defeitos a eliminar, isto é, o tipo de correntes de fuga necessita que duas condições estejam reunidas:

□ ***selectividade amperimétrica.***

□ ***selectividade cronométrica.***

$$\begin{aligned} I_{\Delta n} (A) &> 2 \times I_{\Delta n} (B) \\ t_d (A) &> t_d (B) + t_f (B) \end{aligned}$$

Legenda :


td : tempo de disparo

tf : tempo de funcionamento do mecanismo de disparo

Perturbações de funcionamento dos DDR

2 riscos :

 **disparo**

 **« cegueira » (não disparo)**

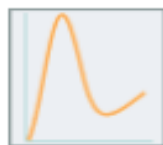
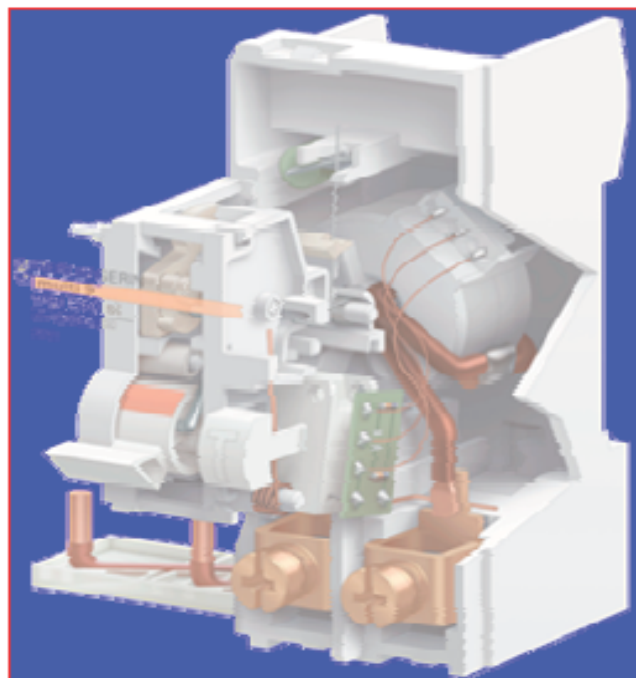
Causas de disparo.

1. **Sobretensões atmosféricas**
2. **Sobretensões de manobra**
3. ***Colocação em tensão de circuitos com forte efeito capacitivo em relação à terra***

Causas de cegueira.

1. **Temperatura muito baixa (- 25°C) criam uma não sensibilização**
2. ***Correntes de fuga de AF***

Solução: a gama Si



☐ **Reduzir os problemas de disparos intempestivos devidos a:**

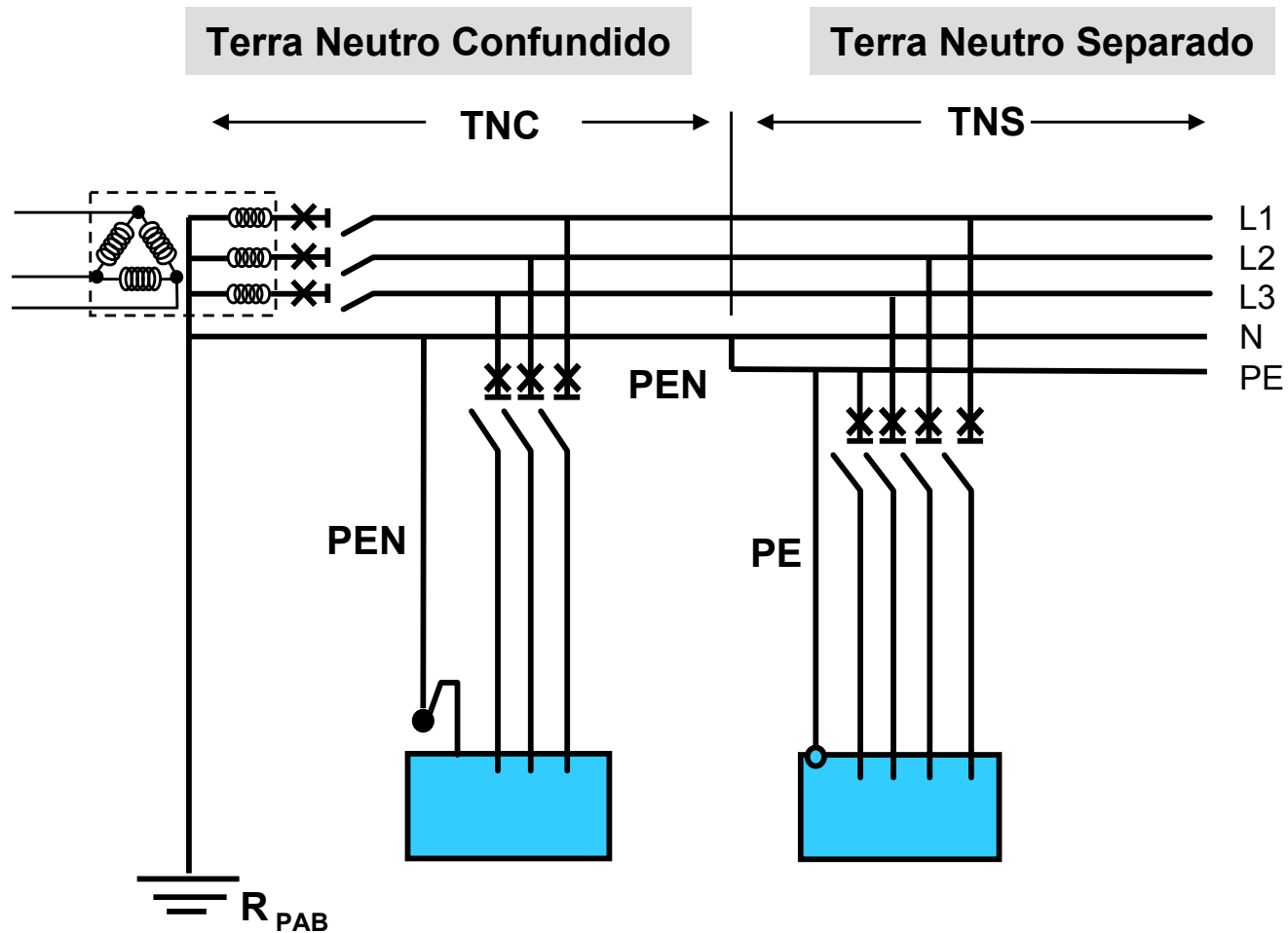
- ☐ correntes de fuga de AF
- ☐ correntes transitórias de origem atmosférica (raio)
- ☐ correntes transitórias causadas pelas sobretensões de manobra da aparelhagem eléctrica
- ☐ correntes de fuga permanentes a 50 Hz (filtros antiparasitas)

☐ **Reduzir os problemas de “cegueira” dos diferenciais devida a:**

- ☐ correntes de fuga de AF
- ☐ correntes de fuga à componente contínua
- ☐ baixas temperaturas

Contactos indirectos em sistema TN-C-S

RTIEBT – secção 413.1.4



Contactos indirectos em sistema TN-C-S

regras gerais:

TNC:

❑ O PEN é simultâneamente condutor de protecção e condutor de neutro. O PEN nunca pode ser cortado.

Ex. : aparelhagem tripolar numa linha com PEN

❑ Ligar o PEN no borne de "massa" do receptor.

❑ OTNC é interdito a jusante de um TNS.

TNS:

❑ O conductor de protecção (PE) é separado do neutro.

Obrigatório para $S < 10\text{mm}^2$ cobre / 16mm^2 alumínio.

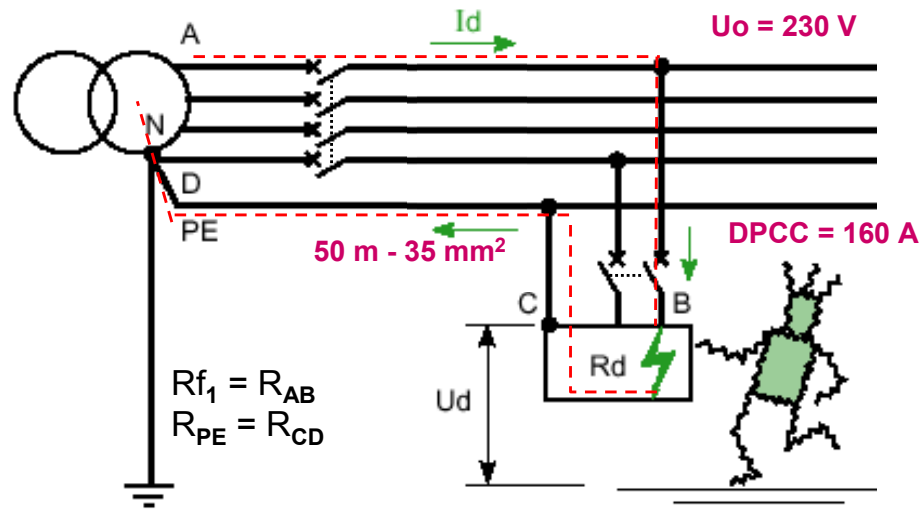
As massas do posto,

O neutro BT, e as massas de utilização são religadas à mesma tomada de terra.

Repartição das tomadas de terra sobre o PE.

Fazer caminhar o PE (PEN) ao lado das fases.

Estudo de um defeito



$$Z_s = 2 \times \rho \times \frac{L}{S} = 64,3 \text{ m}\Omega$$

Protecção contra os contactos indirectos

Corte automático em esquema TN

Em presença dum defeito de isolamento, a corrente de defeito I_d é limitada apenas pela impedância dos cabos do anel de defeito;

$$I_d = \frac{U_o}{Z_s} = \frac{U_o}{R_{f_1} + R_d + R_{PE}}$$

$$I_d = 230 / 0,0643 = 3.576 \text{ A } (\approx 22 I_n)$$

I_d tem um valor importante e induz uma tensão de defeito em relação à terra:

$$U_d = R_{PE} \times I_d$$

sendo $R_d = 0$, $U_d = U_o \times \frac{R_{PE}}{R_{f_1} + R_{PE}}$ para $R_{PE} = R_{f_1}$

$$U_d = \frac{U_o}{2} = 115 \text{ V}$$

- Esta tensão é perigosa porque ultrapassa a tensão limite de segurança U_L .

Verificação das condições de disparo

- ❑ A protecção é assegurada pelo DPCC mas não evita que tenhamos que fazer sempre a verificação da impedância do anel de defeito.
Para que a protecção seja efectivamente assegurada $I_{rm} < I_d$. O cabo situado a jusante do último dispositivo de protecção de curto circuito DPCC, deverá ter sempre um comprimento inferior a:

$$L_{\text{máx}} < \frac{0,8 \times U_o \times S_{\phi}}{\rho (1 + m) I_{rm}}$$

- A melhor solução em todos os casos ($L > L_{\text{max}}$ ou L : não conhecido) é instalar um dispositivo diferencial residual (DDR) regulado de 30 mA a 250 A.
- Se o local for de risco de incêndio é aconselhado o uso de um (DDR) de 300 mA.

$L_{\text{máx}}$: comprimento máximo em m

U_o : tensão simples = 230 V
para uma rede de 400 V

S_f : secção do condutor de fase em mm²

ρ : resistividade dos condutores

m : S_f / S_{PE}

I_{rm} : regulação magnética do DPCC

Se ultrapassarmos $L_{\text{máx}}$, devemos :

- diminuir o valor de I_{rm}
- aumentar S_{PE}

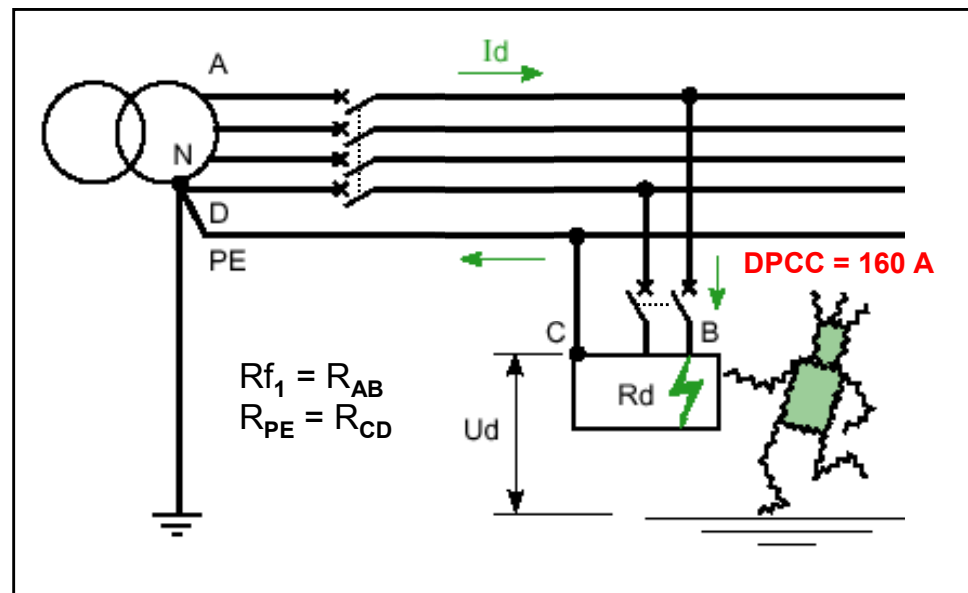
Tempos de corte máximos em esquema TN

- Sendo o defeito de isolamento semelhante a um curto-circuito fase-neutro, há que assegurar o corte da instalação por um **Dispositivo de Protecção contra Curto-Circuitos (DPCC)**, num tempo de corte, função de U_L :

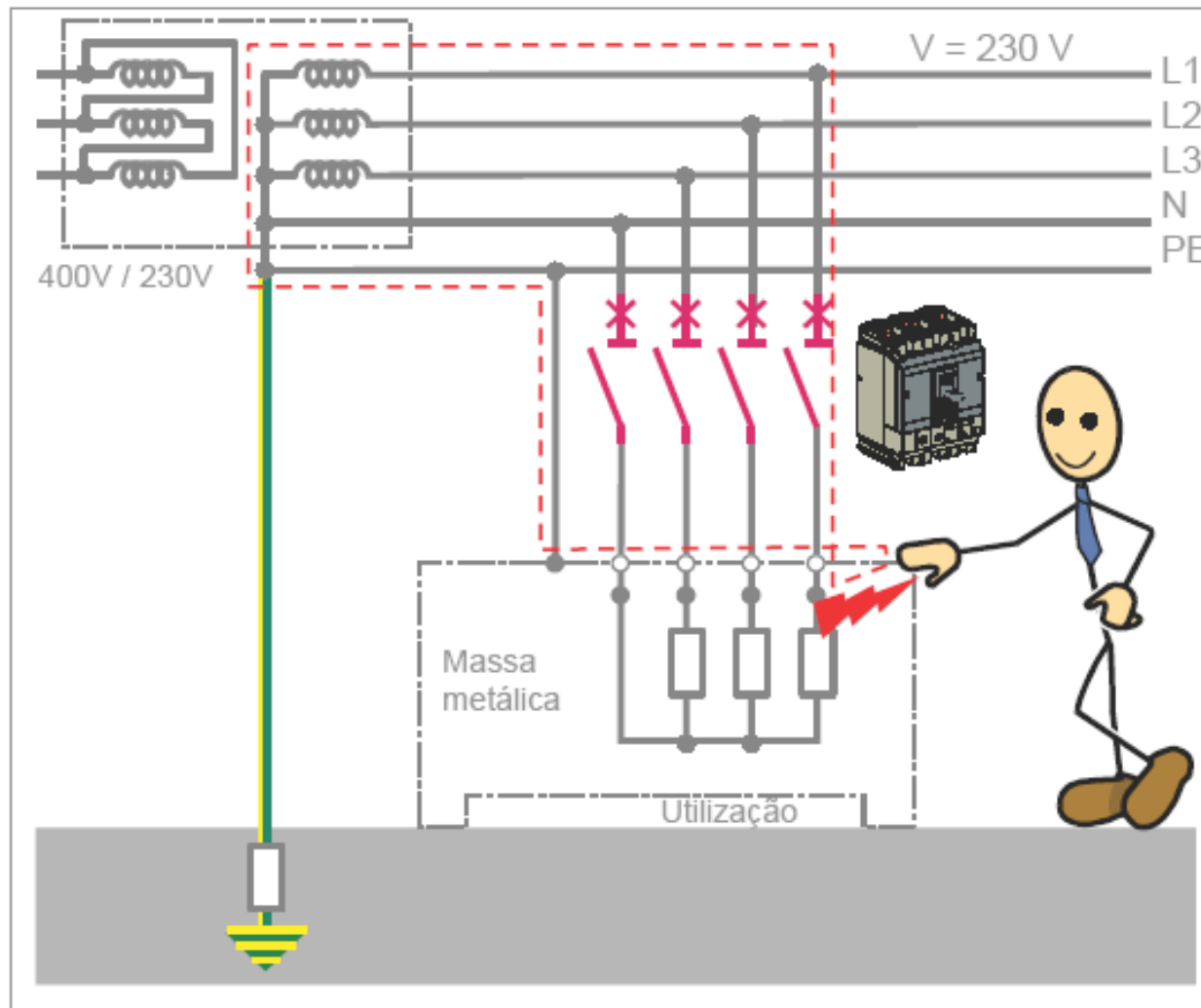
(RTIEBT – secção 413.1.3.3)

Quadro 41A

| U _o (Volt) | Tempo de corte (segundos) $U_L = 50V$ | Tempo de corte (segundos) $U_L = 25V$ |
|-----------------------|--|--|
| Fase/Neutro | | |
| 127 | 0,8 | 0,35 |
| 230 | 0,4 | 0,2 |
| 400 | 0,2 | 0,05 |
| > 400 | 0,1 | 0,02 |



solução



Comprimentos máximos das canalizações trifásicas 230/400V

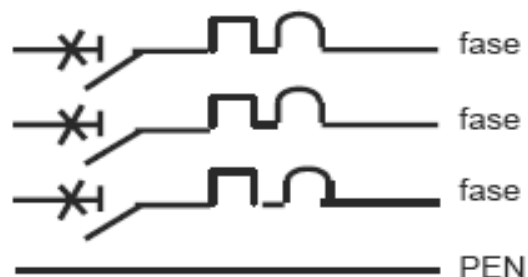
$m = 1$; $U_L = 50V$, condutores de cobre ($\rho_1 = 22,21 m\Omega \text{ mm}^2/m$),
regulação magnética = 10Ir

| Secções | intensidade de corrente estipulada (A) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| mm2 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 320 | 400 | 500 | 630 |
| 1,5 | 38 | 30 | 24 | 18 | 15 | 12 | 9 | 7 | | | | | | | | | |
| 2,5 | 63 | 51 | 40 | 31 | 25 | 20 | 15 | 12 | 10 | 8 | | | | | | | |
| 4 | 102 | 81 | 64 | 51 | 40 | 32 | 26 | 20 | 16 | 12 | 10 | 8 | | | | | |
| 6 | 153 | 122 | 98 | 76 | 60 | 49 | 38 | 30 | 24 | 19 | 15 | 12 | 9 | | | | |
| 10 | 254 | 203 | 159 | 127 | 102 | 81 | 64 | 51 | 40 | 32 | 25 | 20 | 16 | 12 | 10 | | |
| 16 | 408 | 327 | 261 | 203 | 163 | 130 | 103 | 81 | 64 | 52 | 40 | 32 | 26 | 20 | 16 | 12 | 10 |
| 25 | | | 408 | 318 | 254 | 203 | 161 | 127 | 102 | 81 | 63 | 51 | 40 | 31 | 25 | 20 | 15 |
| 35 | | | | 357 | 357 | 286 | 226 | 178 | 143 | 113 | 88 | 71 | 57 | 44 | 35 | 28 | 22 |
| 50 | | | | | | | 408 | 323 | 254 | 203 | 163 | 127 | 102 | 81 | 63 | 51 | 40 |
| 70 | | | | | | | | 357 | 286 | 228 | 178 | 143 | 114 | 88 | 71 | 57 | 44 |
| 95 | | | | | | | | | 387 | 310 | 242 | 194 | 155 | 121 | 97 | 77 | 61 |
| 120 | | | | | | | | | | 391 | 306 | 245 | 196 | 153 | 122 | 98 | 77 |
| 150 | | | | | | | | | | | 332 | 266 | 212 | 166 | 132 | 106 | 84 |
| 185 | | | | | | | | | | | | 306 | 245 | 191 | 153 | 122 | 97 |
| 240 | | | | | | | | | | | | 391 | 313 | 245 | 196 | 156 | 124 |

Colocação em serviço do sistema TN

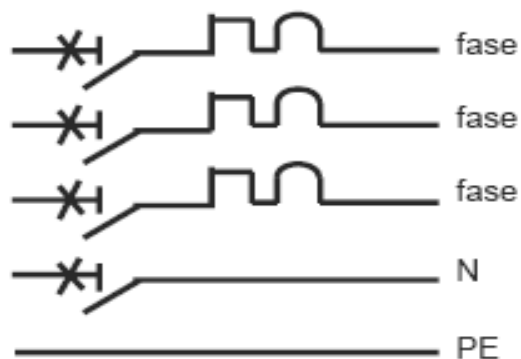
A protecção do neutro :

TNC

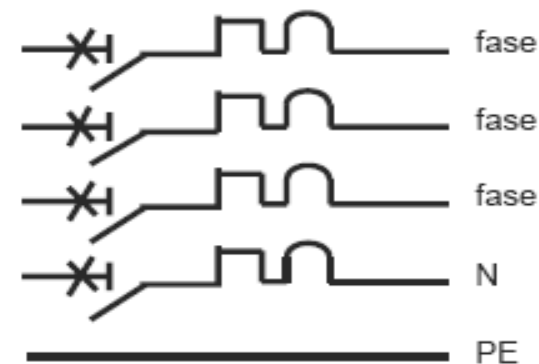


TNS

$SN = S_{fase}$

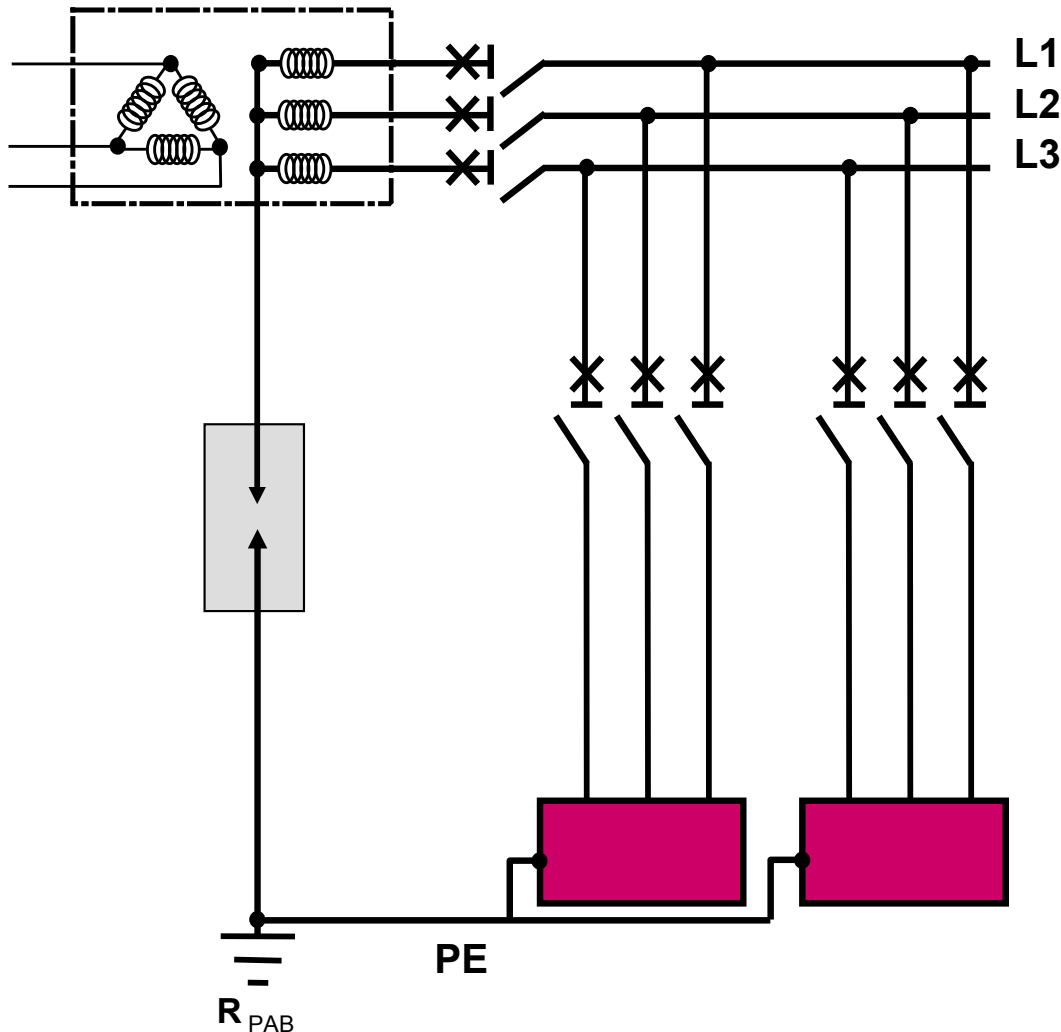


$SN < S_{fase}$



Sistema IT

RTIEBT – secção 413.1.5

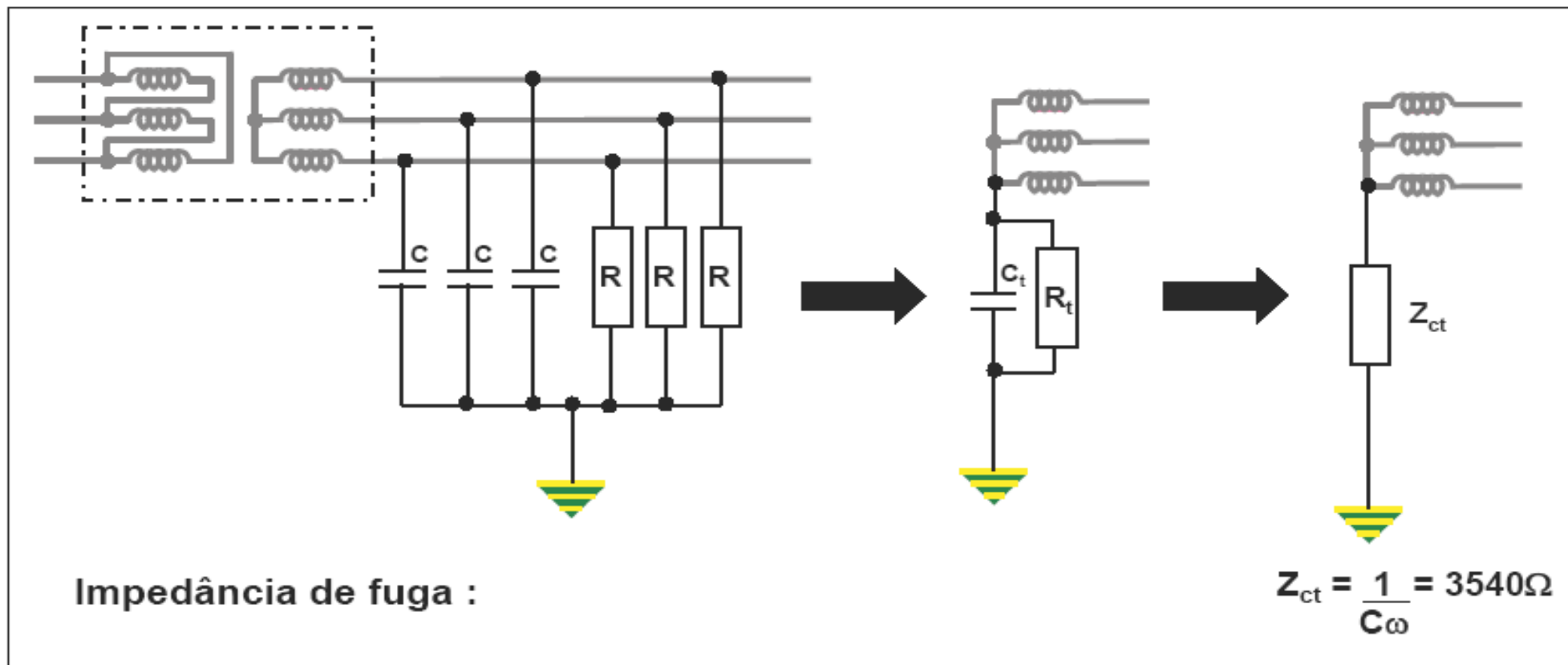


■ Regras gerais :

- ☐ O ponto neutro do transfo BT Não está ligado a uma tomada de terra
- ☐ as massas das utilizações são religadas pelo condutor PE a uma tomada de terra comum ou a tomadas de terra separadas
- ☐ É recomendado pela norma não distribuir o neutro
- ☐ O limitador de sobretensões deve ser usado
- ☐ Todas as massas devem estar interligadas.

Sistema IT (neutro isolado)

RTIEBT – secção 413.1.5.1



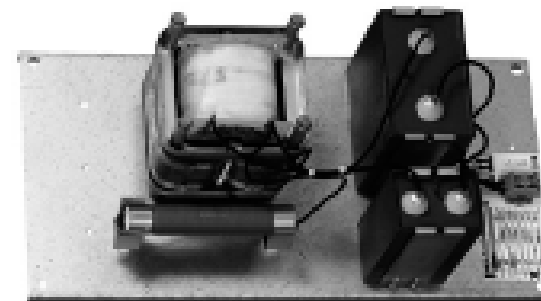
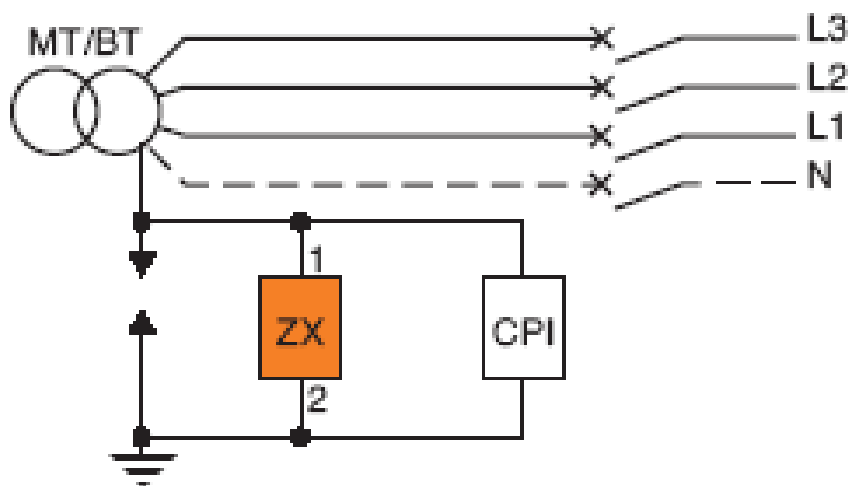
para 1 km de rede trifásica :

- $C = 0,9 \mu F$,
- $R = 3,3 M\Omega$.

Sistema IT (neutro impedante)

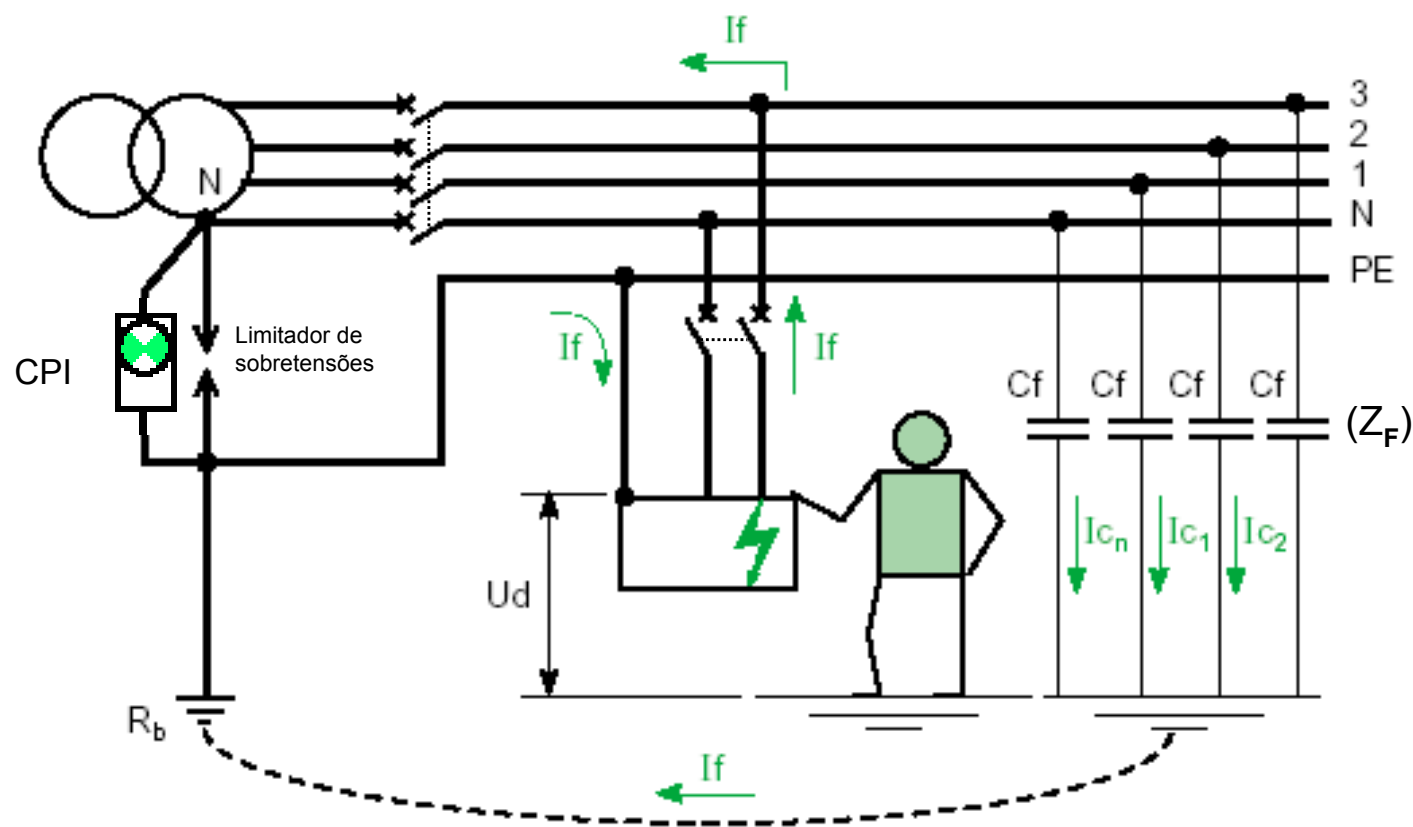
Para reduzir as sobretensões, pode ser necessário a ligação à terra por meio de impedâncias...

O valor da impedância ZX deve ser seleccionado de forma a evitar oscilações do valor de potencial da instalação, por fenómenos de ressonância, por outro lado baixar o valor das correntes de defeito para que não seja visto pelos equipamentos de protecção (não corte ao primeiro defeito). Na prática recomenda-se um valor de 1000Ω para redes de 230/400V



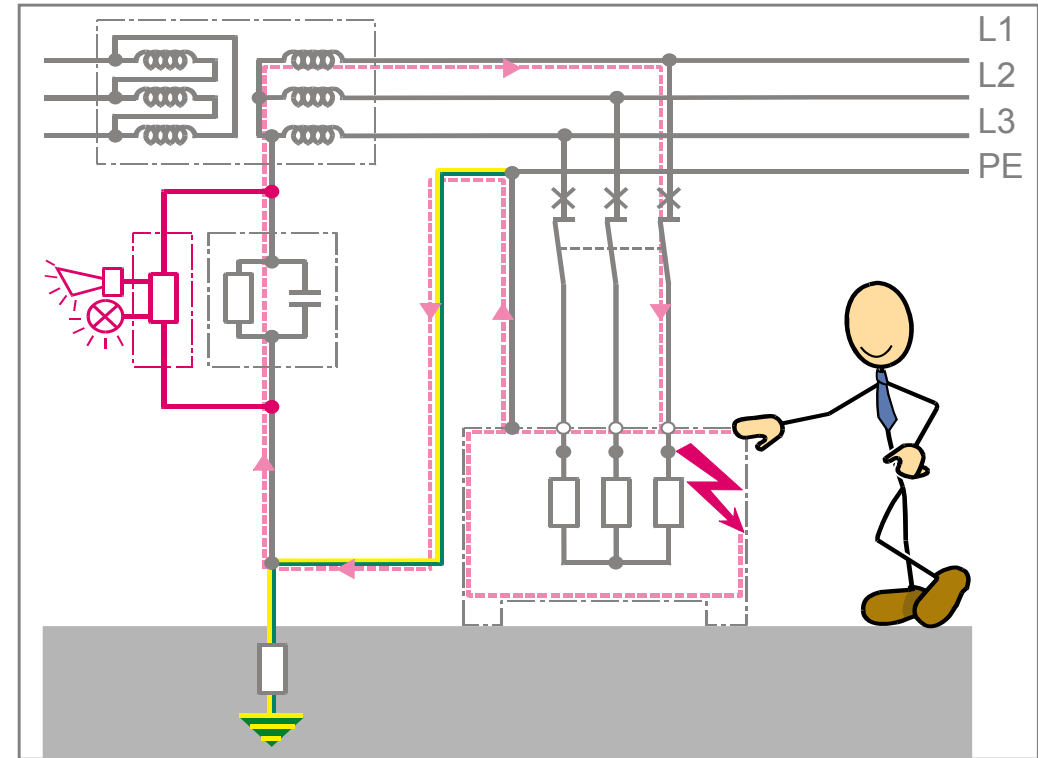
Oferta Schneider
1500Ω a 50 Hz

Contactos indirectos em sistema IT



1º Defeito

- Para uma rede com 1 km, a impedância de fuga à terra Z_f , será $\cong 3500 \Omega$;
- Para a tensão $U_o = 230 \text{ V}$, a corrente de fuga será:
 $I_f = U_o / Z_f = 230 / 3500 \cong \mathbf{66 \text{ mA}}$;
- Para $R_b = 10 \Omega$, a tensão de contacto será:
 $U_d = R_b \times I_f = 10 \times 0,066 = \mathbf{0,66 \text{ Volt}}$;



413.1.5.3 – Nota:

Quando ocorrer um primeiro defeito de isolamento, a corrente de defeito tem um valor tão reduzido que a tensão de contacto daí resultante não é perigosa, muito inferior a UL

RTIEBT – secção 413.1.5.3

- As massas devem ser ligadas á terra, individualmente, por grupos ou por conjuntos, devendo verificar-se a seguinte condição:

$$R_A \times I_d \leq 50$$

- Em que:

R_A é a soma das resistências do eléctrodo de terra e dos condutores de protecção das massas em ohms.

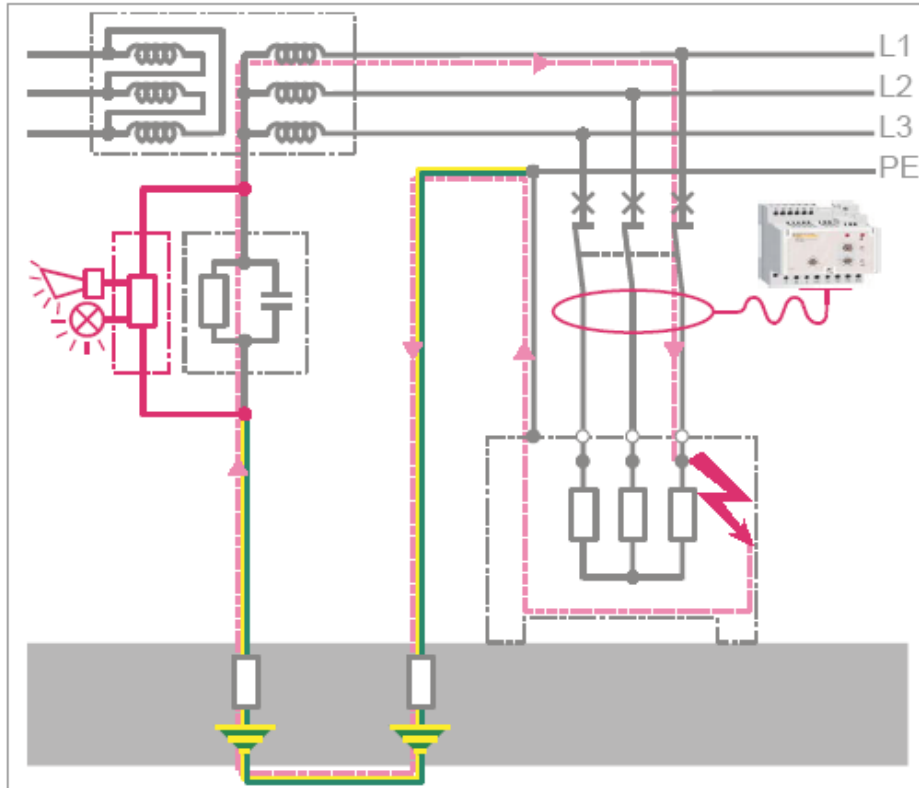
I_d é a corrente de defeito no caso de um primeiro defeito franco entre um condutor de fase e uma massa, em ampéres (no valor de I_d , há que ter em conta as correntes de fuga e a impedância global de ligação à terra da instalação eléctrica).

Nota: em condições de humidade mais severas, veja 481.3

1º Defeito

- Desde que se verifique a condição, $R_A \times I_d \leq 50$, o corte não é obrigatório quando ocorrer um único defeito (à massa ou à terra), dado o valor da corrente de defeito ser muito reduzido...
- Não há risco de incêndio
- O defeito não provoca um disparo mas impõe uma sinalização...

1º Defeito



O defeito não provoca disparo, mas obriga à sua sinalização, utilização dum

➤ **Controlador Permanente de Isolamento**

Obrigatoriedade de procurar a origem do defeito e eliminá-lo rapidamente antes que se produza um segundo defeito que provoque o disparo das protecções.

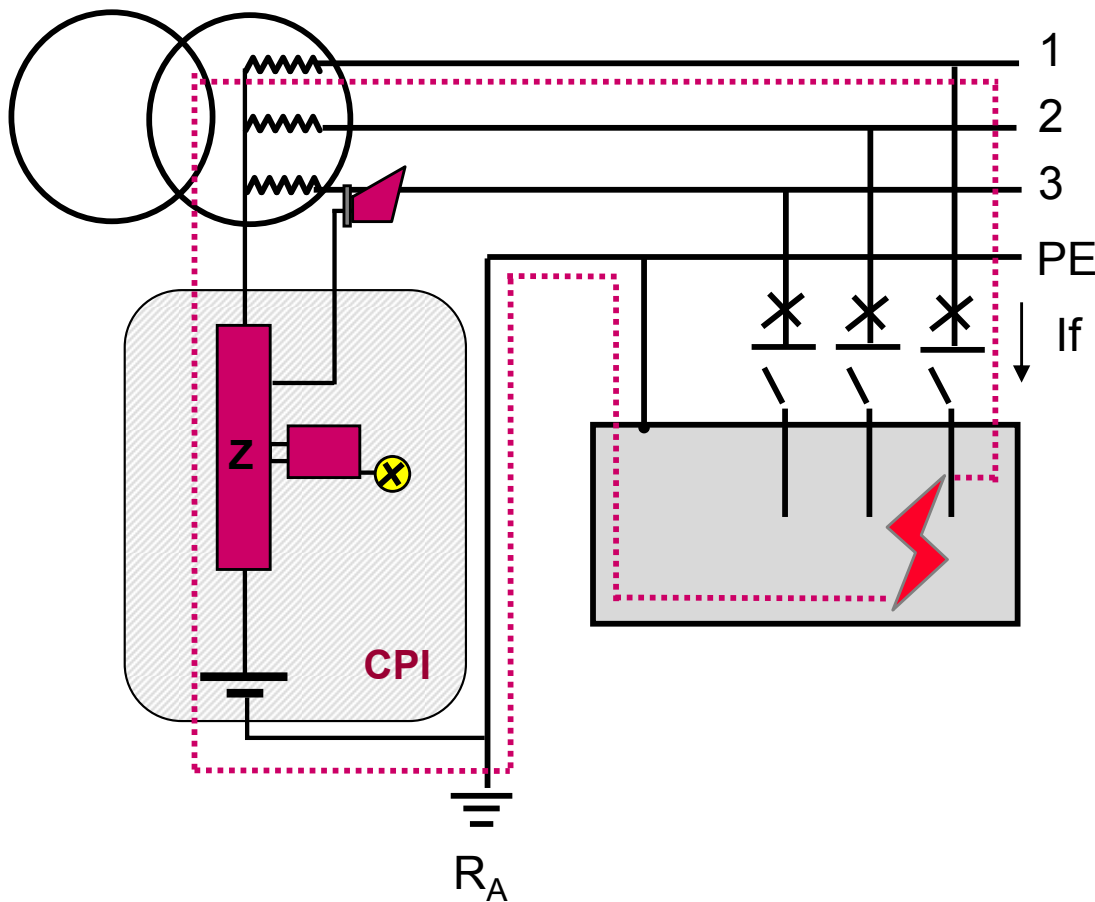
É imperativa a busca e eliminação rápida do primeiro defeito, para beneficiar totalmente da continuidade do serviço, que é a grande vantagem deste tipo de esquema.

Sistema IT

- A vantagem explicada foi claramente valorizada pelos editores das normas internacionais e nacionais para manter um elevado nível de disponibilidade (quadros de segurança).
- Um cálculo simples de probabilidades confirma a vantagem do IT.
Supondo que a probabilidade de defeito de isolamento numa instalação eléctrica é de um defeito em cada 90dias, ou seja, $\lambda = 1/90$ dias, que a reparação e busca do defeito é de um dia, ou seja, $\mu = 1$ dia, a técnica de gráficos de Markof permite calcular o tempo médio entre duas falhas no 2º defeito, 8190 dias!
- Corresponde a uma disponibilidade 91 vezes superior ao TT ou TN

O CPI - RTIEBT – secção 413.1.5.4

■ **Objectivo:** sinalização do primeiro defeito



■ **tipos de CPI :**

□ CPI de injeção de corrente contínua

- permite ter em consideração unicamente a parte de resistência de isolamento da rede.

- só funciona em redes AC

□ CPI de injeção de corrente alternada

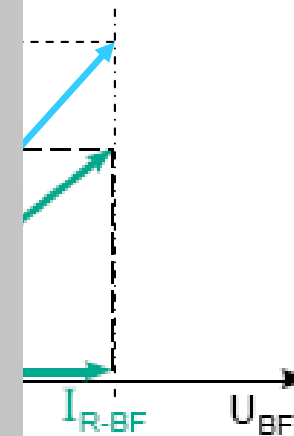
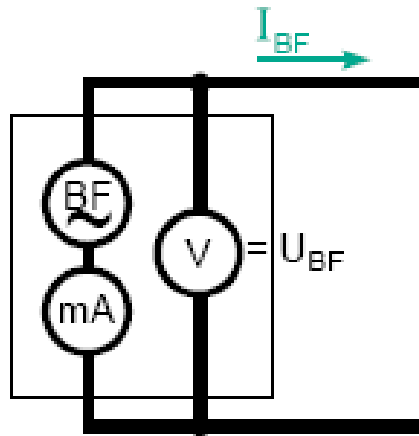
- permite ter em consideração a resistência de isolamento e a capacidade da rede

- funciona sobre as redes AC e DC

■ **nota importante :**

Não é permitido o funcionamento em simultâneo de 2 CPI sobre a mesma rede

o CPI de injeção de corrente alternada



Actualmente a técnica
um mau isolamento

e BF permite identificar
s.

Um aumento das capacidades parasitas da rede (por envelhecimento da rede; filtros de AF...) implica consequentemente um aumento de IC sem que signifique perda de isolamento (o valor de R mantém-se),

O CPI detecta em módulo e fase.

O CPI

- Deve ser previsto um controlador permanente de isolamento para sinalizar o aparecimento de um 1º defeito entre uma parte activa e a massa ou a terra, que accione um sinal sonoro ou um sinal visual.
- É um dispositivo que controla, continuamente, o isolamento de uma instalação eléctrica. Destina-se a sinalizar qualquer redução significativa do nível de isolamento da instalação, tendo por finalidade permitir a busca da avaria ao 1º defeito.
(RTIEBT – 531.3)

O CPI

- O CPI deve ser regulado para um valor de resistência de isolamento inferior ao especificado na secção 612.3

Resistência de isolamento da Instalação Eléctrica

| Tensão nominal do circuito (V) | Tensão ensaio em DC (V) | Resistência de isolamento (MΩ) |
|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| TRS e TRP | 250 | $\geq 0,25$ |
| $U \leq 500$ | 500 | $\geq 0,5$ |
| $U > 500$ | 1 000 | $\geq 0,1$ |

As medições devem ser feitas em DC, devendo o aparelho usado no ensaio fornecer uma tensão ao valor indicado no quadro e uma corrente de 1mA.

O CPI

- Regulação do CPI

Na prática, o limiar de funcionamento de um CPI é regulado para um valor de aproximadamente 80% da resistência de isolamento do conjunto da instalação. Se a resistência de isolamento for superior a 1,25 vezes o limite superior do domínio de regulação do limiar de funcionamento do CPI, este deve ser regulado para esse valor superior.

O CPI

- Instalação do CPI – RTIEBT 531.3

Terminal de rede

A ligação do CPI efectua-se entre o ponto comum da alimentação (neutro), ou de uma fase se o neutro não for acessível,

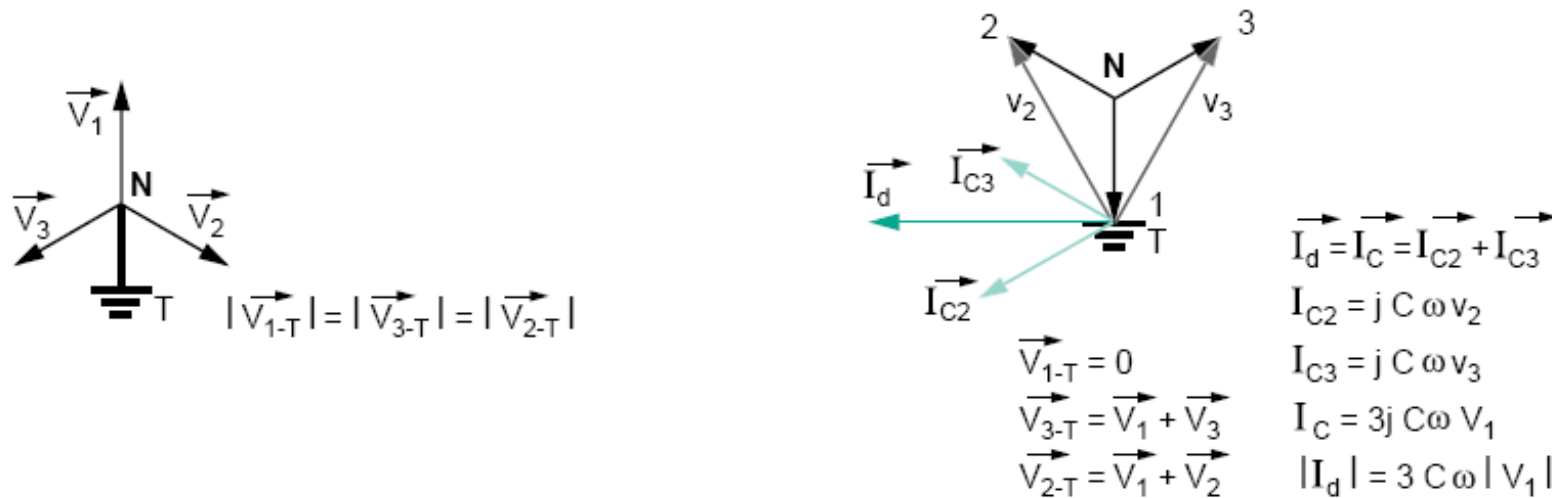
Terminal terra

Deve ser ligado ao eléctrodo de terra das massas da instalação

Sobretensões em esquema IT

- Sobretensões devidas a defeitos de isolamento
- Sobretensões devidas a arcos internos nos transformadores MT/BT
- Sobretensões devidas a descargas atmosféricas na rede de MT
- Sobretensões devidas a descargas atmosféricas em edifícios da instalação

- Sobretensões devidas a defeitos de isolamento



Os equipamentos de BT devem estar dimensionados para suportar durante o tempo de busca e eliminação do defeito uma tensão fase massa composta.

- Sobretensões devidas a arcos internos nos transformadores MT/BT

1. São pouco frequentes e a sua aparição “brusca” implica que o limitador de sobretensões coloque de imediato a rede de BT à terra evitando-se atingir os valores de tensão da MT.

●→ Utilização de um limitador de 750V em redes de 230/400V

- Sobretensões devidas a arcos internos nos transformadores MT/BT

2. Arcos de retorno ou arcos internos MT-massa

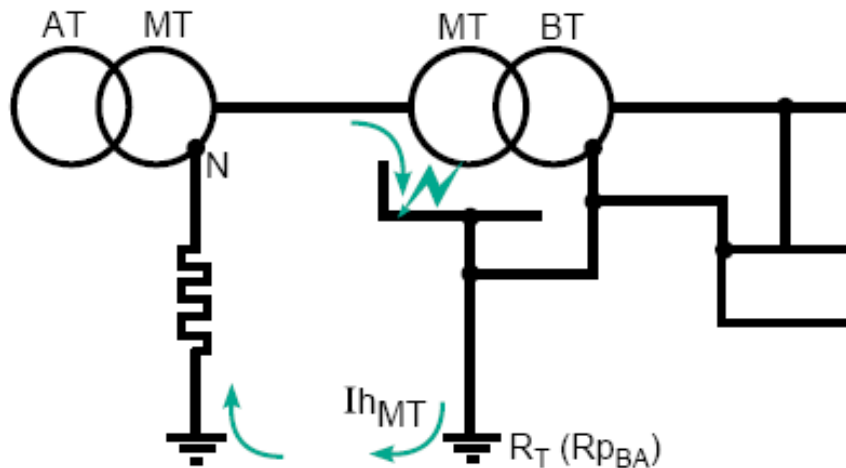
| Tensões alternadas admissíveis sobre os equipamentos BT | Tempo de corte (s) |
|---|--------------------|
| $U_0 + 250 \text{ V}$ (650 V en IT) * | > 5 |
| $U_0 + 1200 \text{ V}$ (1600 V en IT) * | ≤ 5 |

(*) Para uma rede IT, a tensão U_0 substituí-se pela tensão $\sqrt{3} U_0$.

Sobretensões admissíveis nos materiais de BT numa instalação em IT com rede de 230/400V

- Sobretensões devidas a arcos internos nos transformadores MT/BT

Quando a massa do transformador e a rede de BT se ligam à mesma tomada de terra, há o risco de perfuração dos materiais de BT se a tensão $R_p I_{h_{MT}}$ ultrapassar a rigidez dielétrica dos equipamentos, sendo R_p a resistência da tomada de protecção e $I_{h_{MT}}$ a corrente homopolar de MT



Solução: criar terras distintas, difícil... Devido á malhagem das massas no PT...

- Sobretensões devidas a descargas atmosféricas

Se existir uma descarga atmosférica na rede de MT, provoca uma onda que se transmite aos condutores activos do lado BT por ligação capacitiva entre os enrolamentos do transformador.

O limitador de sobretensões terá como objectivo absorver as sobretensões que chegam ao condutor activo ao qual está ligado (neutro ou fase), e coloca-se em curto-circuito se a sobretensão for muito enérgica.

IT ↔ TN-s

O limitador de sobretensões



■ Escolha dos limitadores de sobretensão em função :

- ❑ da tensão nominal da instalação
- ❑ nível de isolamento da instalação
- ❑ do modo de ligação do limitador
- ❑ da corrente de curto circuito presumida na origem da instalação

Cardew C

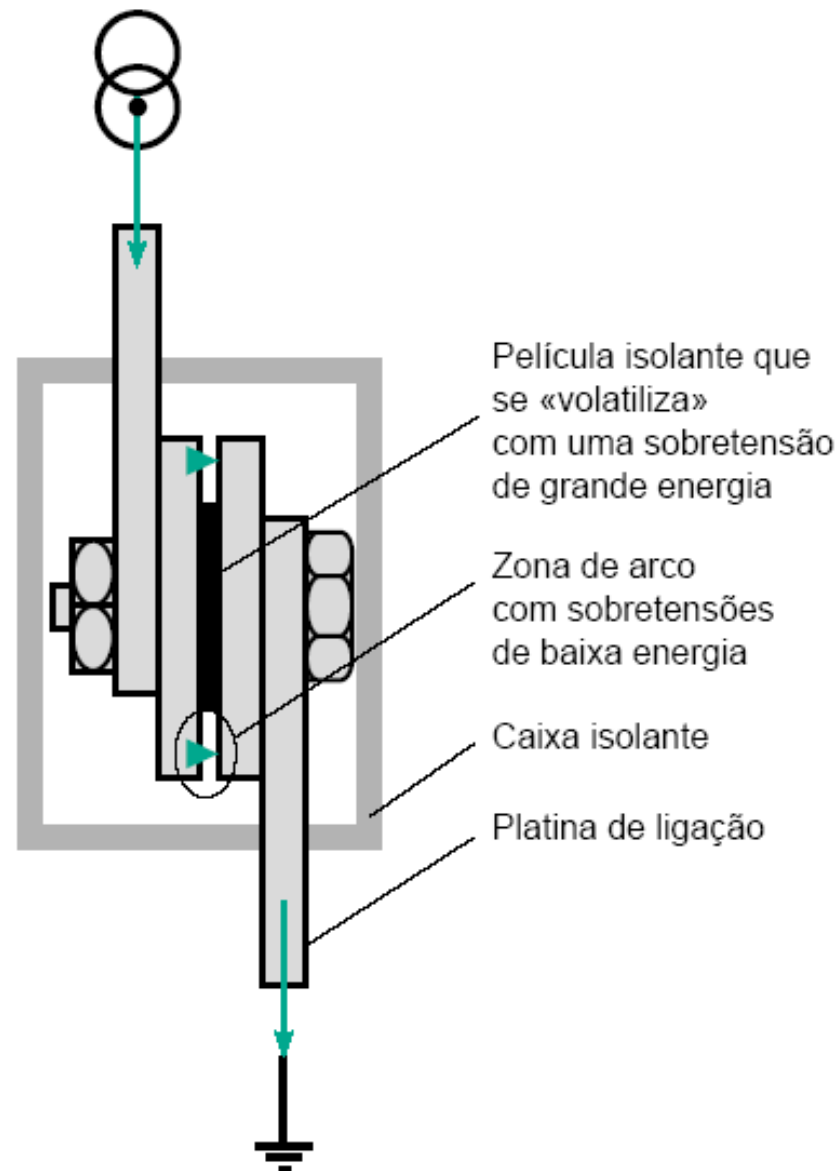


Importante :

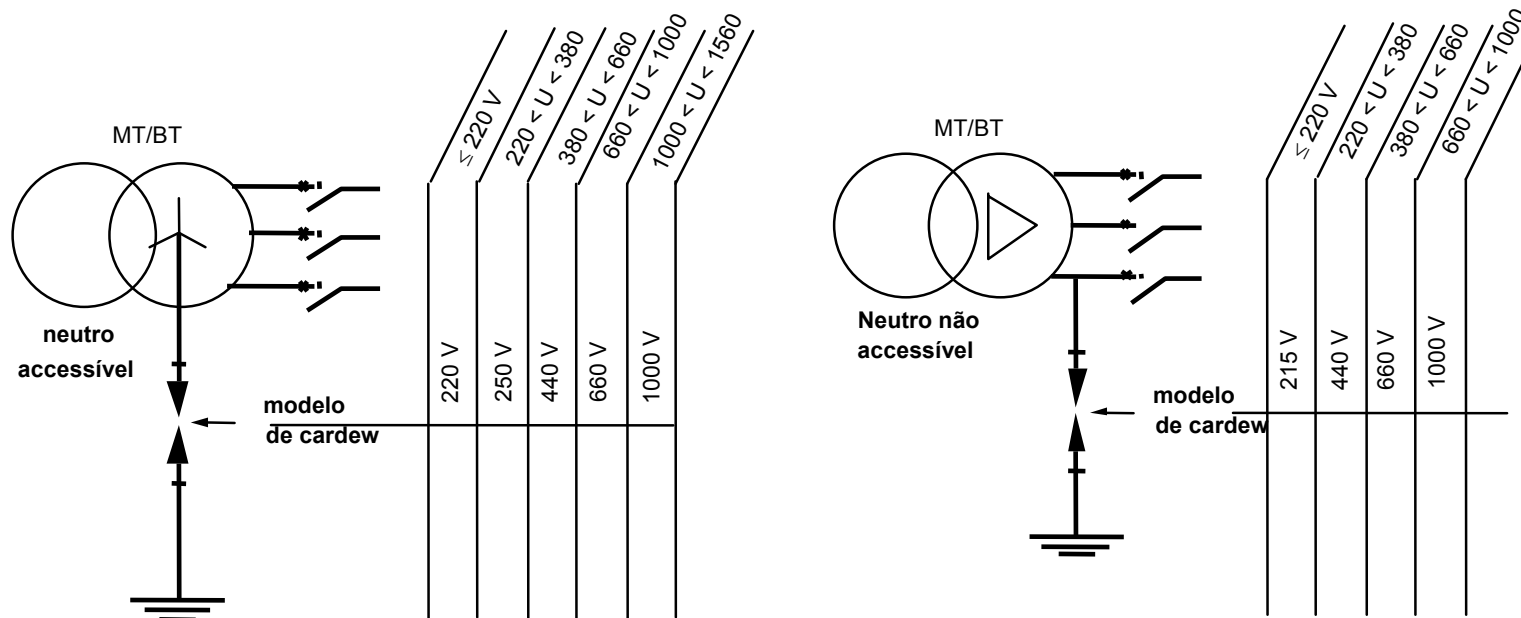
em caso de funcionamento, o limitador de sobretensão

- transforma um esquema ITR em TN
- transforma um esquema ITN em TT

O limitador de sobretensões



O limitador de sobretensões

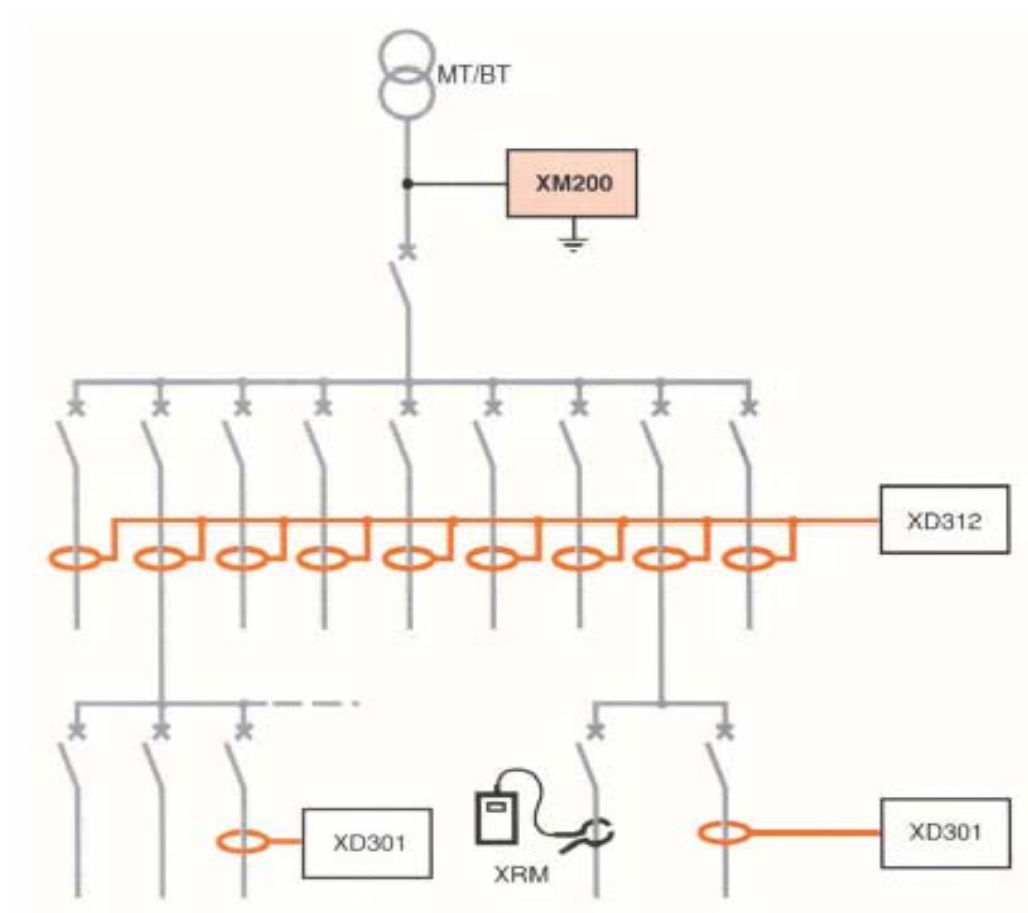


Quadro de escolha do cabo de ligação do cardew c

| | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| P do transfo kVA / 400 V | 15 | 40 | 50 | 63 | 125 | 200 | 315 | 400 | 630 | 1000 | 1600 |
| | 25 | | | 80 | 160 | 250 | | 500 | 800 | 1250 | 2000 |
| | | | | 100 | | | | | | | |
| secção Cu mm ² | 2.5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | 35 | 50 | 70 | 95 | 120 |

Nota : estas secções são obrigatórias em esquema ITR

Procura de defeitos, sob tensão,

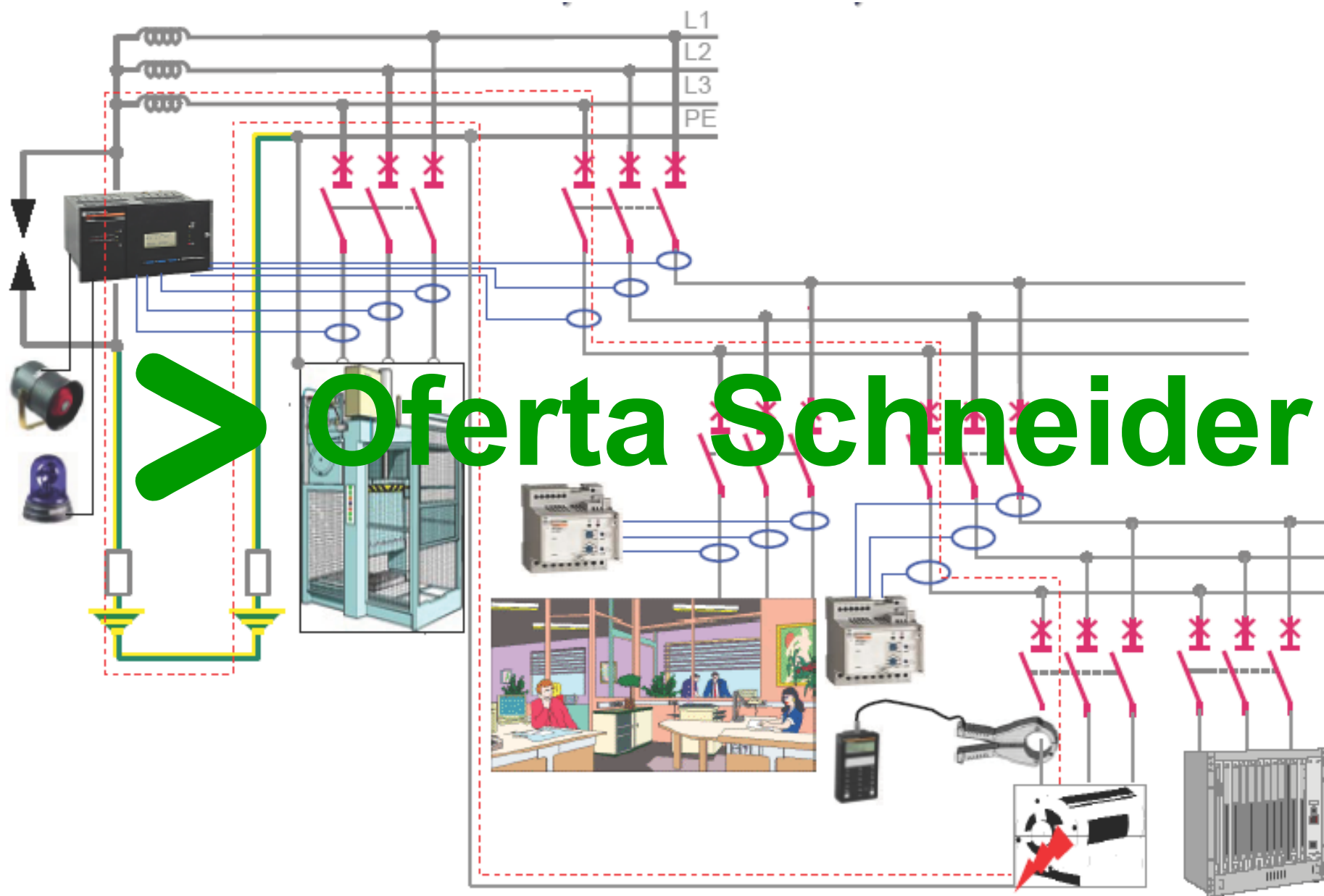


■ procura automática

detectores fixos :
(XD312 - XD 301)

■ procura manual

Detectores móveis :
(caixa XRM associada a
pinças P15 / P50 / P100)



RTIEBT – secção 413.1.5.5 – 2º defeito

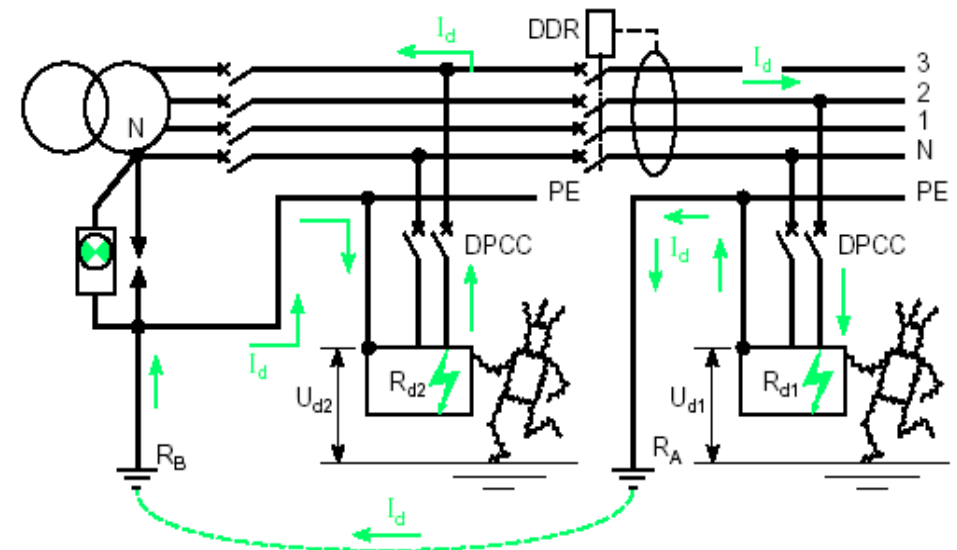
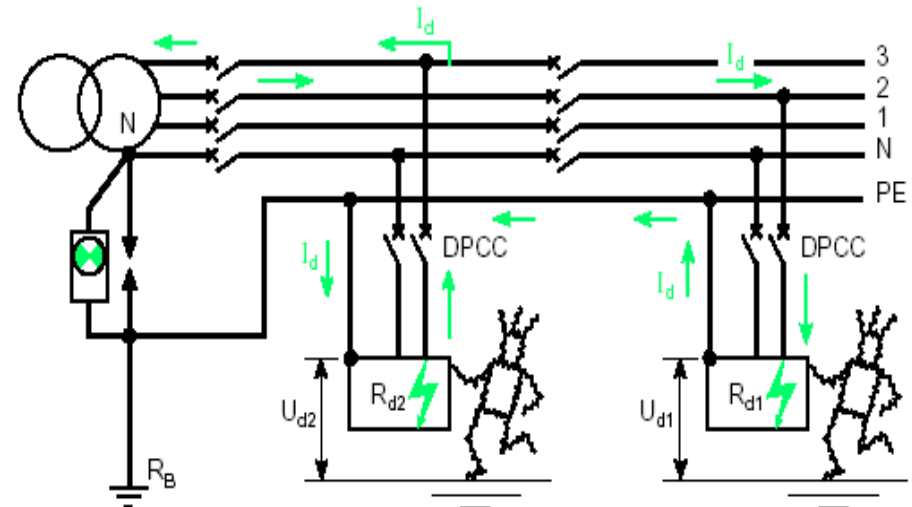
- No caso de ocorrer um segundo defeito, devem ser tomadas as medidas adequadas por forma a evitar riscos de efeitos fisiopatológicos perigosos para que as pessoas possam ficar em contacto com partes condutoras simultaneamente acessíveis.
- Quando ocorrer um segundo defeito sem que o primeiro esteja resolvido, a alimentação deve, consoante o modo de ligação das massas à terra, ser interrompida nas seguintes condições:
 - a) Quando as massas estiverem ligadas à terra, individualmente ou por grupos **o esquema IT transforma-se em TT** – aplicação das regras indicadas em 413.1.4 (com excepção do 2º parágrafo de 413.1.4.1 que não é aplicável)
 - b) Quando as massas estiverem interligadas, **o esquema IT transforma-se em TN**, sendo aplicáveis as regras de, 413.1.5.6 e 413.1.5.7

Análise do 2º defeito

Se aparecer um segundo defeito numa outra fase, enquanto o primeiro defeito não tiver sido eliminado, as massas dos receptores respectivos são levadas ao potencial desenvolvido pela corrente de defeito no condutor de protecção (PE) que as interliga;

1º caso – As massas de utilização estão interligadas pelo condutor de protecção;

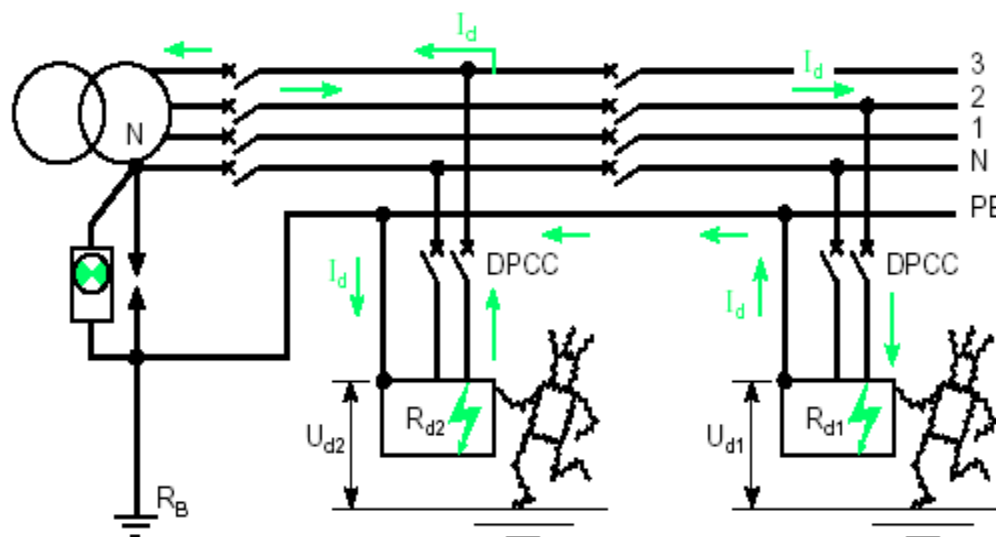
2º caso – As massas de utilização estão ligadas a tomadas de terra diferentes, não interligadas.



Análise do 2º defeito

1º caso – Massas de utilização interligadas pelo condutor de protecção (PE):

- Situação semelhante ao esquema TN. O segundo defeito gerado é assim um curto-circuito;
- A protecção é assegurada por DPCC ($I_{rm} < I_d$), sendo obrigatório verificar sempre a impedância do anel (condutor PE e fase);



Quando aparece um defeito entre duas massas, vai circular uma corrente nos condutores de fase e no condutor de protecção PE, que assegura a interligação das massas.

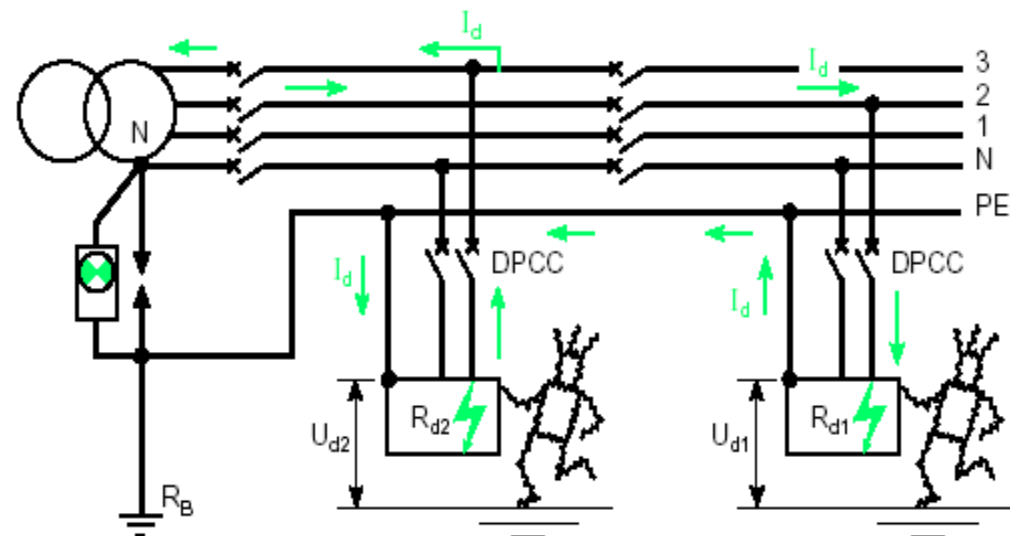
| | Tempos de corte a respeitar em segundos, para $U_L = 50V$ | |
|---------------------|---|--------------------|
| $U_o - U_c$ (volts) | Neutro não distribuído | Neutro distribuído |
| 120 – 240 | 0,8 | 5 |
| 230 – 400 | 0,4 | 0,8 |
| 400 – 690 | 0,2 | 0,4 |

(RTIEBT – secção 413.1.5.6) - Quadro 41B

1º caso – Massas de utilização interligadas pelo condutor de protecção (PE):

Se as condições de disparo não forem respeitadas:

- Regular os magnéticos das protecções para um valor mais baixo;
- Aumentar a secção dos condutores;
- Utilizar os DDR.



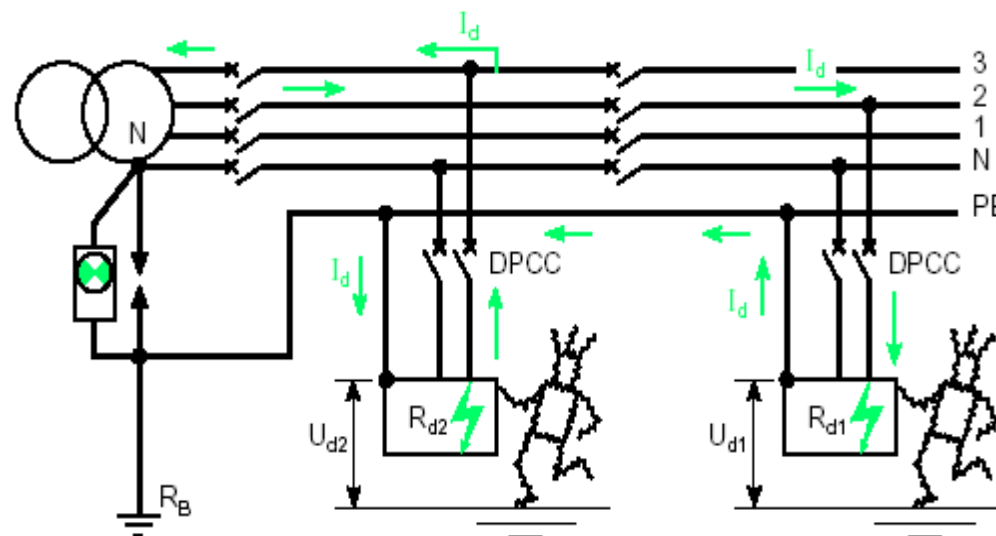
1º caso – Massas de utilização interligadas pelo condutor de protecção (PE):

- Se o circuito tiver neutro distribuído, o comprimento do cabo situado a jusante do último DPCC não deve exceder:

$$L_{\text{máx}} = \frac{1}{2} \times \frac{0,8 \times U_0 \times S_{\phi}}{\rho (1 + m) l_{rm}}$$

- E se não tiver neutro distribuído:

$$L_{\text{máx}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{0,8 \times U_0 \times S_{\phi}}{\rho (1 + m) l_{rm}}$$



Comprimentos máximos das canalizações trifásicas 230/400V

$m = 1$; $U_L = 50V$, condutores de cobre ($\rho_1 = 22,21 m\Omega \text{ mm}^2/m$),
regulação magnética = $10I_r$

| Secções | intensidade de corrente estipulada (A) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| mm2 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 320 | 400 | 500 | 630 |
| 1,5 | 19 | 15 | 12 | 9 | 7,5 | 6 | 4,5 | 3,5 | | | | | | | | | |
| 2,5 | 32 | 26 | 20 | 16 | 12 | 10 | 7,5 | 6 | 5 | 4 | | | | | | | |
| 4 | 51 | 41 | 32 | 26 | 20 | 16 | 13 | 10 | 8 | 6 | 5 | 4 | | | | | |
| 6 | 76 | 61 | 49 | 38 | 30 | 24 | 19 | 15 | 12 | 9,5 | 7,5 | 6 | 4,5 | | | | |
| 10 | 127 | 102 | 79 | 63 | 51 | 41 | 32 | 26 | 20 | 16 | 13 | 10 | 8 | 6 | 5 | | |
| 16 | 204 | 163 | 131 | 102 | 82 | 65 | 51 | 41 | 32 | 26 | 20 | 16 | 13 | 10 | 8 | 6 | 5 |
| 25 | 319 | 255 | 204 | 159 | 127 | 102 | 81 | 64 | 51 | 41 | 34 | 26 | 20 | 16 | 12 | 10 | 7,5 |
| 35 | | 357 | 285 | 223 | 178 | 143 | 113 | 89 | 72 | 56 | 44 | 36 | 28 | 22 | 17 | 14 | 11 |
| 50 | | | 408 | 266 | 255 | 204 | 161 | 127 | 101 | 81 | 63 | 51 | 40 | 31 | 25 | 20 | 16 |
| 70 | | | | 446 | 357 | 285 | 227 | 178 | 143 | 114 | 89 | 76 | 57 | 44 | 36 | 28 | 22 |
| 95 | | | | | | 388 | 308 | 242 | 198 | 155 | 121 | 97 | 77 | 61 | 48 | 39 | 30 |
| 120 | | | | | | | 389 | 306 | 245 | 186 | 153 | 127 | 98 | 77 | 61 | 49 | 38 |
| 150 | | | | | | | | 331 | 265 | 212 | 166 | 133 | 106 | 88 | 66 | 53 | 42 |
| 185 | | | | | | | | | 306 | 245 | 191 | 153 | 122 | 96 | 76 | 66 | 48 |
| 240 | | | | | | | | | | 313 | 245 | 196 | 57 | 123 | 98 | 78 | 62 |

Coeficientes de correcção a aplicar às tabelas anteriores

| | Coeficientes de correcção | |
|------------------------------------|---------------------------|------|
| Tensões limites convencionais (UI) | 25 V | 0.75 |
| | 12 V | 0.60 |

| m | Fusíveis | Disjuntores |
|---|----------|-------------|
| 2 | 0.50 | 0.67 |
| 3 | 0.36 | 0.50 |
| 4 | 0.28 | 0.40 |

Nota: coeficiente de correcção em função de m e do tipo de protecção - **SLT TN**

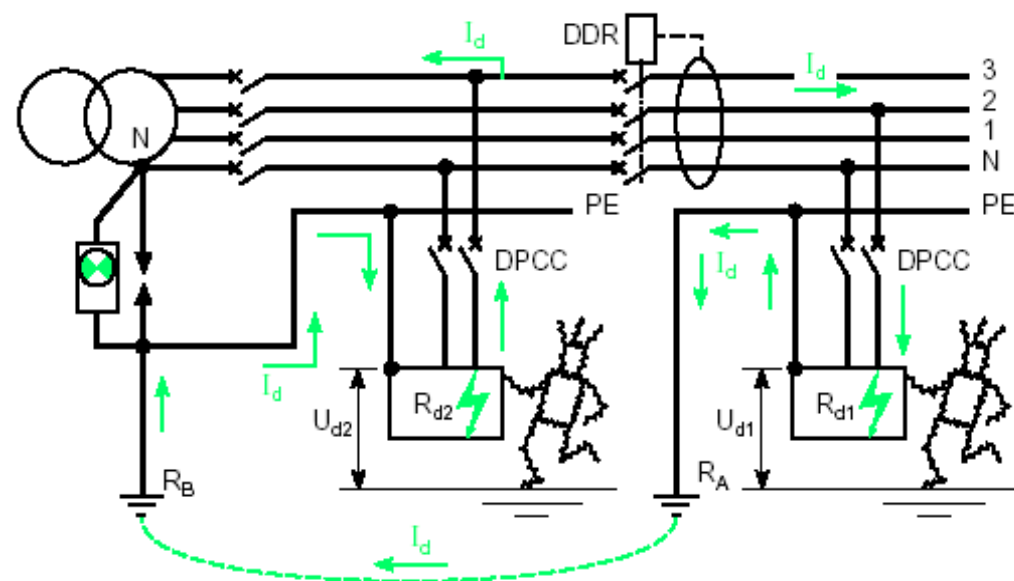
| | | Fusíveis | Disjuntores |
|------------------------|---|----------|-------------|
| m N não distribuído | 1 | 1 | 0.86 |
| | 2 | 0.50 | 0.58 |
| | 3 | 0.36 | 0.43 |
| | 4 | 0.38 | 0.35 |
| m N distribuído | 1 | 0.89 | 0.50 |
| | 2 | 0.44 | 0.33 |
| | 3 | 0.32 | 0.25 |
| | 4 | 0.25 | 0.20 |

Nota: coeficiente de correcção em função de m e do tipo de protecção - **SLT IT**

2º caso – Massas de utilização ligadas a tomadas de terra não interligadas

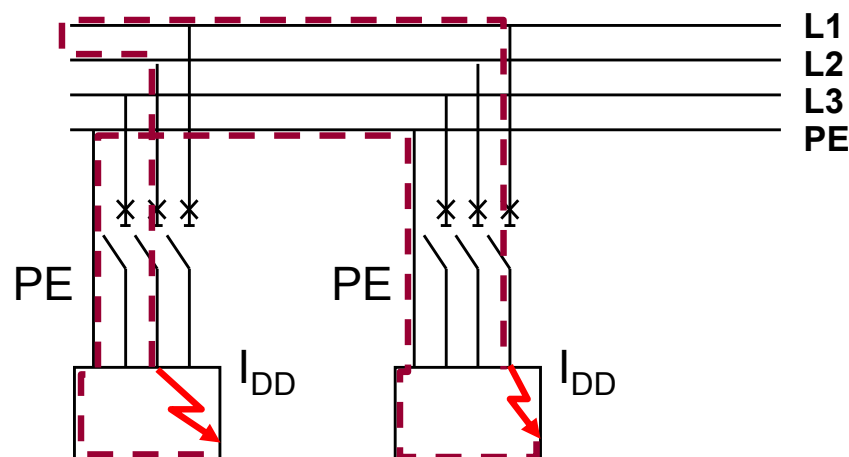
- Os dois defeitos podem produzir-se em grupos diferentes;

| Defeito duplo | U_c | I_d |
|--|-------|-------|
| • Fase - Neutro | 115 V | 11 A |
| • Fase - Fase | 200 V | 20 A |
| * Considerando $R_A = R_B = 10 \Omega$ | | |



- Além da protecção prevista no caso anterior, é obrigatório instalar um (DDR) Dispositivo Diferencial Residual à entrada de cada um dos grupos.

O poder de corte em esquema IT



Em esquema IT o valor da corrente de duplo defeito (I_{DD}) entre 2 fases (400V) pode ser elevada

□ estimativa de I_{DD} :

Se $I_{k3} > 10 \text{ kA}$ $I_{DD} = 0,25 \times$ a corrente de curto circuito trifásica no ponto considerado

Se $I_{k3} \leq 10 \text{ kA}$ $I_{DD} = 0,15 \times$ a corrente de curto circuito trifásica no ponto considerado

□ $I_{cu} \text{ 1 pólo a } U_n = I_{cu} \text{ 3 pólos a } U_n \times \sqrt{3}$

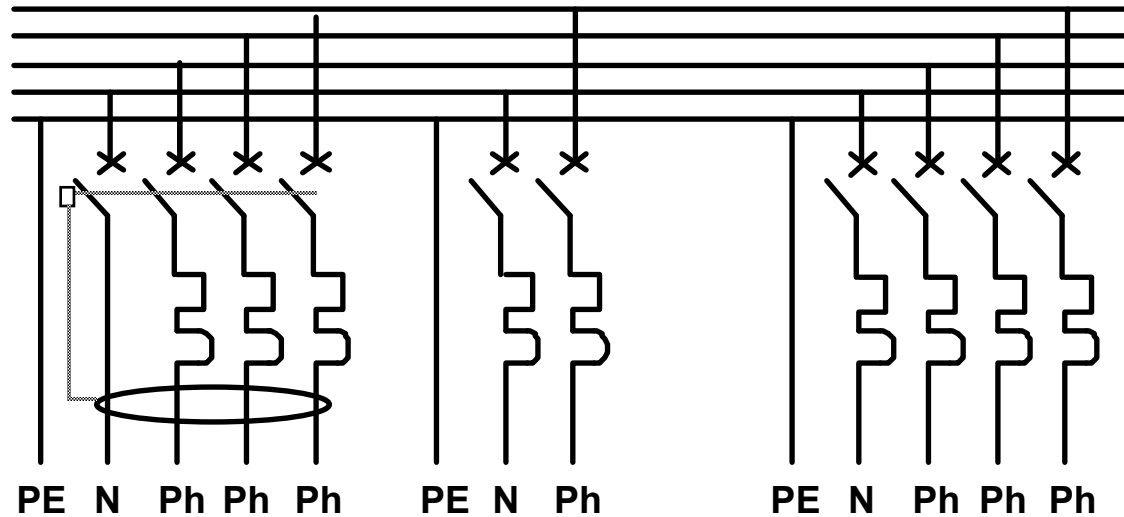
- **$I_{cu} \text{ 1 pólo a } U_n = I_{cu} \text{ 3 pólos a } U_n \times \sqrt{3}$**

Os fabricantes de disjuntores indicam os poderes de corte (I_{cu}) monofásico dos seus equipamentos segundo cada tensão nominal.

A norma CEEI 947-2 prevê uma sequência de ensaios para os disjuntores em redes do sistema IT. Os disjuntores que não cumpram estes requisitos

devem ser marcados: 

A protecção do neutro



❑ Em esquema IT, a protecção do condutor de neutro é **obrigatória**

❑ protecção por DDR: $I_{\Delta N} \leq 0,15 \text{ Iz neutro}$

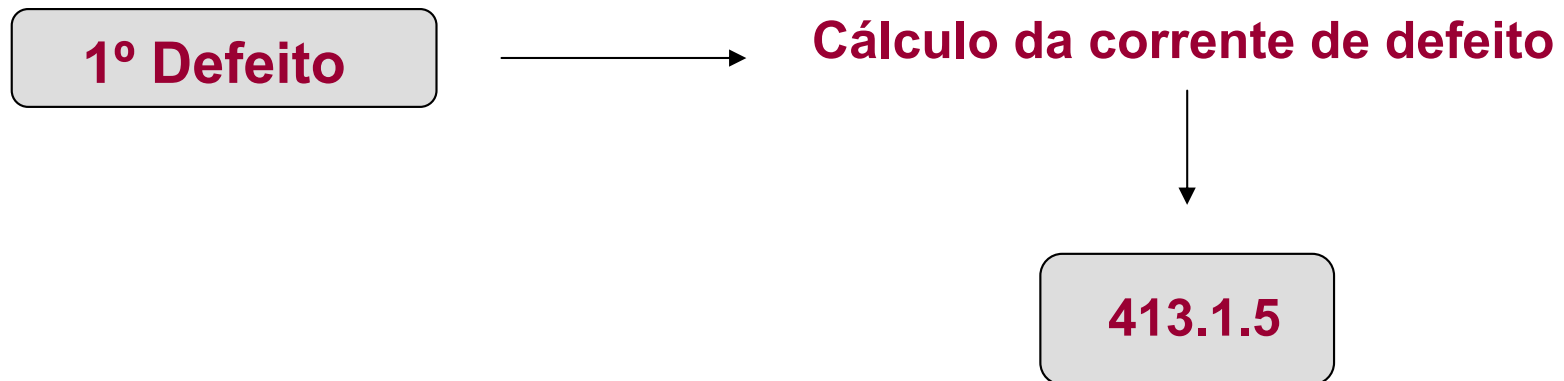
❖ cada um dos circuitos é protegido contra contactos indirectos por um dispositivo de protecção de sobreintensidades

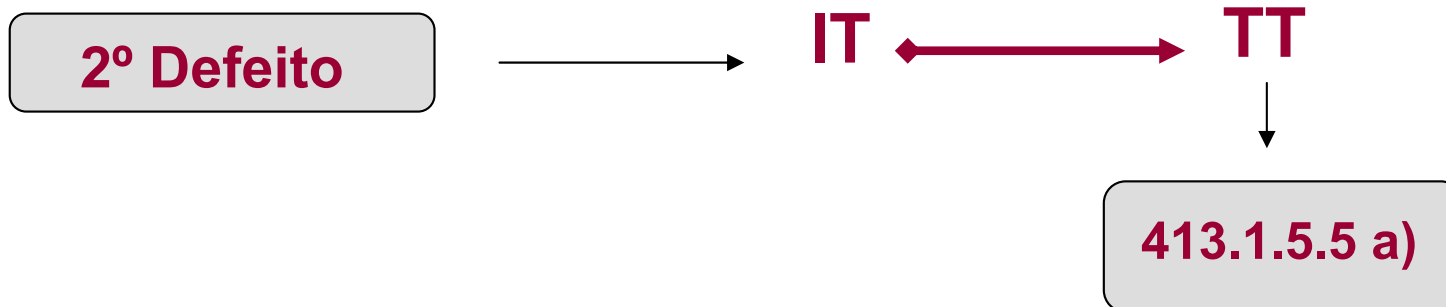
recapitulativo

| | TT | TN-C | TN-S | IT |
|----------------------------------|----------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|
| Corrente de defeito | alguns mA a A | $I_d \approx I_{cc}$ | $I_d \approx I_{cc}$ | $I_d < 0,1A$ |
| Tensão de defeito | $U_C > U_L$ | $U_C > U_L$ | $U_C > U_L$ | $V_C < U_L$ |
| Comprimento dos cabos | sem limitações | cálculo | cálculo | cálculo |
| Protecções defeito de isolamento | DDR | disjuntor | disjuntor ou DDR | disjoncteur ou DDR + signalisation |
| Descarregador de sobretensões | aconselhado | aconselhado | aconselhado | necessário |

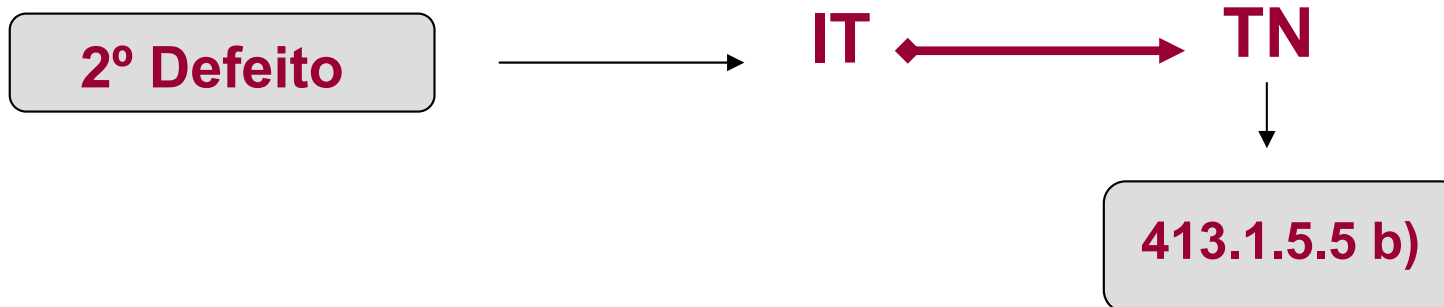
Verificação das condições de protecção por corte automático da alimentação – de acordo com as RTIEBT

612.6.1 – Sistema IT – c)





- **Medida da resistência do eléctrodo de terra das massas instalação**
- **Verificar características do dispositivo de corte associado ao TT**
 1. **Inspeção visual da corrente e o ensaio, quando o dispositivo de protecção diferencial (Anexo B)**
 2. **Inspeção visual da corrente estipulada dos disjuntores ou fusíveis de protecção de sobreintensidades**
 3. **Verificar continuidade dos condutores de protecção (612.2)**



- **Medição da malha de defeito ou medida da resistência dos condutores de protecção.**
- **Verificação das características do dispositivo de corte, inspecção visual da corrente estipulada dos disjuntores ou dos fusíveis. Para os DDR verificação do seu funcionamento.**
- **Medida da resistência do electrodo de terra global RB (413.1.3.7)**

Metodologias de acordo com as RTIEBT / parte 6

- Anexo B

Verificação do funcionamento dos DDR

Método 1

Pode ser usado nas instalações em SLT TN-S; TT; ou IT. Para o esquema IT, pode ser necessário ligar à terra um ponto da instalação durante a realização dos ensaios, a fim de fazer actuar o dispositivo.

Método 2

Pode ser usado em instalações de sistema TN-S; TT ou IT.

Metodologias de acordo com as RTIEBT / parte 6

- Anexo B

Verificação do funcionamento dos DDR

Método 3

Necessita de um eléctrodo de terra auxiliar.

Pode ser usado nas instalações em SLT TN-S; TT; ou IT. Para o esquema IT, pode ser necessário ligar à terra um ponto da instalação durante a realização dos ensaios, a fim de fazer actuar o dispositivo.

Nota: todos estes métodos são a título exemplificativo

Metodologias de acordo com as RTIEBT / parte 6

- Anexo C

Medição da resistência de um eléctrodo de terra

Seguir indicações das RTIEBT - Exemplificativo

- Anexo D

Medição da malha de terra

Método 1 – Quedas de tensão

Método 2 – Alimentação separada