



UAlg/ISE

**3<sup>as</sup> Jornadas Tecnológicas de EEE**

# **PERIGOS DA ELETRICIDADE**

**José Gonçalves**

**UAlg/ISE**



## **1. INTRODUÇÃO**

- **O homem seria impune aos perigos da electricidade?**

– Sim, se fosse de borracha ou de plástico (maleável) ...

– Mesmo assim, esses materiais deveriam ser de boa qualidade em **AT** (Alta Tensão).

- **Mergulhando na realidade ...**

“Já que a montanha não vem a Maomé, irá Maomé à montanha”,

**do mal o menos**, o homem, perante diversos perigos da electricidade, deve-se **precar, quando necessário, com fatos, capacetes, viseiras, luvas, sapatos, ..., de material isolante.**

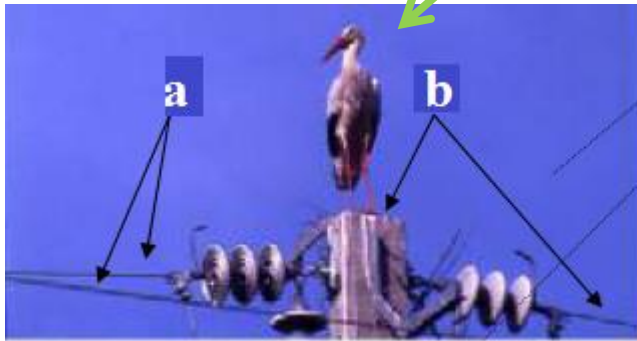
– De entre inúmeros exemplos, Não esquecer:

- Os pássaros apoiados nas linhas eléctricas, **sem isolamento**, não têm problemas (**todo o corpo está ao mesmo potencial**);

Fig. 1.1 – pássaros em cima de fios eléctricos.



- Idem para as cegonhas, **se não abrirem muito as asas**;

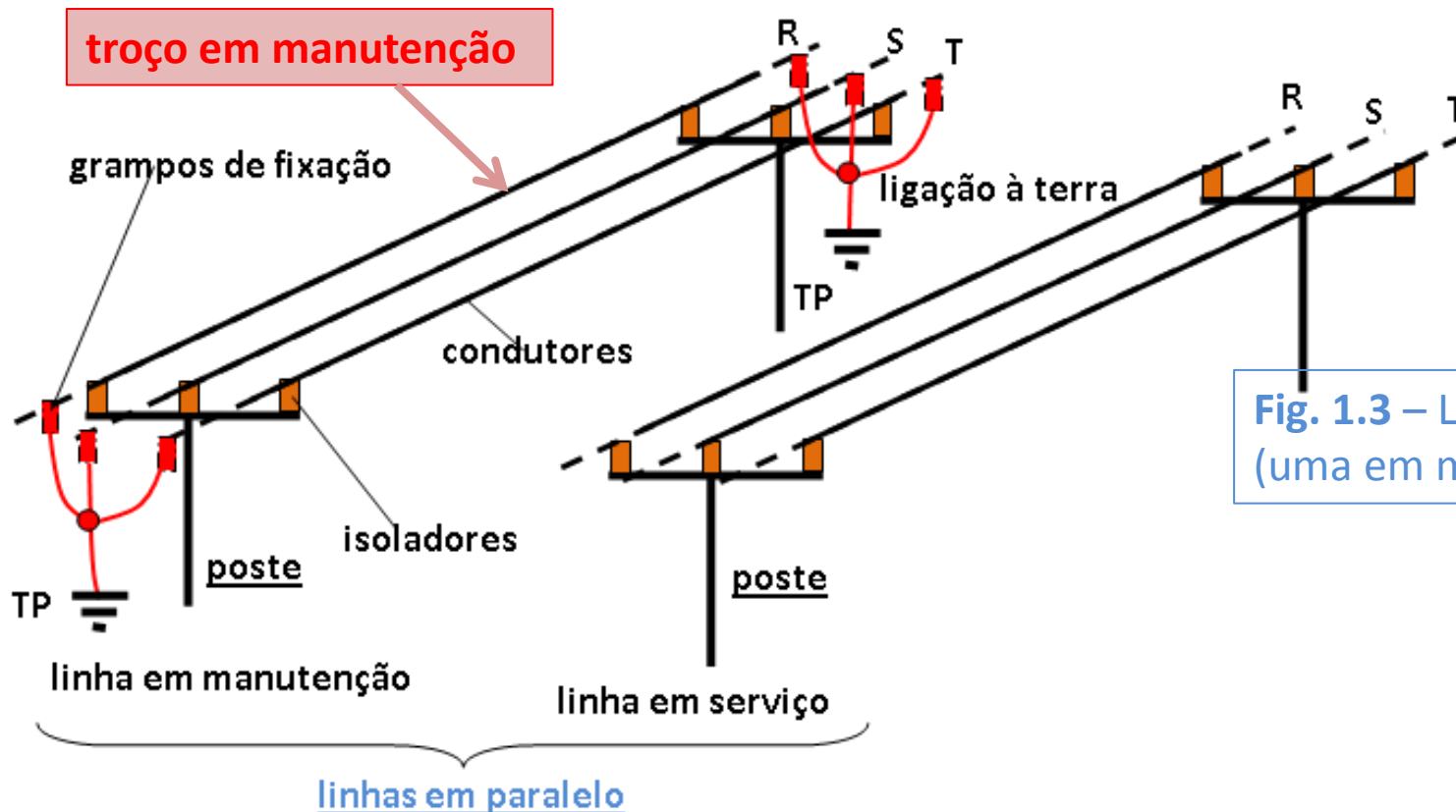


**Cortesia:** Estudo sobre o Impacte das Linhas Eléctricas de Média e Alta Tensão na Avifauna em Portugal (QUERCUS).

Fig. 1.2 – Cegonha num apoio, com elevado risco de Electrocussão;  
•a) entre fases; •b) entre fase neutro no apoio.

- Não **urinar** dum ponto alto numa barreira para uma zona baixa, onde exista uma linha aérea, **a urina é boa condutora de eletricidade**;

- Na manutenção de linhas, existindo outras paralelas em tensão, estas devem ser shuntadas à terra nos troços em elaboração (**forças electromotrizes induzidas que podem ser fatais – para evitar, as linhas devem-se cruzar perpendicularmente**).



**Fig. 1.3 – Linhas em paralelo (uma em manutenção).**

- Quando há trovoadas, não se deve permanecer debaixo das árvores, com a humidade formam-se cargas elétricas de sinal contrário ao das nuvens na vizinhança, o que facilita a descarga elétrica (**morte?**), mas a estatística nem sempre se verifica a 100 %.



Fig. 1.4 – Quando há chuva e trovoadas, não se deve permanecer debaixo das árvores.

- Por vezes a **AT** torna-se menos perigosa do que a **BT**.
  - Em **BT**, quando a mão retrai já está a agarrar o fio;
  - Em **AT**, quando a mão sente o efeito do arco, esta ao contrair-se não agarra o fio.

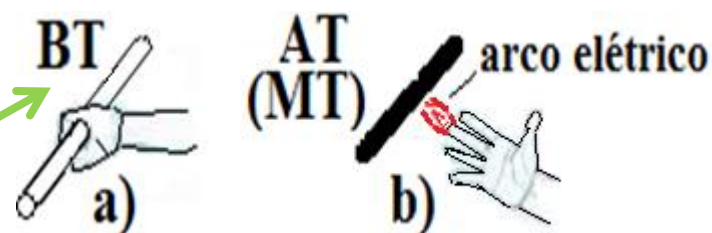


Fig. 1.5 –  
a) **BT** a mão agarra o fio;  
b) **AT** há arco elétrico antes da mão agarrar o fio.

- Nunca atravessar uma linha de **MT**, ou de **AT**, com uma cana de pesca, de **fibra de carbono**, ao alto; pois entre a extremidade da cana e a linha pode-se formar um **arco eléctrico** que pode conduzir corrente através do indivíduo.

- Quando reparar avarias a jusante de um **PT**, ou na derivação de uma linha de **MT**, ou de **AT**, verificar se o **seccionar** está aberto (**CORTE VISÍVEL**).

### Legenda:

**MT** – Média Tensão; **BT** – Baixa Tensão; **SF** – Seccionador com corte visível; **DS** – Descarregador de sobretensões; **T** – Transformador de Potência; **Re** – Reenvio mecânico com fixação; **QGBT** – Quadro Geral de Baixa Tensão; **Com** – Punho de comando com fixação; **TP** – Terra de Proteção.

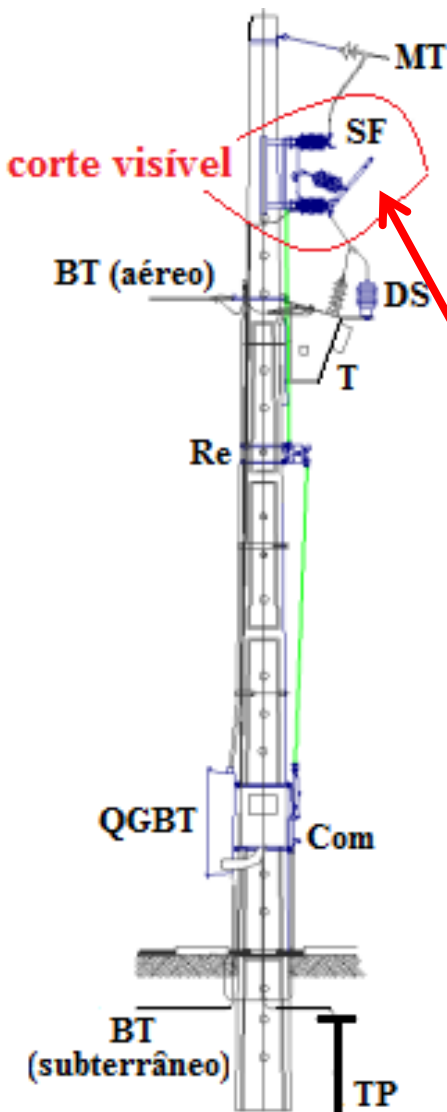


Fig. 1.6 – PT aéreo tipo AS.

• Num ambiente em que há cheiro a gás, nunca manobrar o interruptor.

• Num circuito de tomadas c/ terra, nunca interromper o condutor de terra, mesmo que se poupe alguns euros.

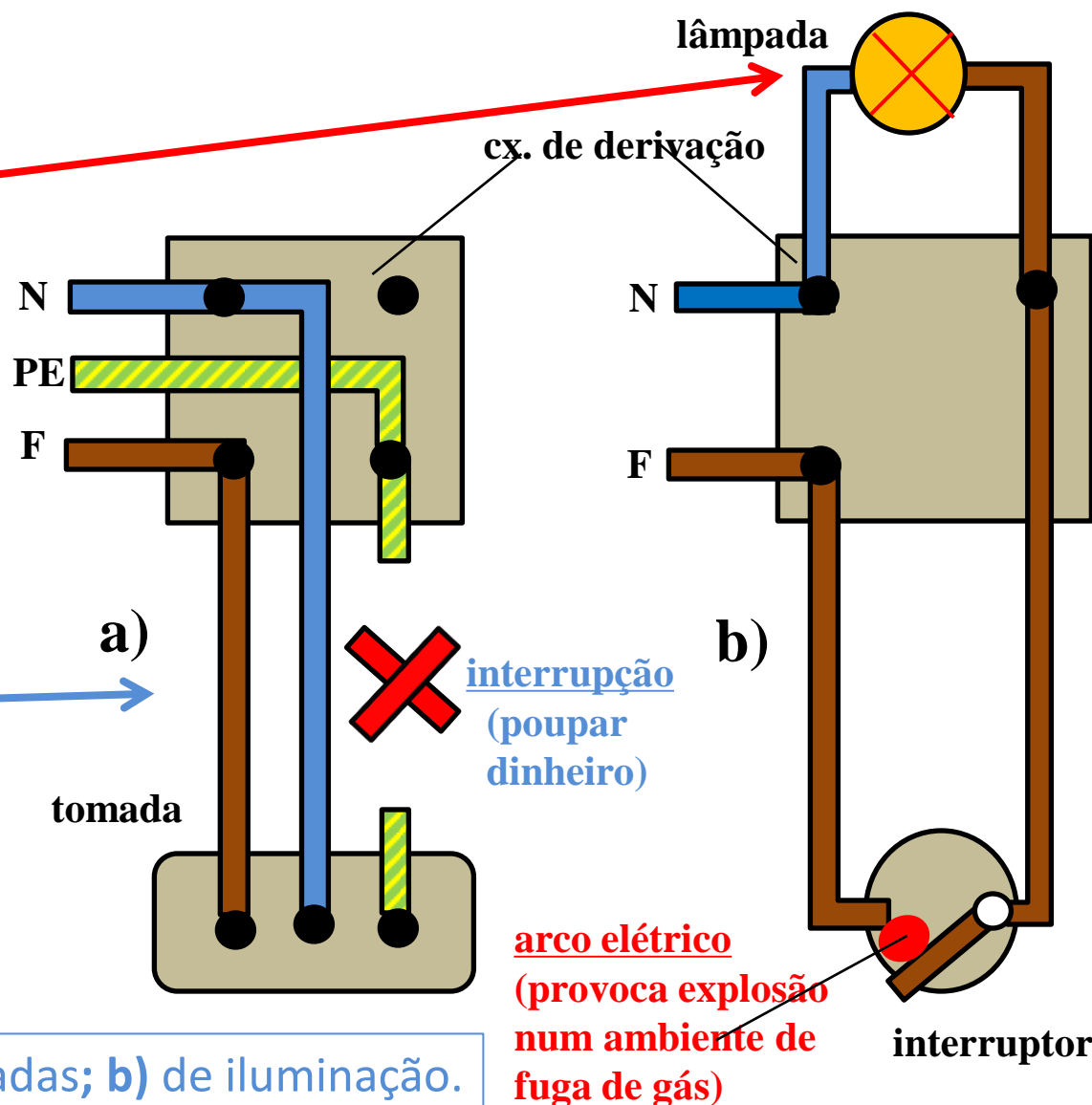
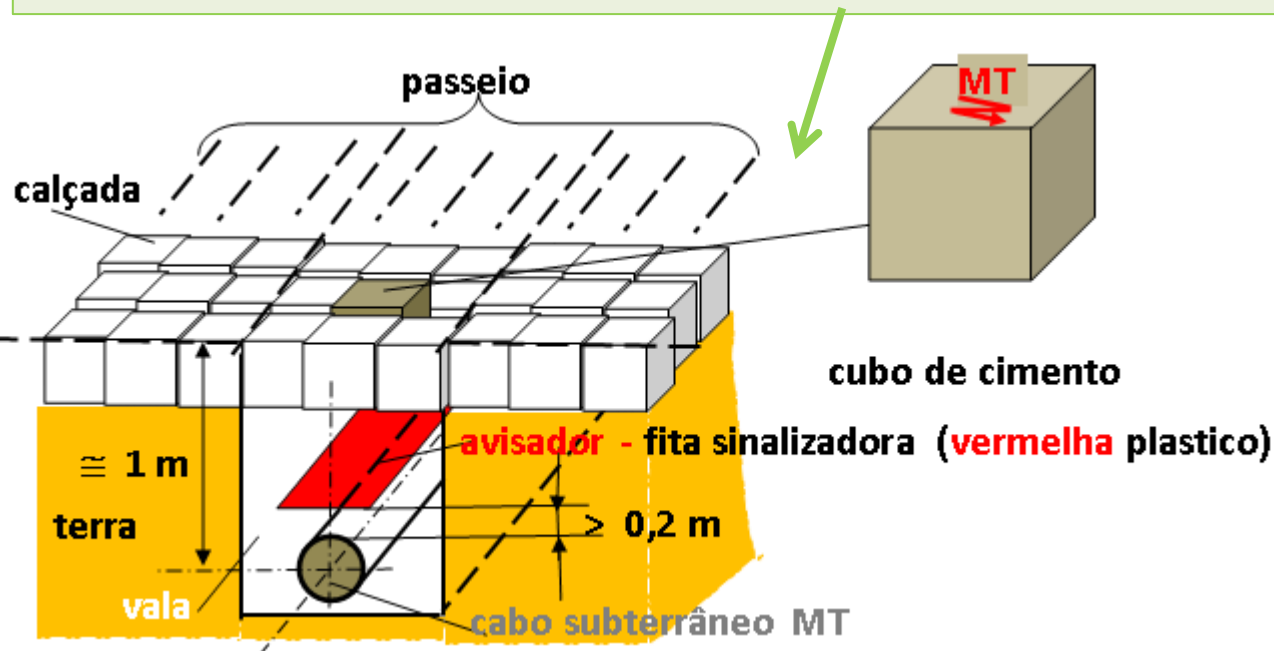


Fig. 1.7 – Circuitos: a) de tomadas; b) de iluminação.

## **2. SINALIZAÇÃO DOS PERIGOS**

- Para sinalização de cabos elétricos, geralmente a **1 m** de profundidade, deve-se colocar acima **fita (ou malha) de plástico vermelha**;
- Nos passeios, o distribuidor sinaliza o cabo subterrâneo com **pequeno bloco de cimento** com inscrição “**MT**”, “**EDP**”, etc.;



**Fig. 2.1 – Sinalizações do cabo subterrâneo de MT.**



## **2. SINALIZAÇÃO DE PERIGOS (Cont.)**

- Os **armários de distribuição**, devem ter um dístico com o símbolo e a frase “**PERIGO DE MORTE**”.



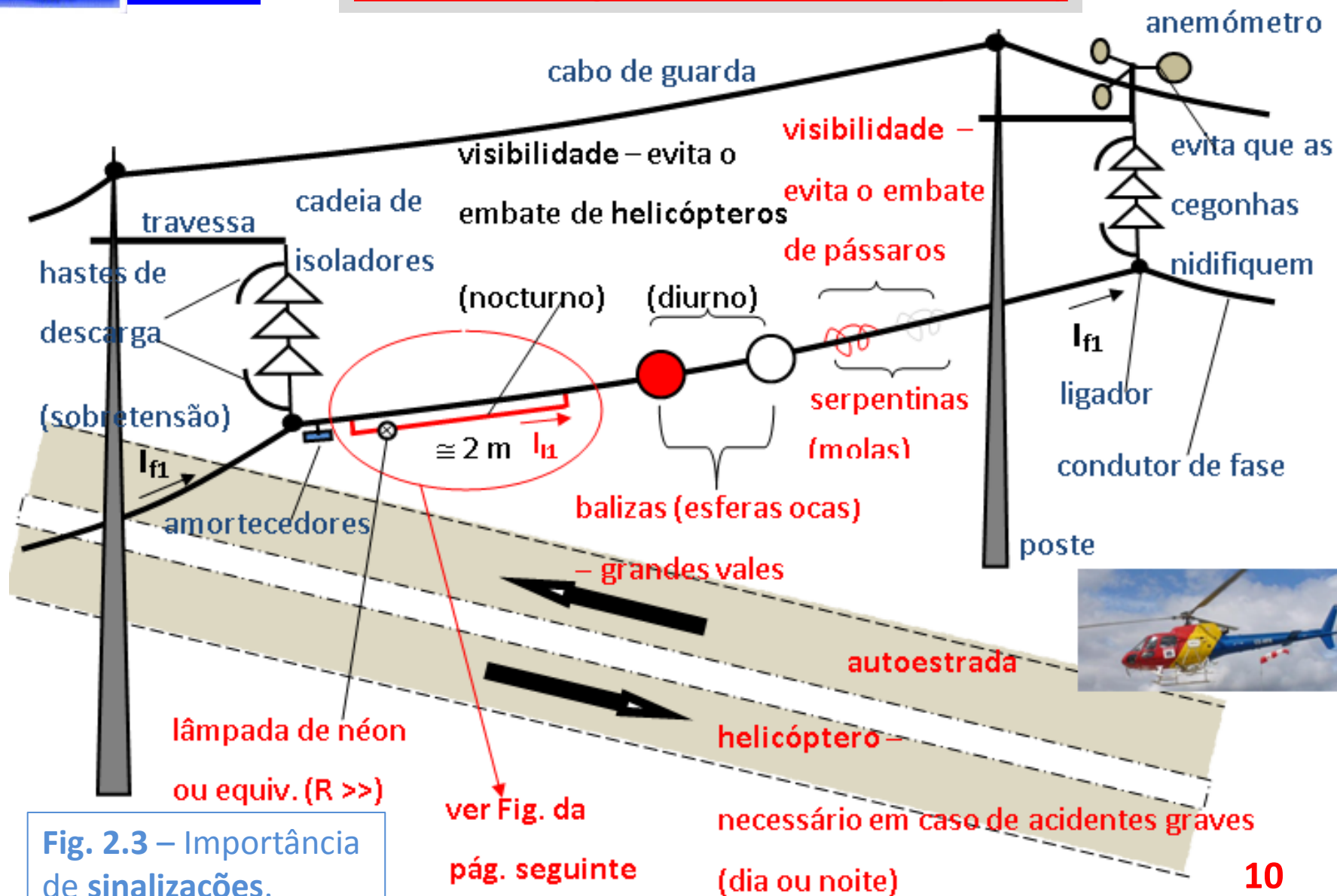
**Fig. 2.2 – Armário de distribuição para energia elétrica em BT.**

- Nos **Postos de Transformação e Seccionamento (PTS)**, em alvenaria, devem existir **extintores**, à entrada das celas deve haver dísticos com símbolos e a frases “**PERIGO DE MORTE**”, uma placa com folhas informativas sobre “**OS PRIMEIROS SOCORROS**”.



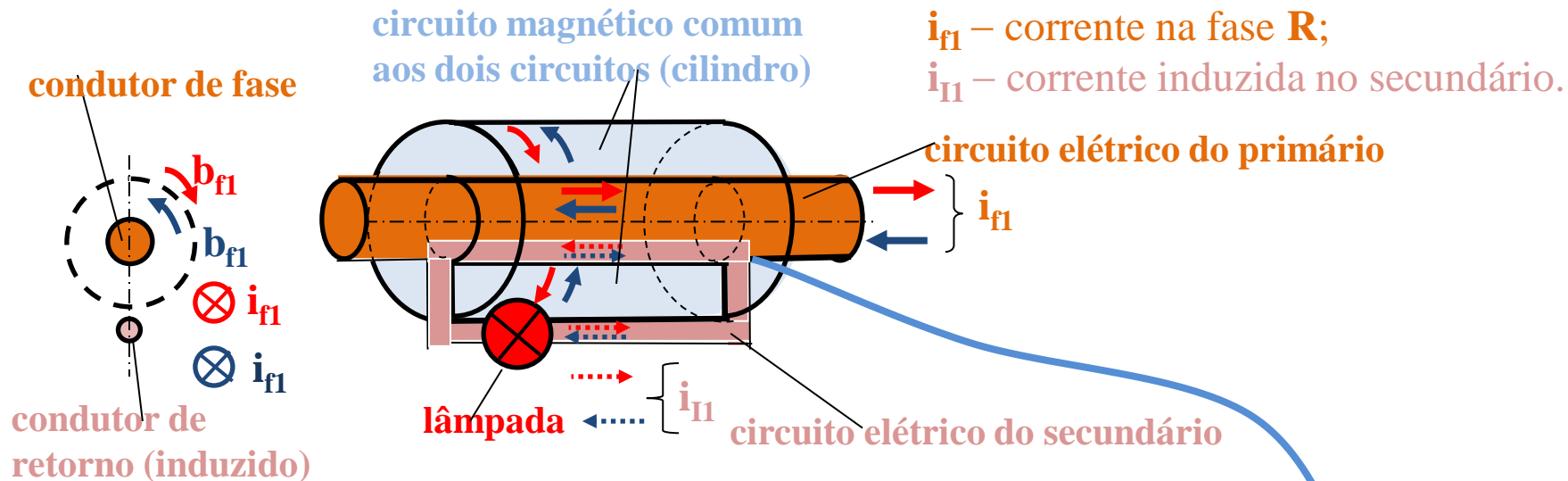
–Este símbolo alerta a presença de “**tensão perigosa**”, com risco de descarga eléctrica.

## 2. SINALIZAÇÃO DE PERIGOS (Cont.)



**Fig. 2.3 – Importância de sinalizações.**

## 2. SINALIZAÇÃO DE PERIGOS (Cont.)



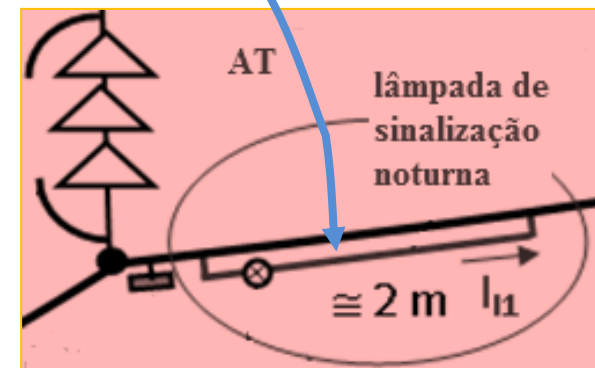
**Fig. 2.4** – Funcionamento da lâmpada de sinalização (apenas se  $i_{f1} > 0$ , e se for alternada).

em que:

$i_{f1}$  – corrente instantânea da fase R (variável no tempo) (A);

$i_{l1}$  – corrente instantânea induzida (A);

$b_{f1}$  – indução magnética indutora (variável no tempo) (T).





### **3. EFEITOS DA CORRENTE ELÉTRICA**

#### **• Resistência elétrica do corpo humano**

- A corrente no **corpo humano** dependerá da:

- resistência que oferece à passagem da corrente (sendo maior na pele seca);
- resistência adicional à terra (revestimento, pavimento, eletrodo de terra).

- A resistência da parte interna do corpo (sangue, músculos e tecidos), é mais baixa, **300 a 500  $\Omega$** , sendo na pele mais elevada.

- Para um valor médio da resistência do corpo humano, pode-se considerar **5000  $\Omega$** , podendo ser inferior se o corpo estiver molhado ( $\cong$  **1000  $\Omega$** ).

### 3. EFEITOS DA CORRENTE ELÉTRICA - (JUSTIFICAÇÃO)

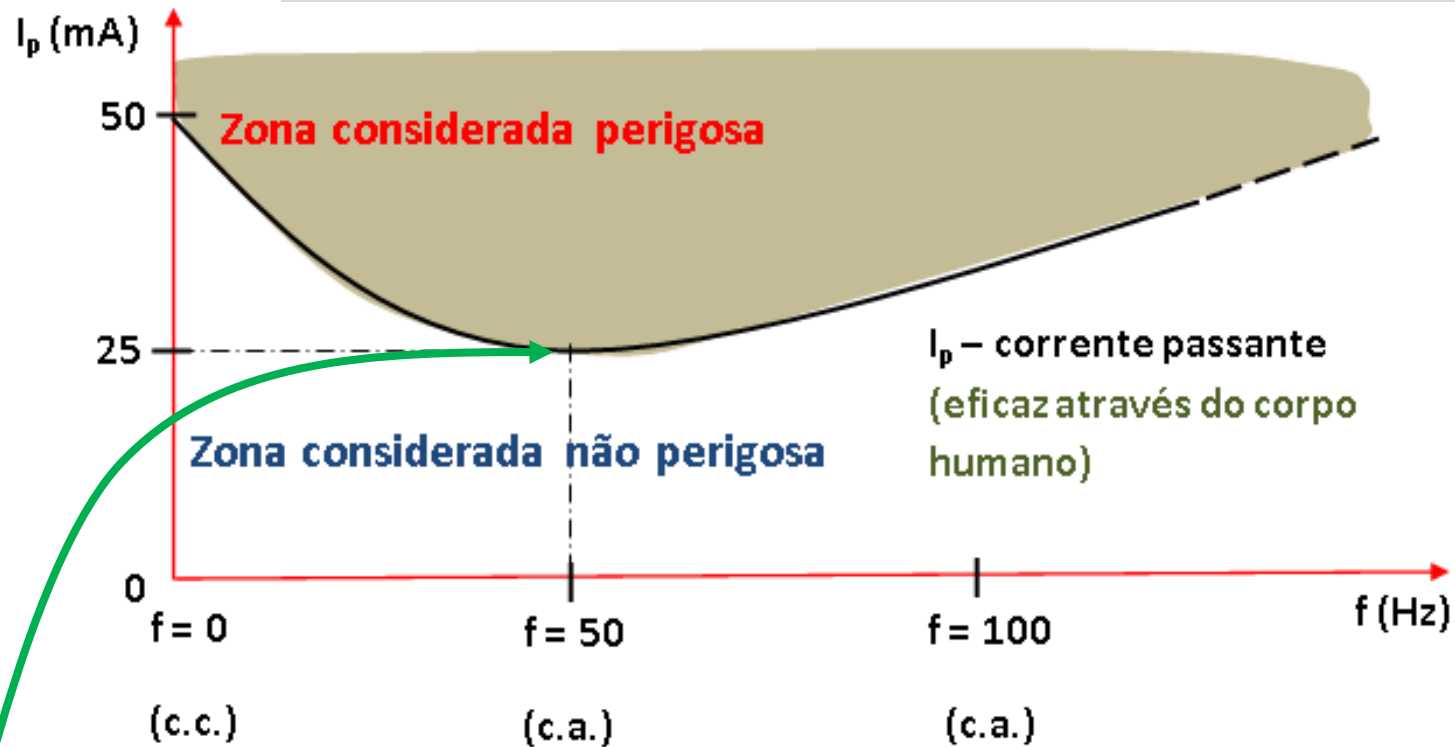
–De acordo com a maioria dos **peritos**, pode-se admitir que:

- A **c.a.** ( **$f = 50 \text{ Hz}$** ) é mais perigosa do que a **c.c.**;
- Geralmente a **AT** é mais perigosa do que a **BT**.

–Partindo de literatura divulgada, **nem sempre consensual**, considera-se que a **corrente através do corpo humano**, é perigosa quando ultrapassa:

- 50 mA (c.c.)** (100 mA segundo **Merlin Gerin**);
- 25 mA (c.a. –  $f = 50 \text{ Hz}$ )** (30 mA segundo **Merlin Gerin**).

### **3. EFEITOS DA CORRENTE ELÉTRICA - (JUSTIFICAÇÃO)**

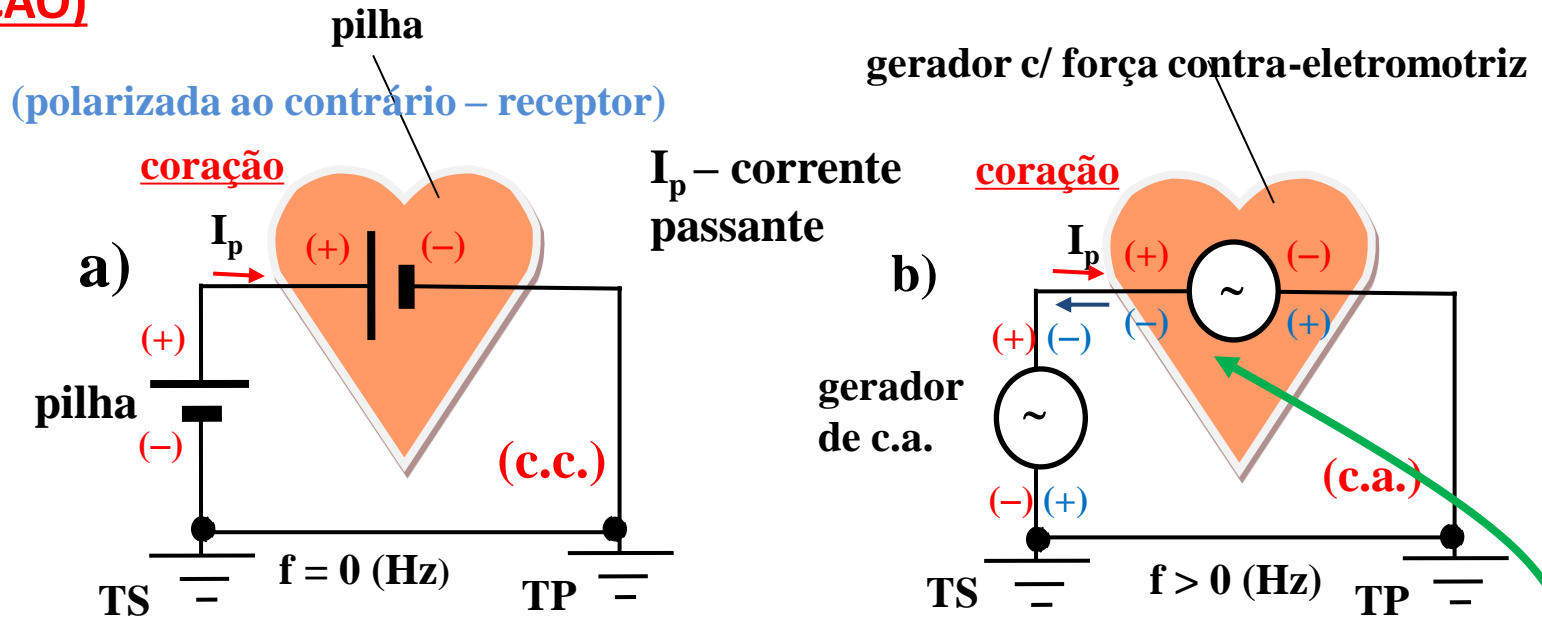


**Fig. 3.1** - Corrente que se torna perigosa através do **corpo humano**, em função de **f (Hz)**.

Da **Fig.3.1**, a mesma corrente torna-se **mais perigosa** para maiores frequências, mas a partir de **50 Hz** volta a ser **menos perigosa**.

### 3. EFEITOS DA CORRENTE ELÉTRICA - (JUSTIFICAÇÃO)

#### (JUSTIFICAÇÃO)

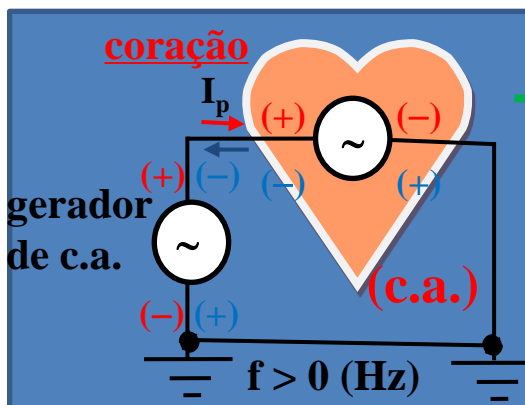
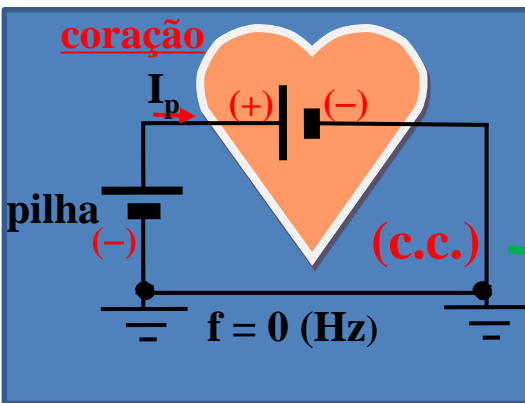
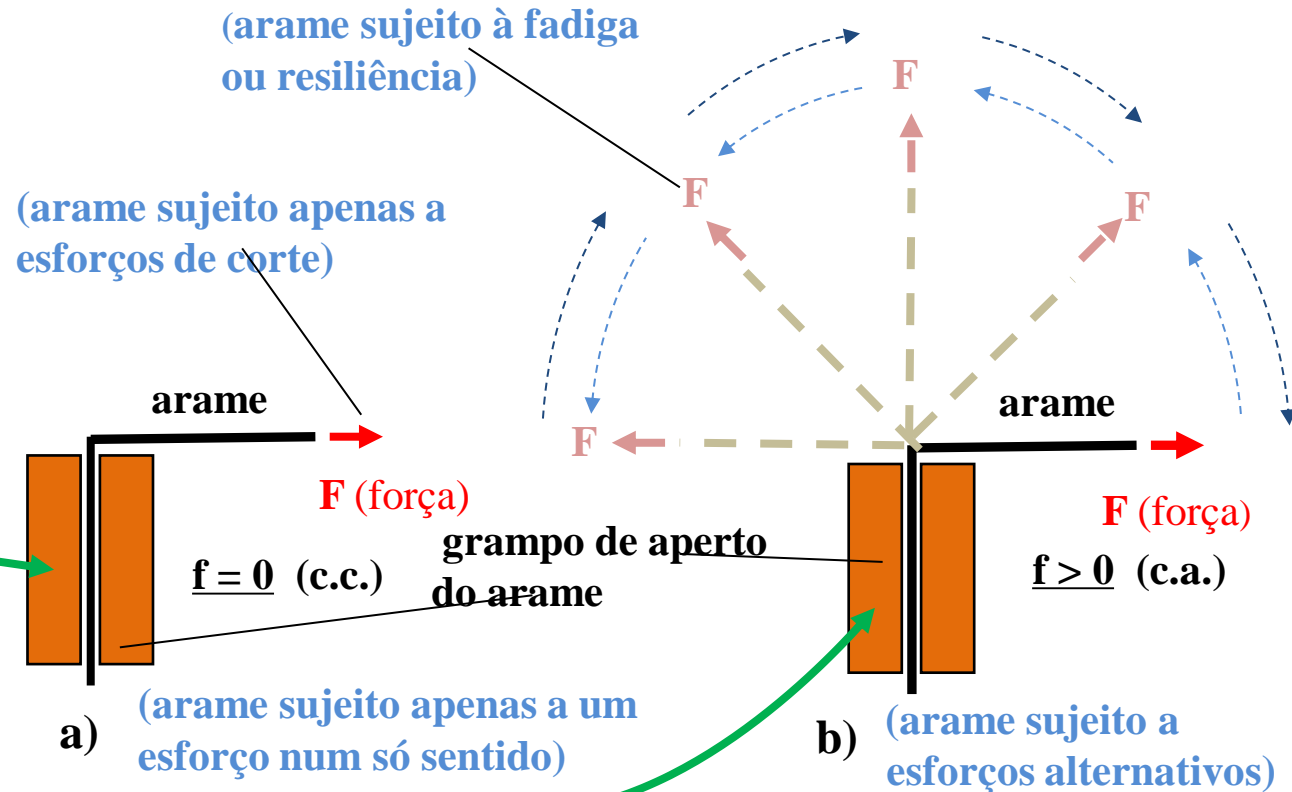


**Fig. 3.2** – Coração funcionando como gerador com força contra electromotriz;  
 •a) - em corrente contínua (c.c.);  
 •b) - em corrente alternada (c.a.).

Da **Fig.3.2-b)**, em **c.a.**, o coração é solicitado a uma maior mudança de polarização, o que o torna mais fatigado, análogo ao se tentar **partir um arame** (Fig. seguinte).

### 3. EFEITOS DA CORRENTE ELÉTRICA (JUSTIFICAÇÃO)

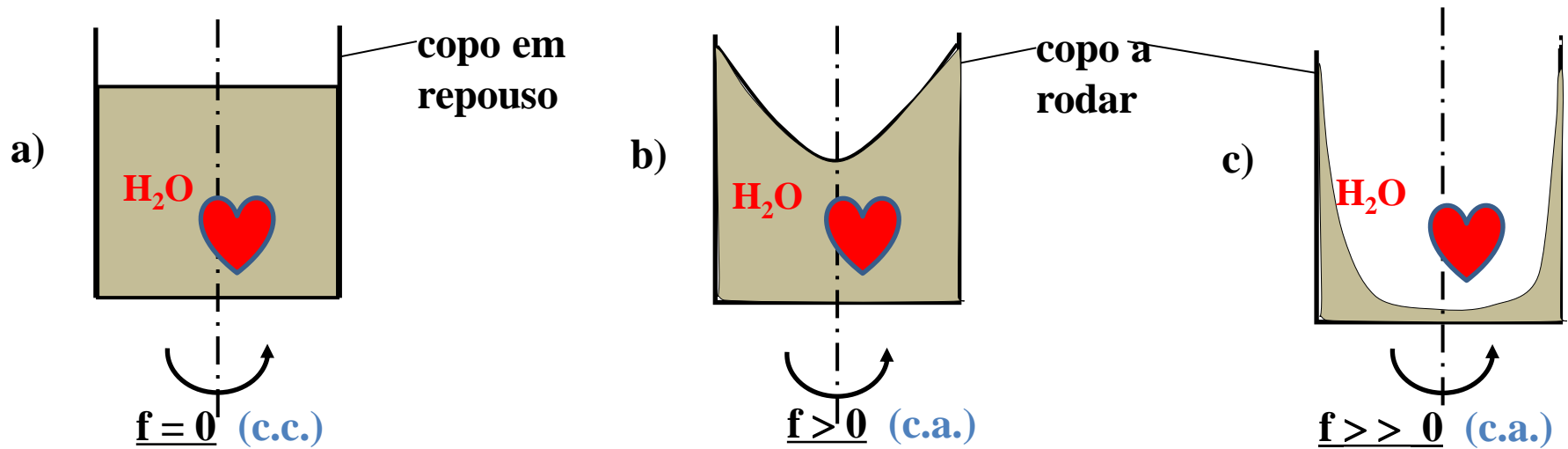
**(JUSTIFICAÇÃO)**  
do coração ficar  
fatigado



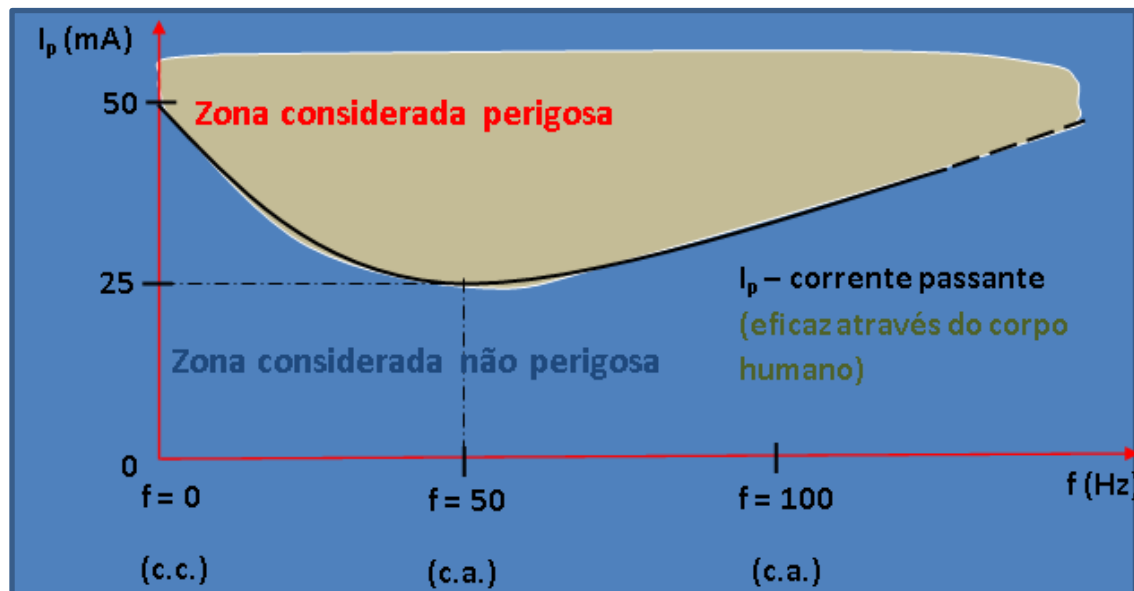
**Fig. 3.3 – Arame sujeito a um esforço ( $F$ );**  
a) - sempre no mesmo sentido (análogo a c.c.);  
b) - em diversos sentidos variáveis no tempo (análogo a c.a.).



### 3. EFEITOS DA CORRENTE ELÉTRICA (JUSTIFICAÇÃO)



**Fig. 3.4** – Aspecto qualitativo do efeito pelicular (analogia com os fluidos em movimento).



**Fig. 3.1-a** - Corrente que se torna perigosa através do **corpo humano**, em função de  $f$  (Hz).

## **3.1 EFEITOS TÉRMICOS E ELECTRODINÂMICOS**

### **3.1-a) EFEITOS TÉRMICOS**

- A passagem de corrente através dum condutor cria o chamado efeito de joule, ou seja, uma certa quantidade de energia eléctrica é transformada em calor (**as pessoas também são condutores de eletricidade**).

$$Ri^2t = mc\Delta\Theta$$

(lei de joule)

R – resistência do condutor ( $\Omega$ );

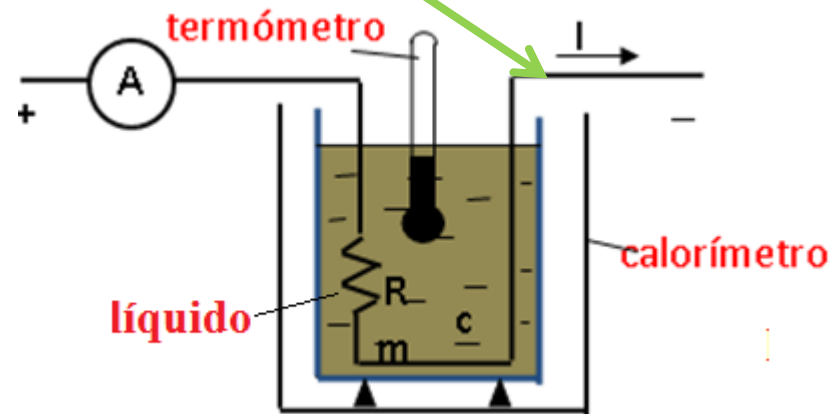
i – corrente instantânea (A);

t – tempo decorrido (s);

m – massa (kg);

$\Delta\Theta$  – variação de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ );

C – calor específico [ $\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ ].



**Fig. 3.5** - Calorímetro utilizado para o estudo da lei de Joule.

## 3.1 EFEITOS TÉRMICOS E ELECTRODINÂMICOS (Cont.)

### 3.1-b ) EFEITOS ELECTRODINÂMICOS

•Dois condutores paralelos percorridos por correntes ficam sujeitos a forças electrodinâmicas de (ver Fig. 3.6):

**a) atração** (correntes no mesmo sentido);

**b) repulsão** (correntes em sentidos contrários).

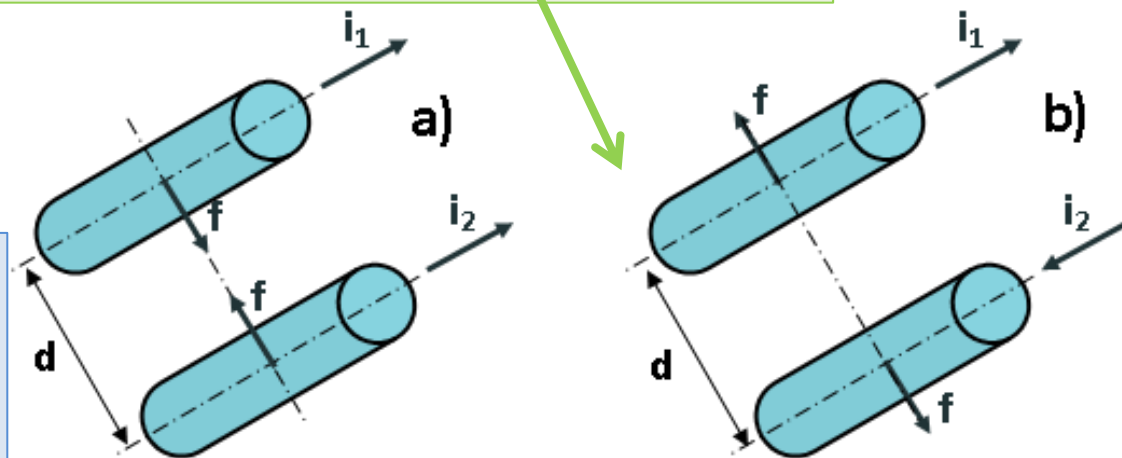
$$f = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{d}$$

$f$  – força (**N/m**);

$i_1$  e  $i_2$  – corrente instantâneas (**A**);

$d$  – distância entre condutores (**m**);

$\mu_0$  – permeabilidade magnética do ar ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ ).



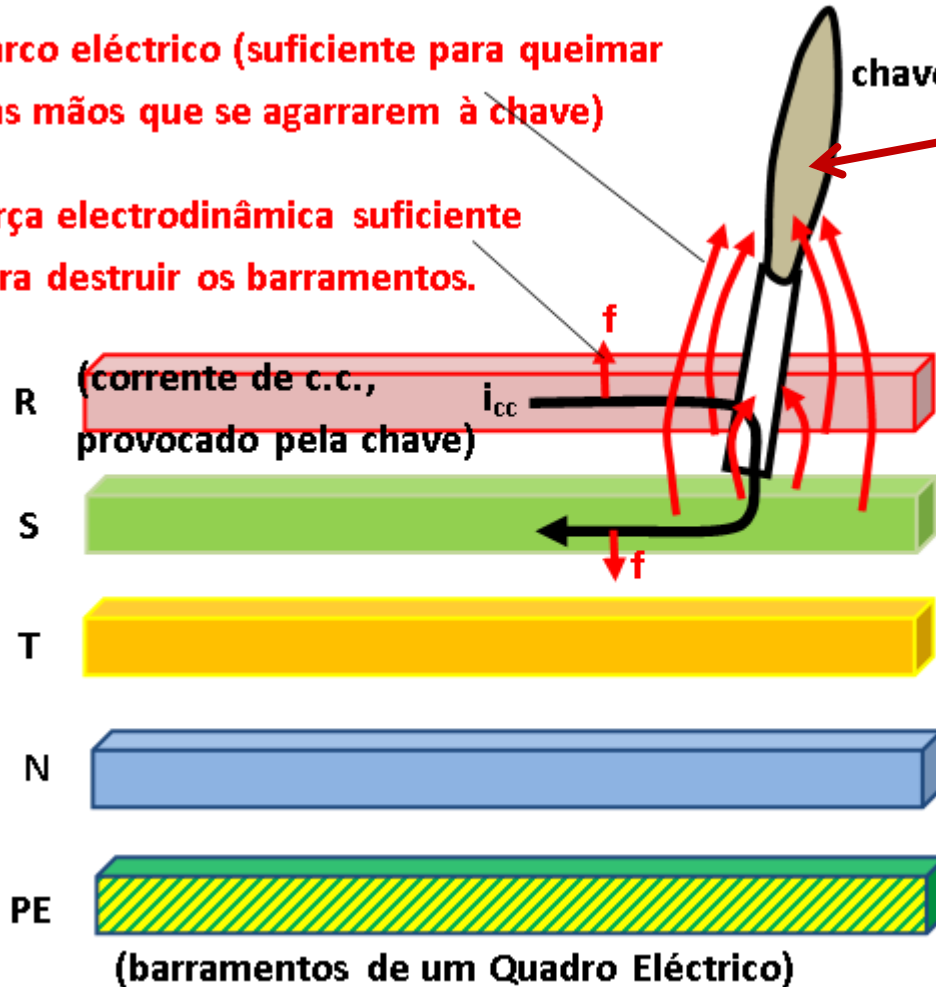
**Fig. 3.6** – Forças electrodinâmicas entre condutores paralelos.

## 3.1 EFEITOS TÉRMICOS E ELETRODINÂMICOS (Cont.)

### 3.1-c ) ALGUMAS CONSEQUÊNCIAS

arco eléctrico (suficiente para queimar as mãos que se agarrarem à chave)

força electrodinâmica suficiente para destruir os barramentos.



• Uma simples chave de fendas pode ser um desastre...

• Em caso de acidente, deve:

Afastar a vítima com objetos isolantes.

• Nunca atirar água, pois piora a situação.

Fig. 3.7 – Consequências negativas dos efeitos térmicos e eletrodinâmicos.

## **3.2 EFEITOS ELETROMAGNÉTICOS**

- Segundo dados da **Organização Mundial de Saúde (OMS)**, o **cérebro humano** pode tolerar, permanentemente:

- $E_{\text{máx}} = 5 \text{ kV/m}$  (campo eléctrico);
- $B_{\text{máx}} = 100 \text{ } \mu\text{T}$  (campo magnético).

- Perante estes dados, é possível determinar o valores de **E** e de **B**, quando um indivíduo estiver por baixo de uma linha de **AT**.

- **Dados importantes:**

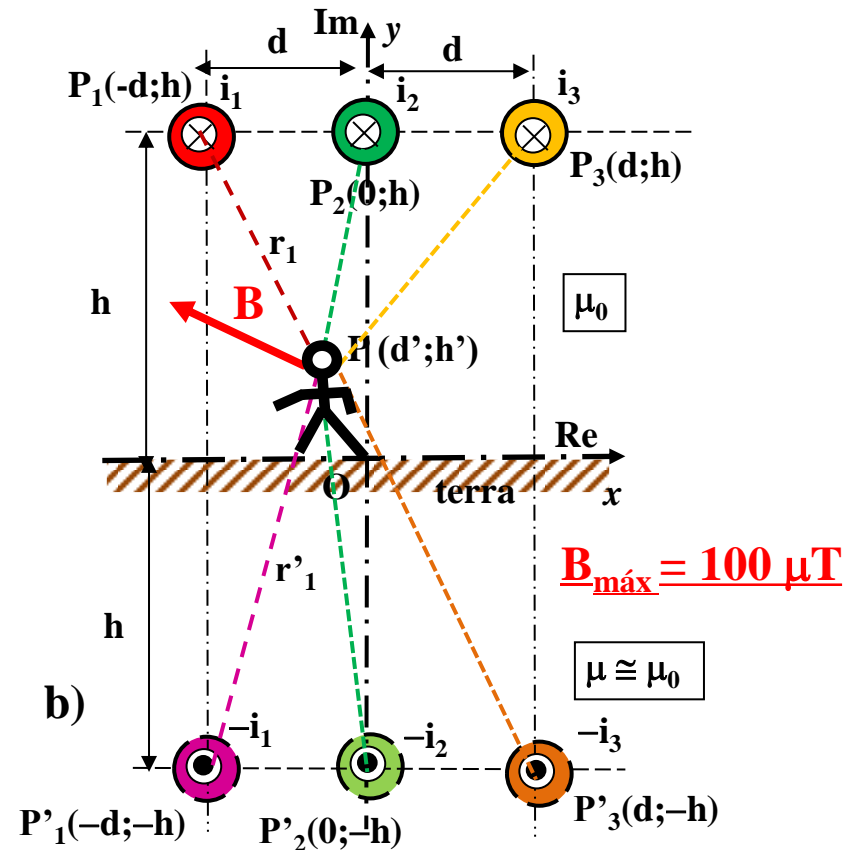
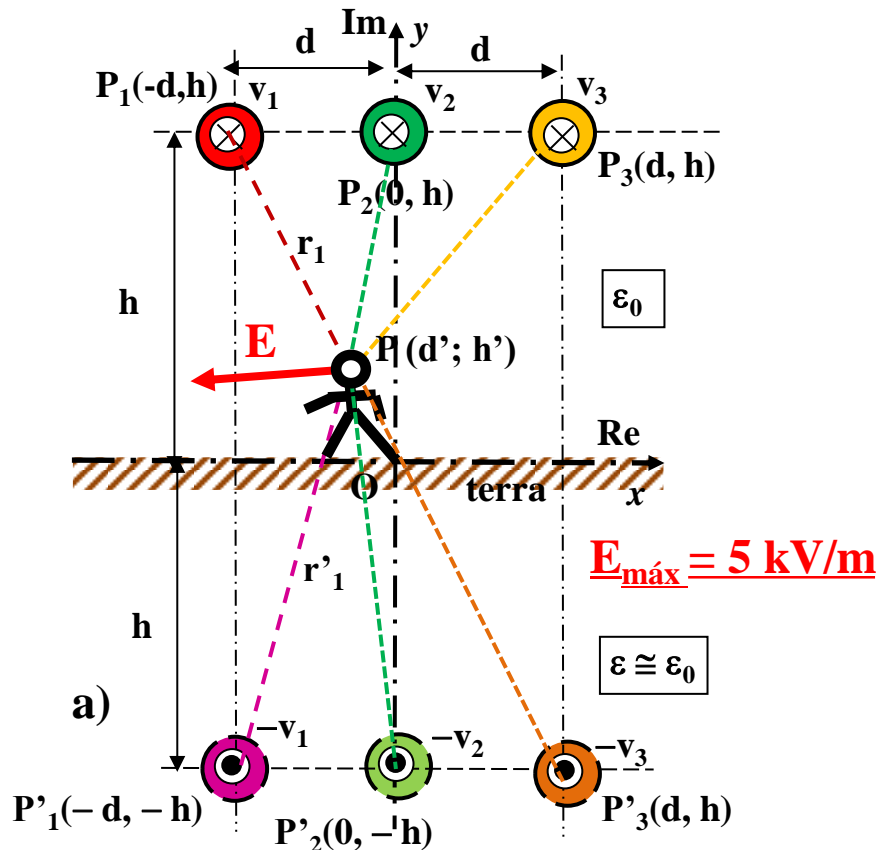
$\epsilon_0 \cong 8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$  – permitividade eléctrica (no ar e aproximadamente no terreno);

$\mu_0 \cong 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$  – permeabilidade magnética (no ar e aproximadamente no terreno).

## 3.2 EFEITOS ELETROMAGNÉTICOS (Cont.)

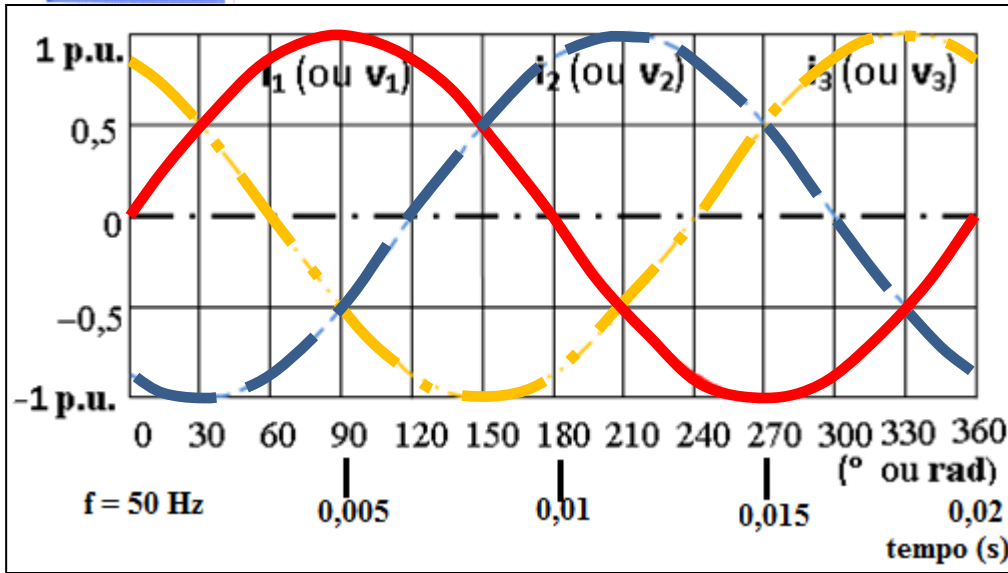
Valores máximos, no cérebro,  
segundo OMS:

$E_{\text{máx}} = 5 \text{ kV/m}$  (campo eléctrico);  
 $B_{\text{máx}} = 100 \text{ } \mu\text{T}$  (campo magnético).



**Fig. 3.8 – Linha trifásica aérea (método das imagens);**  
**a)** campo eléctrico; **b)** campo magnético.

## 3.2 EFEITOS ELETROMAGNÉTICOS (Cont.)



**Fig. 3.9** – Sistema trifásico de correntes (ou de tensões) equilibradas, em valores unitários (p.u.).

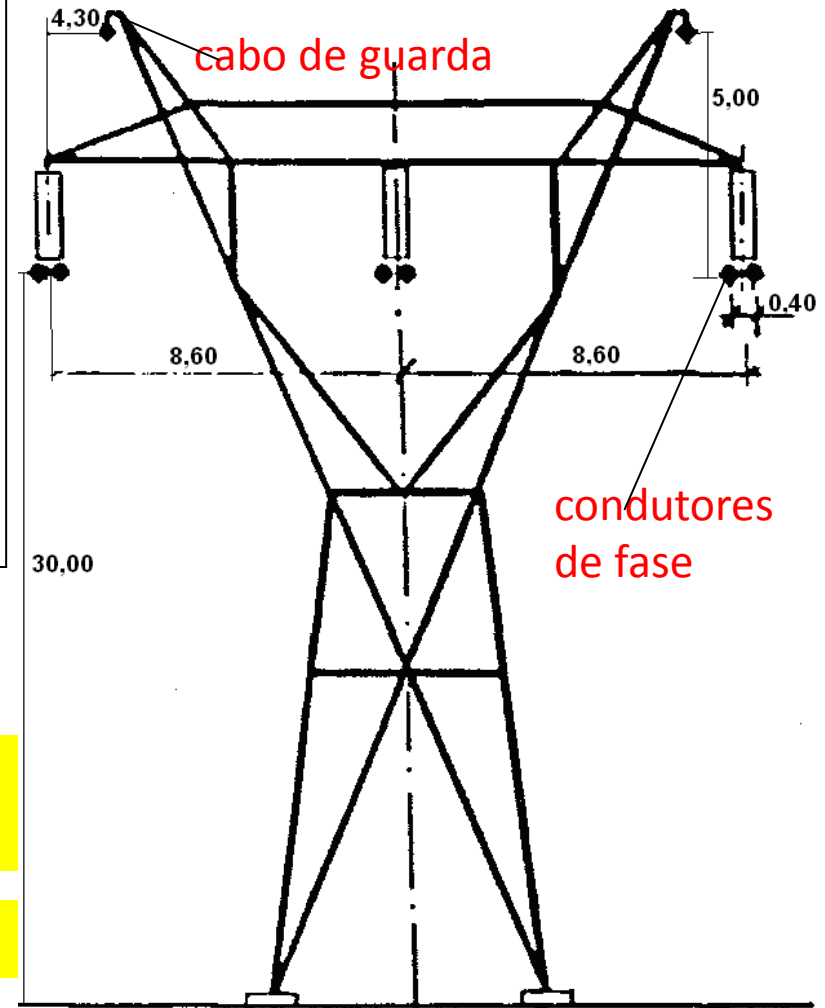
**Dados:**

$$R = \frac{0.0318}{2} = 0.0159 \text{ m}$$

(raio de cada condutor por fase)

$$R_g = \frac{0.0234}{2} = 0.0117 \text{ m}$$

(raio de cada cabo de guarda)



**Fig. 3.10** – Representação do poste de apoio e respectivas dimensões em metros (linha de **AT** de **400 kV**, potência nominal **1200 MVA** (corrente nominal:  $I_n \cong 1,732 \text{ kA}$ )).

### **3.2 EFEITOS ELETROMAGNÉTICOS (Cont.)**

- Como exemplo, analisa-se agora o campo electromagnético para cada instante.

—No sistema trifásico, para  $t = 0 \text{ ms}$  ( $\theta = \omega t = 0$ ) (ver Fig. 3.9), virá:

$$\begin{array}{lll} v_1(t) = 0 \text{ kV} & v_2(t) = -282,84 \text{ kV} & v_3(t) = 282,84 \text{ kV} \\ i_1(t) = 0 \text{ A} & i_2(t) = -2121,3 \text{ A} & i_3(t) = 2121,3 \text{ A} \end{array}$$

(ver Fig.s 3.11 e 3.12). Considera-se  $\cos\varphi = 1$  (factor de potência).

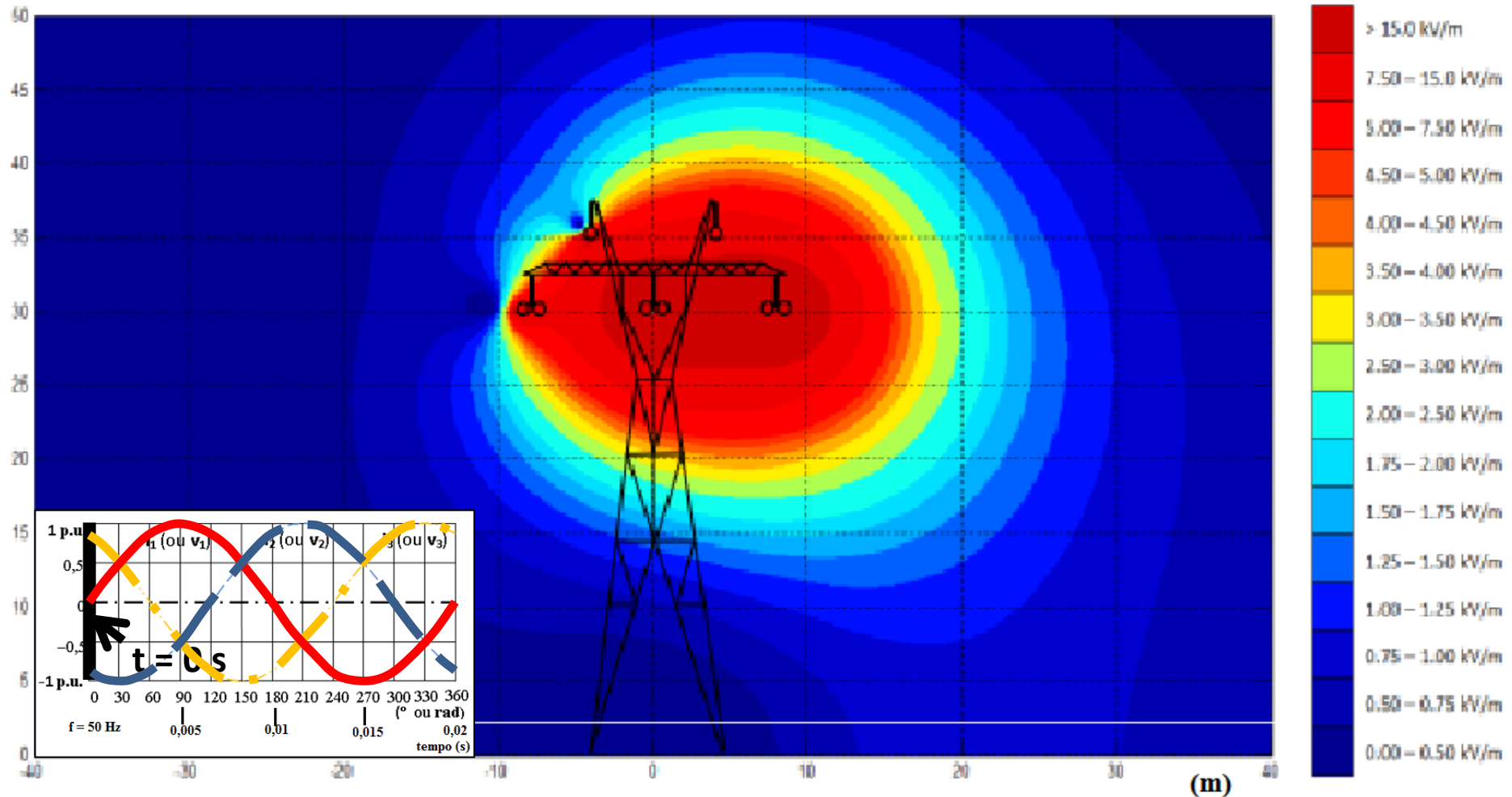
—No sistema trifásico, para  $t = 6,667 \text{ ms}$  ( $\theta = \omega t = 2\pi/3 \equiv 120^\circ$ ) (ver Fig. 3.9), virá:

$$\begin{array}{lll} v_1(t) = 282,84 \text{ kV} & v_2(t) = 0 \text{ kV} & v_3(t) = -282,84 \text{ kV} \\ i_1(t) = 2121,3 \text{ A} & i_2(t) = 0 \text{ A} & i_3(t) = -2121,3 \text{ A} \end{array}$$

(ver Fig.s 3.13 e 3.14). Considera-se  $\cos\varphi = 1$  (factor de potência).

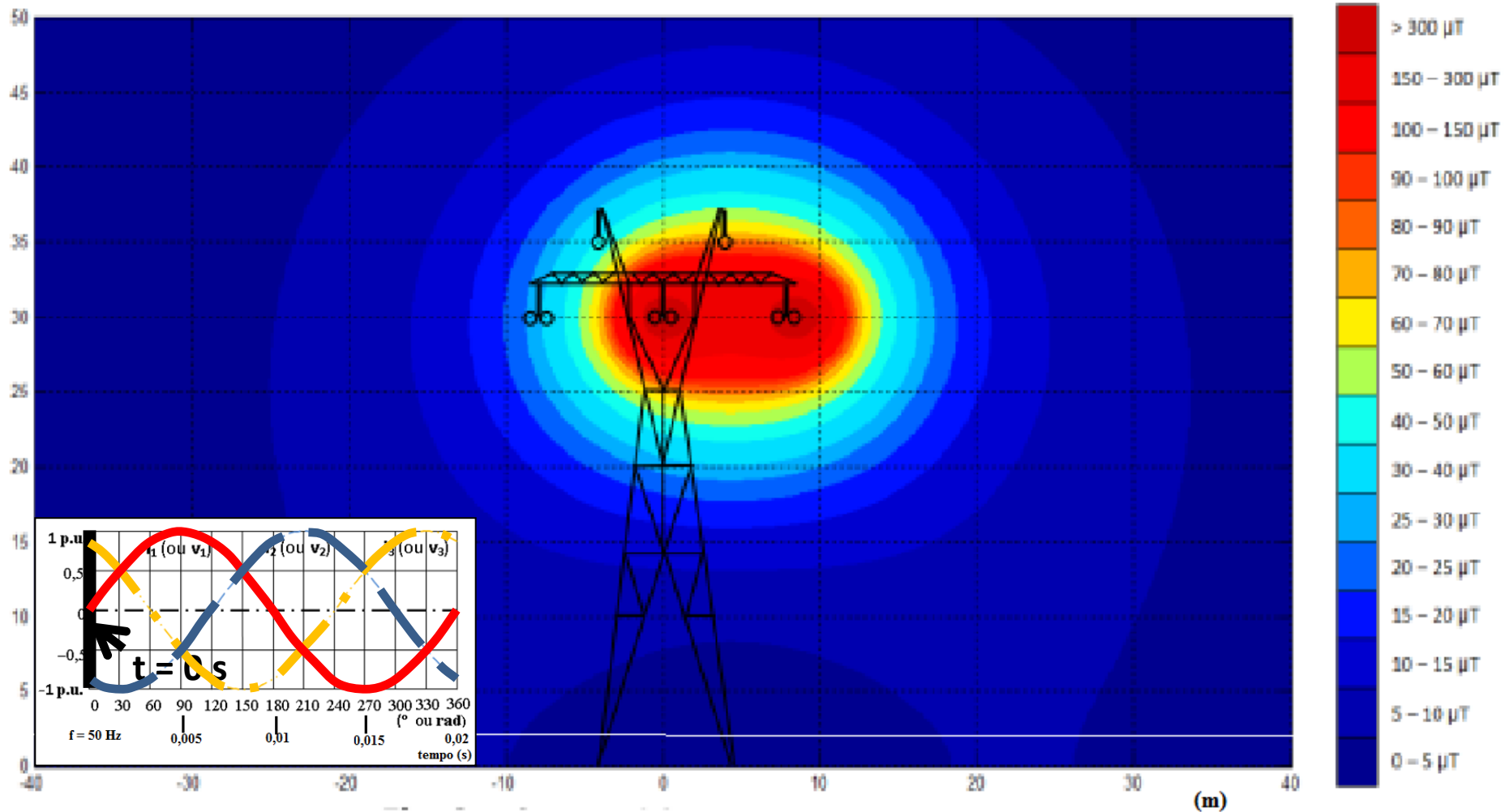


## 3.2 EFEITOS ELETROMAGNÉTICOS (Cont.)



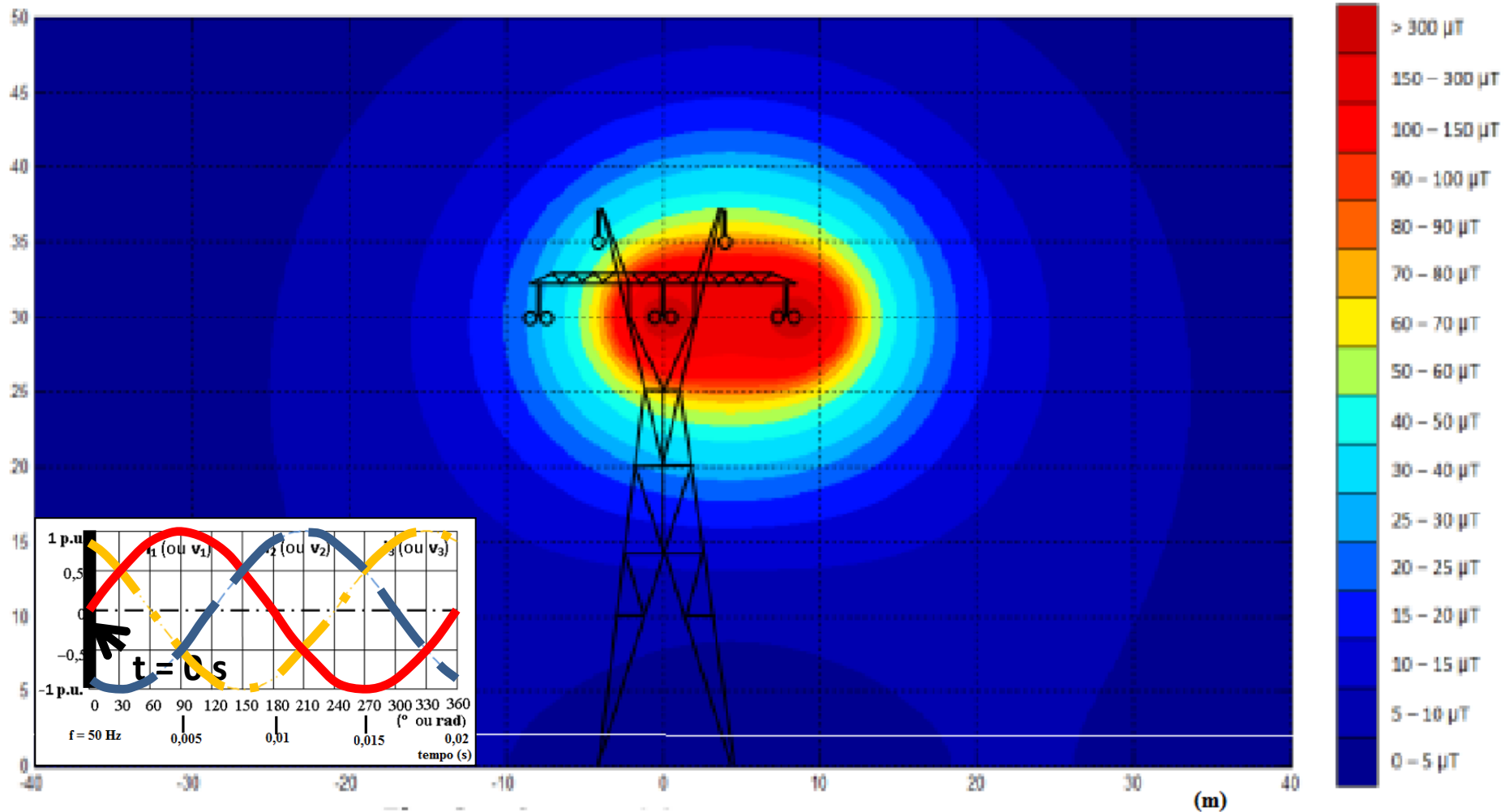
**Fig. 3.11 – Campo eléctrico para  $t = 0 \text{ ms}$  ( $0^\circ$ ) –  $v_R = 0$**   
(J. Duarte – SEE, MEEE).

## 3.2 EFEITOS ELETROMAGNÉTICOS (Cont.)



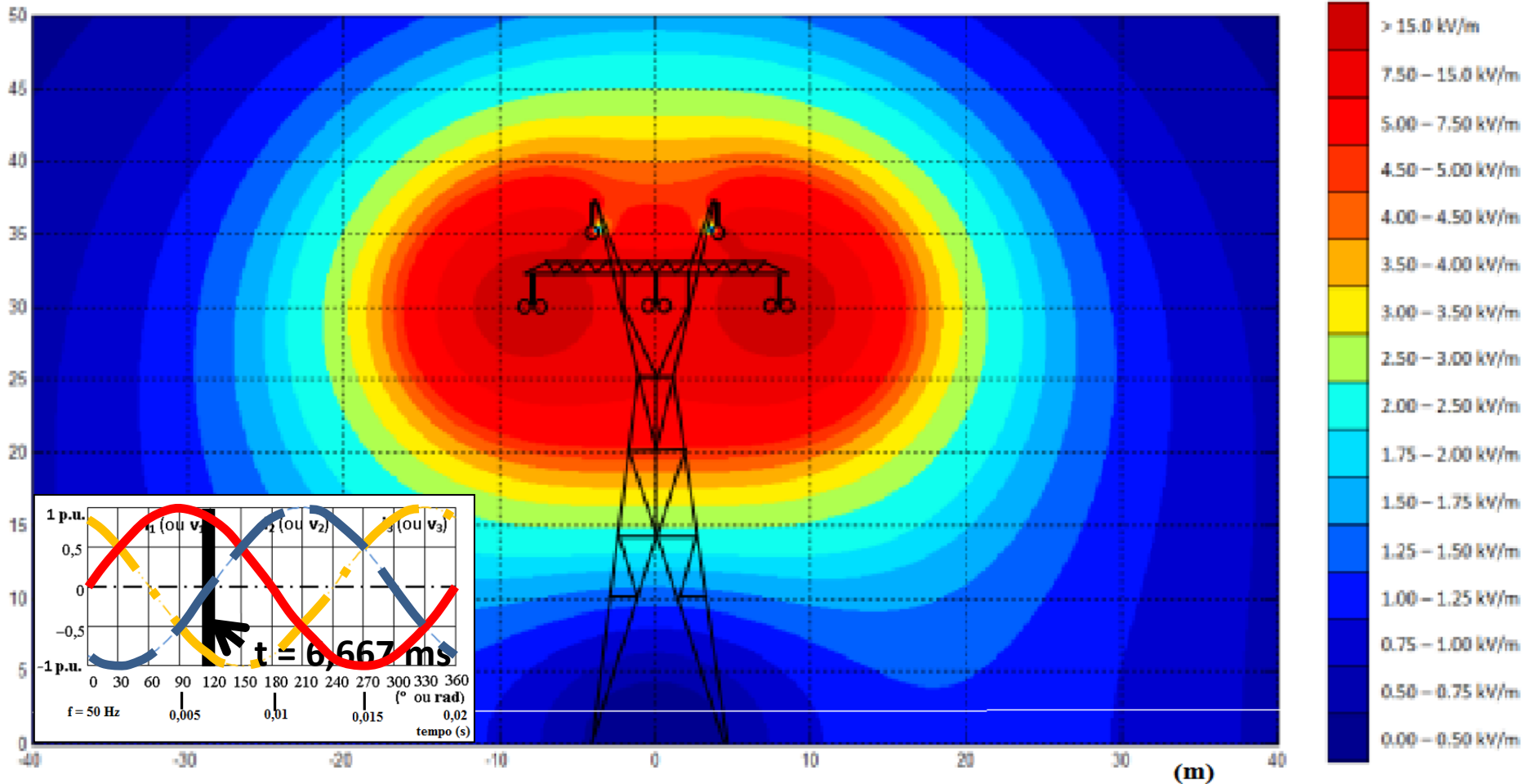
**Fig. 3.12 – Campo magnético para  $t = 0 \text{ ms}$  ( $0^\circ$ ) –  $i_R = 0$**   
(J. Duarte – SEE, MEEE).

## 3.2 EFEITOS ELETROMAGNÉTICOS (Cont.)



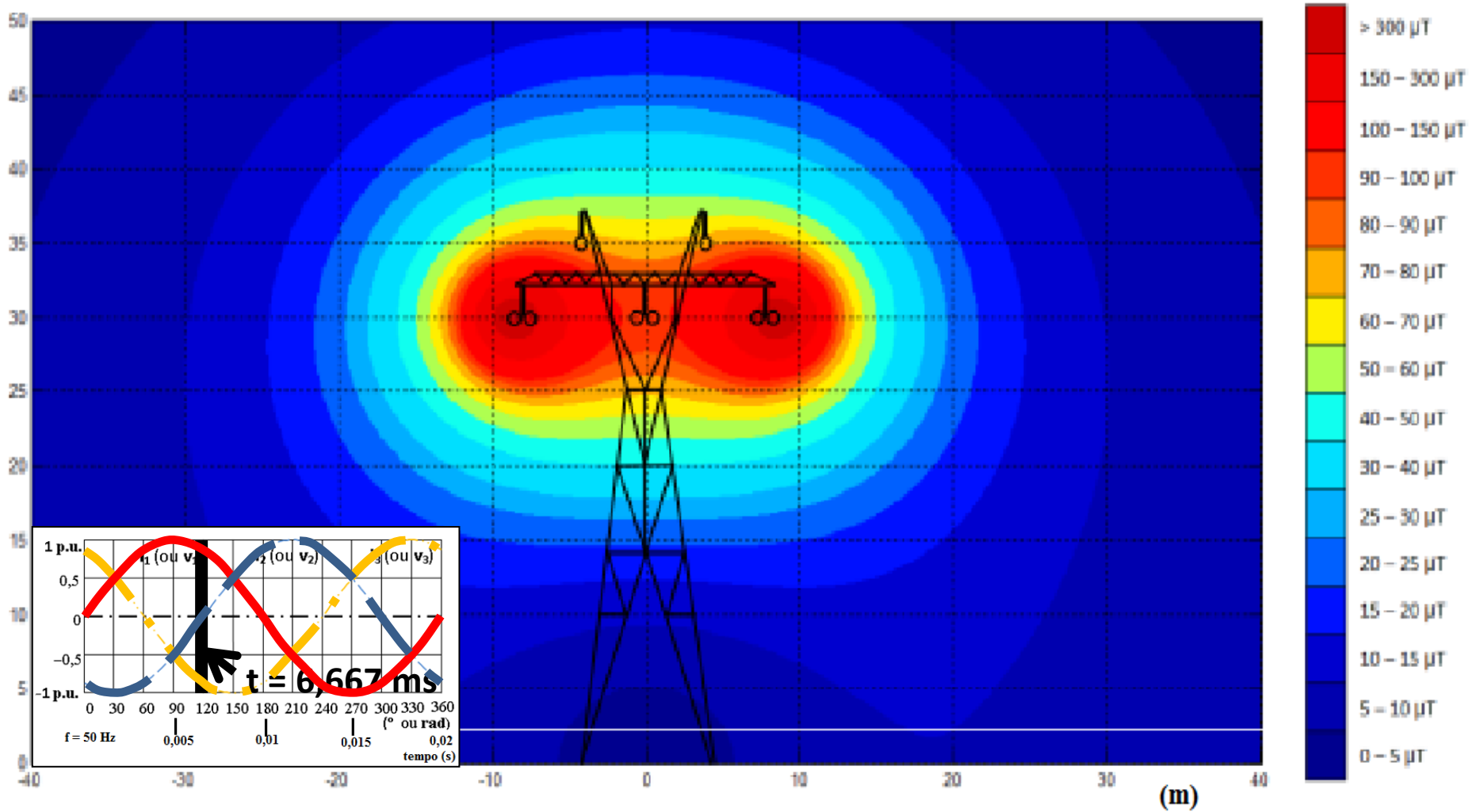
**Fig. 3.12 – Campo magnético para  $t = 0 \text{ ms}$  ( $0^\circ$ ) –  $i_R = 0$**   
(J. Duarte – SEE, MEEE).

## 3.2 EFEITOS ELETROMAGNÉTICOS (Cont.)



**Fig. 3.13 – Campo eléctrico para  $t = 6,667 \text{ ms}$  ( $120^\circ$ ) –  $v_s = 0$  (pior situação)**  
(J. Duarte – SEE, MEEE).

## 3.2 EFEITOS ELETROMAGNÉTICOS (Cont.)



**Fig. 3.14 – Campo magnético** para  $t = 6,667 \text{ ms}$  ( $120^\circ$ ) –  $i_s = 0$  (pior situação)  
(J. Duarte – SEE, MEEE).

## **3.2 EFEITOS ELETROMAGNÉTICOS (Cont.)**

**Linha de AT**

**plataforma para  
nidificação**

**dispositivo dissuasor  
para ninhos**

**cabo de guarda**

**Copiado de:  
ERSE - Entidade Reguladora  
dos Serviços Energéticos**

**Fig. 3.15 – Ninhos de cegonhas  
em postes de AT.**

**cabo aéreo com 2 feixes de condutores por fase**

**Duas questões, relativamente aos campos eletromagnéticos nas linhas de AT (ou de MT) ...**

**“Então e quanto às cegonhas”?...**

**“Será que os dados da OMS estão corretos”?...**





## **3.2 EFEITOS ELETROMAGNÉTICOS (Cont.)**

• Quanto aos **cabos eléctricos** (BT, MT ou AT), **enterrados no solo**, ou **em caleiras (ao ar livre)**, é preciso ter também em atenção os valores dos **campos**.

### **Afirmação:**

• Os cabos estão bem mais próximos do indivíduo do que as linhas eléctricas ( $\cong 2$  a  $3$  m).

• Neste caso é preciso ponderar muitos fatores, tais como:

- Se os cabos são **monopolares** (monofásicos) ou **tripolares** (trifásicos) (como são os isolamentos e as bainhas?, há ou não retorno de corrente pelas bainhas?, etc.);

- Se os cabos **monopolares** estão próximos uns dos outros (energia electromagnética menor);

- Se os cabos **monopolares** estão afastados uns dos outros (energia electromagnética maior – maior perigo);

- Na mesma caleira não se devem colocar todos os cabos da mesma fase, pois se for grande a distância aos cabos das outras fases, originam-se **intensas energias electromagnéticas**, com consequências nefastas no **estabelecimento**, na **interrupção** e, particularmente na variação do factor de potência ( **$\cos\phi$** ) → **reatância indutiva ou também capacitiva**.



## **4 CONCLUSÕES**

- Em trabalhos em **MT** ou em **AT**, munir-se sempre de equipamento isolante;
- Em trabalhos em **BT** ou em **MT**, a jusante de um seccionador, verificar se as facas estão abertas;
- Em redes elétricas,
  - o **campo elétrico** depende da **tensão**;
  - o **campo magnético** depende da **corrente**.
- Nas linhas aéreas e nos cabos subterrâneos, em *sistemas equilibrados*, quanto mais afastados estiverem os condutores de fases diferentes, uns dos outros, maiores serão os campos electromagnéticos na vizinhança dessas linhas ou desses cabos;
- Embora possa haver maior blindagem eletromagnética a envolver os cabos subterrâneos, os seus efeitos eletromagnéticos podem ser mais nefastos, em virtude de estarem bem mais próximos dos indivíduos.



# Muito Obrigado

Atenção!

“O perigo vem donde menos se espera...”



## QUESTÕES?

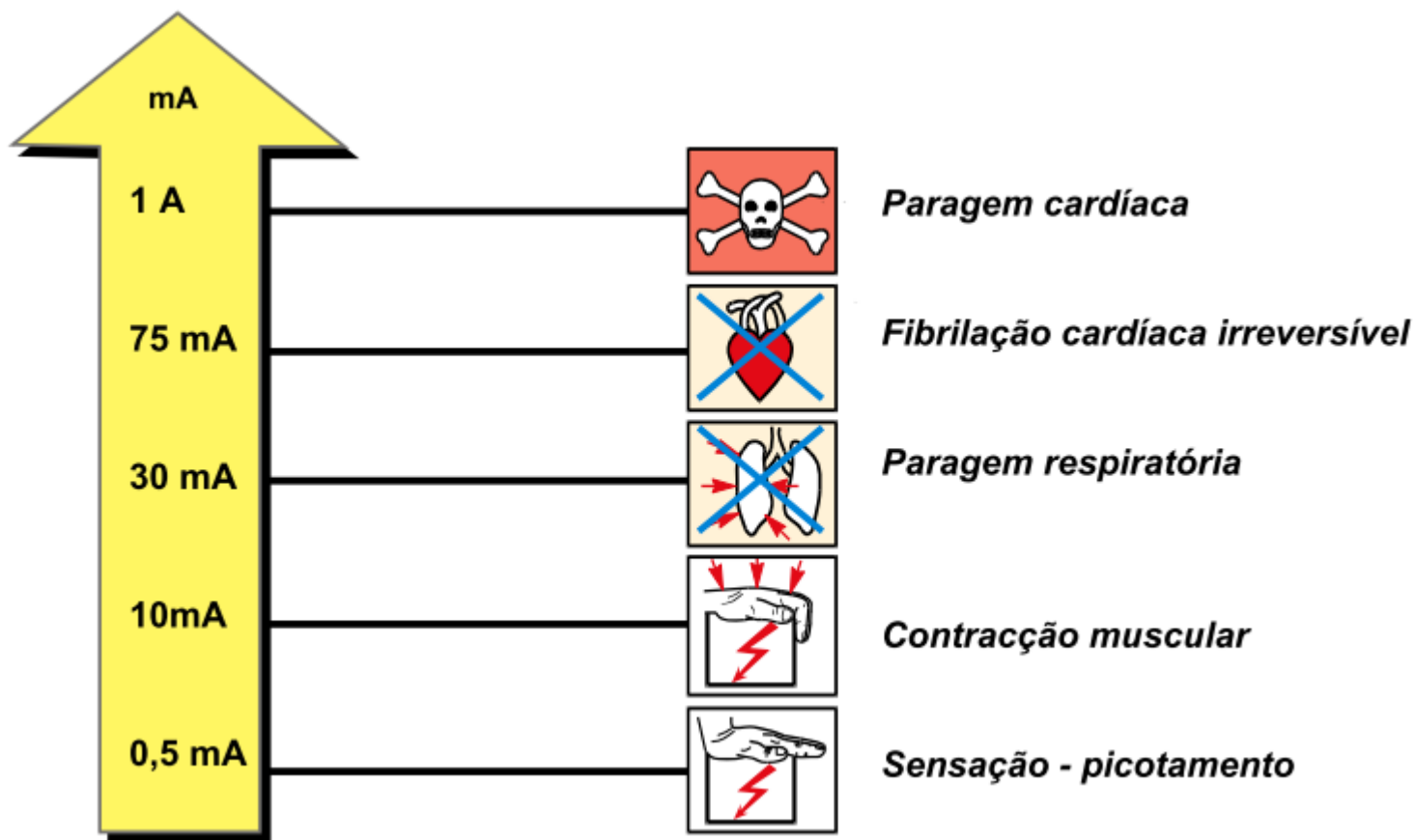


FIM

## **ANEXOS**

Efeitos da corrente alterna (**entre 15 e 100 Hz**) - **IEC 60479-1** – Fonte: **Merlin Gerin**

Valores críticos de corrente

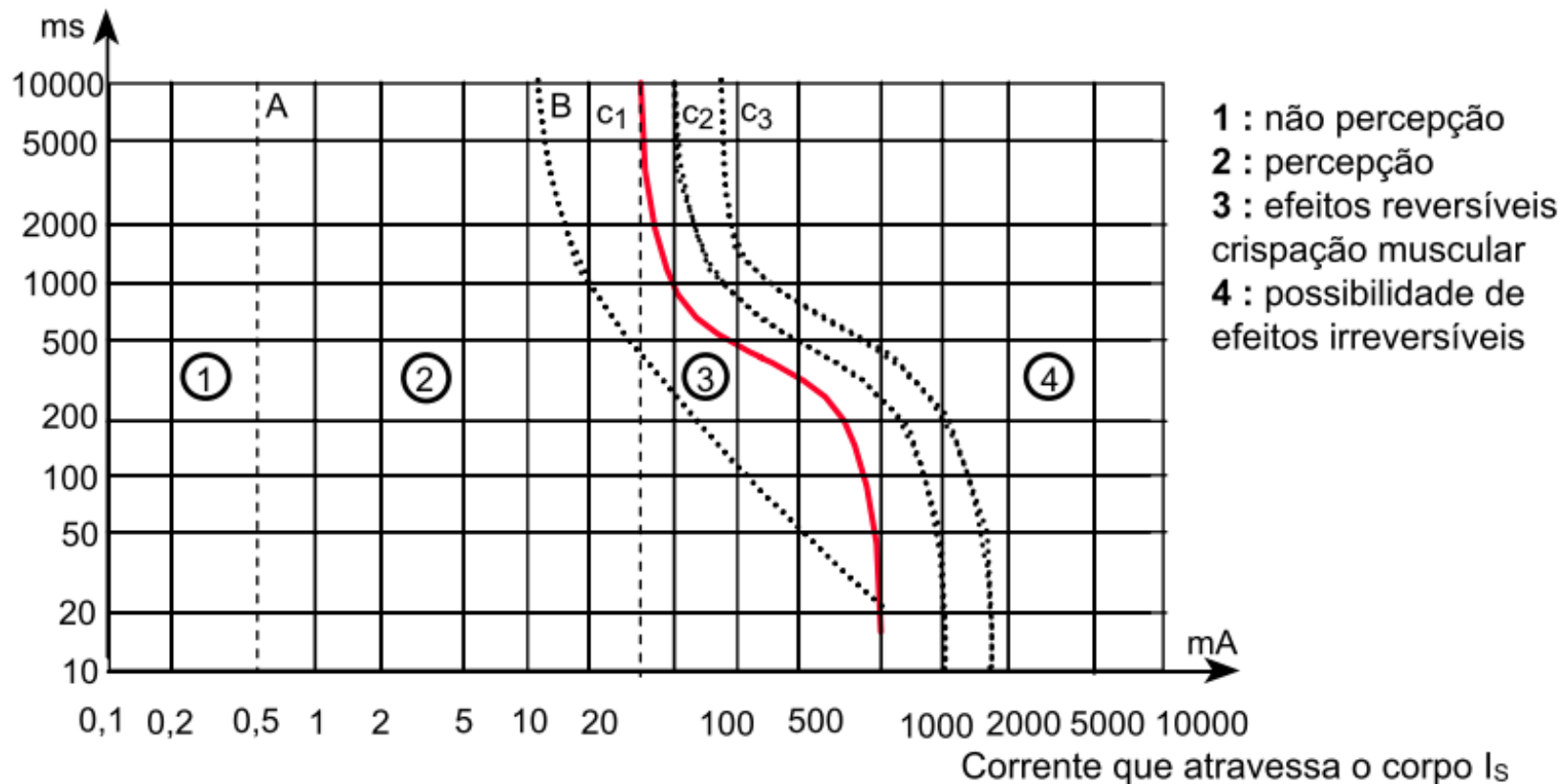


# ANEXOS

Os choques eléctricos críticos.

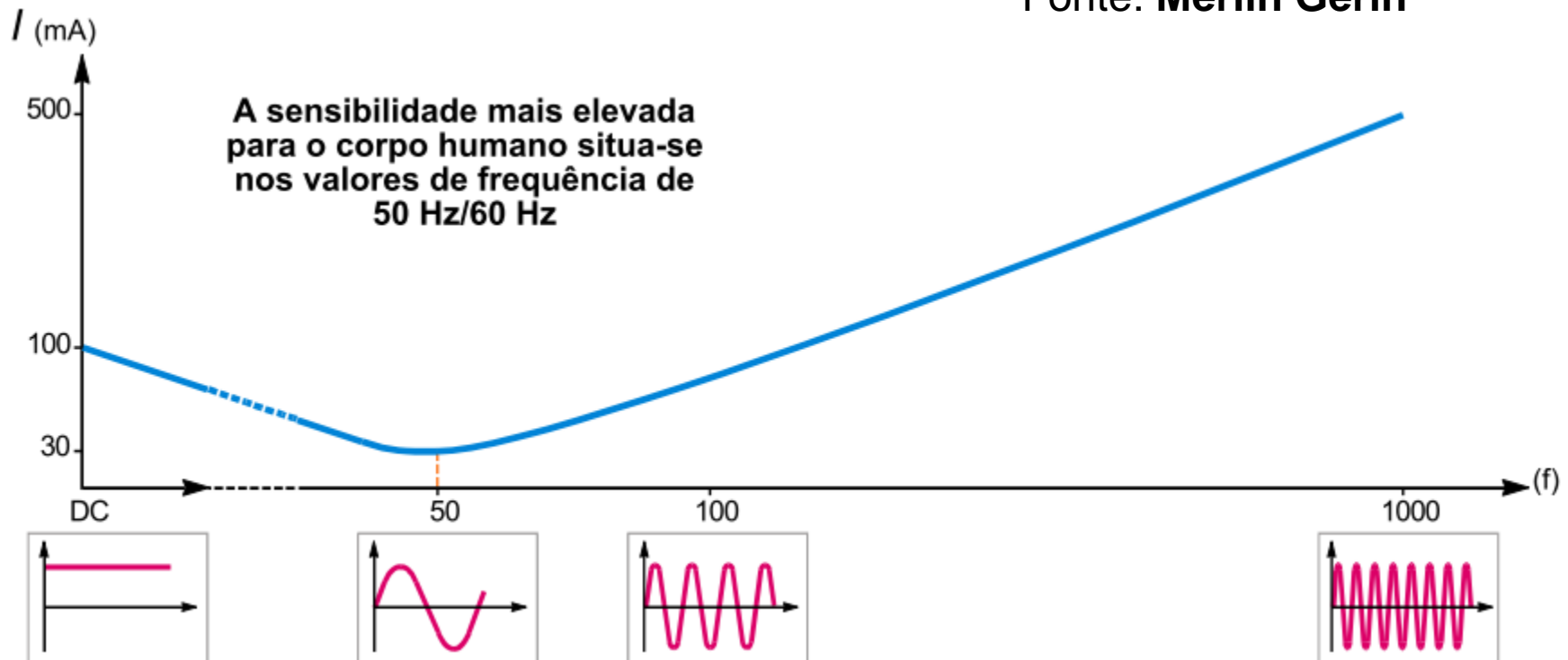
Duração da passagem da corrente (**entre 15 e 100 Hz**) - **IEC 60479-1** –

Curva C1 da CEI 479-1 – Fonte: **Merlin Gerin**



# ANEXOS

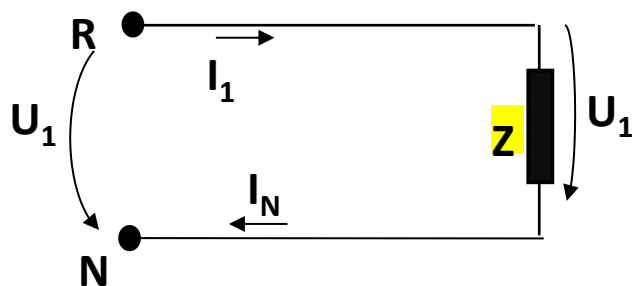
Fonte: **Merlin Gerin**



## ANEXOS

Corrente de neutro face às correntes de fase supostas sempre iguais em módulo (apenas ondas fundamentais).

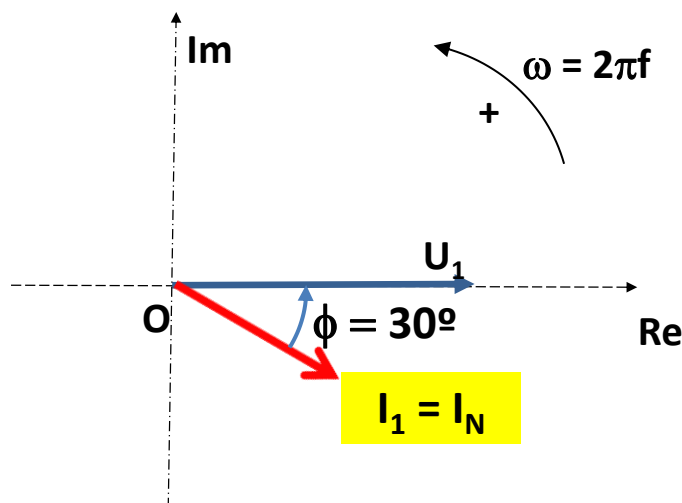
Circuito monofásico:



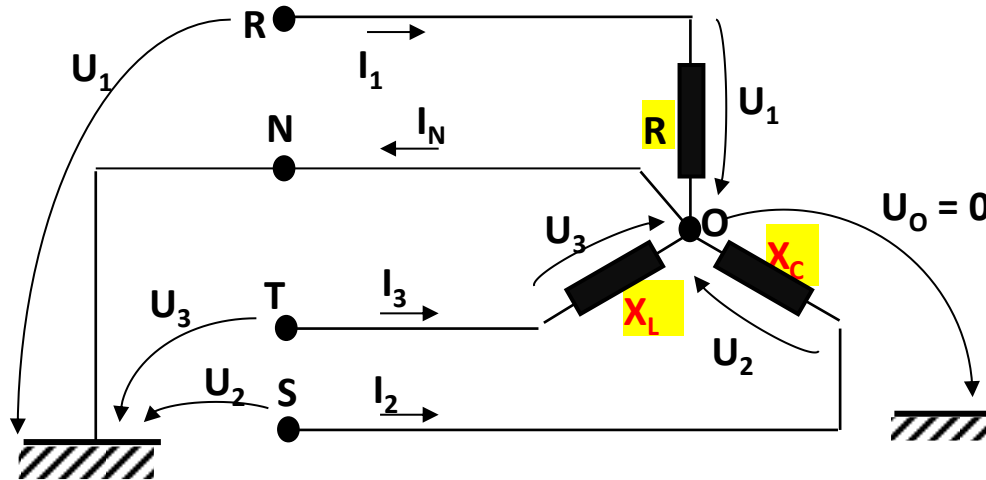
$$I_N = I_F = I_1$$

$$(S_N = S_F)$$

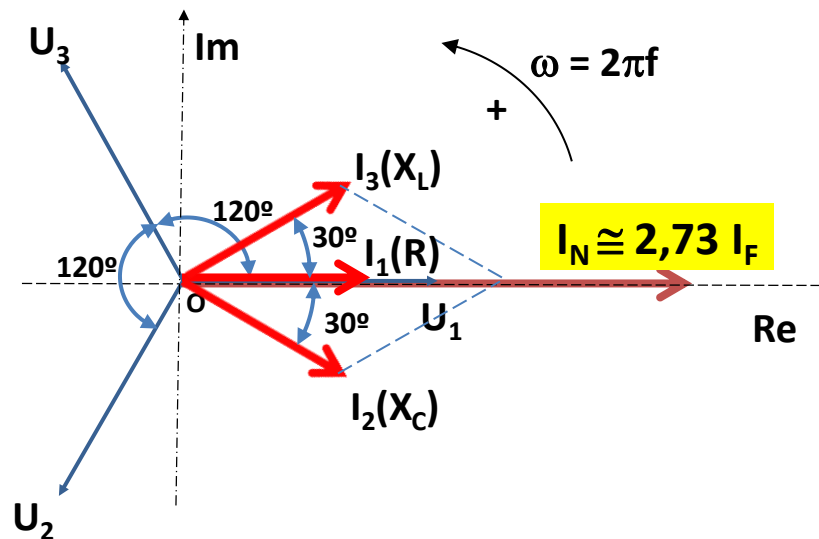
Z – indutivo



# ANEXOS



Sistema trifásico desequilibrado  
(apenas ondas fundamentais)



Considera-se que:

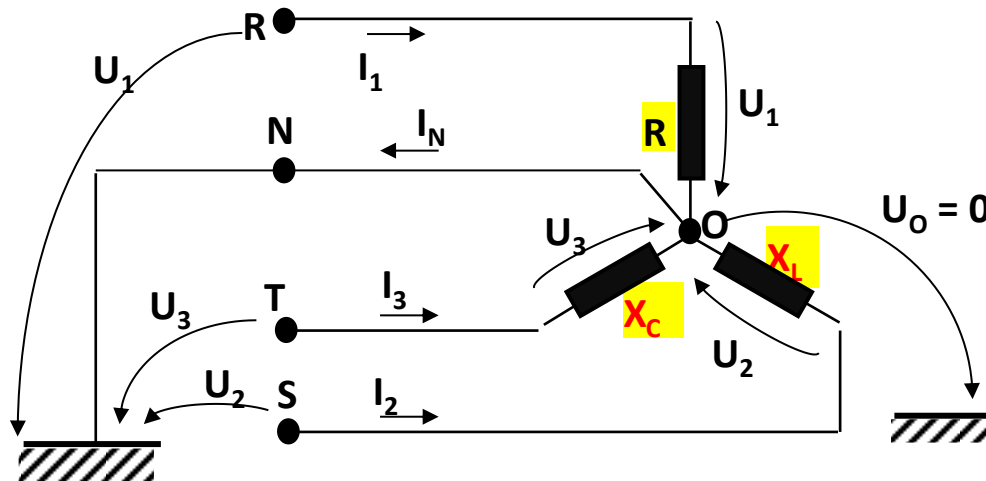
$$|U_1| = |U_2| = |U_3| = U_s$$

$$|I_1| = |I_2| = |I_3| = I_F$$

$$I_N \cong 2,73 I_F$$

Pior situação

## ANEXOS



Sistema trifásico desequilibrado  
(apenas ondas fundamentais)

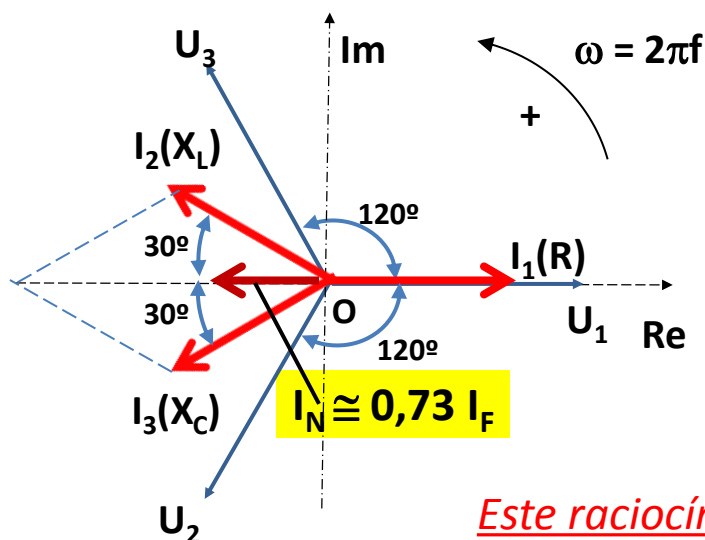
*Trocando  $X_L$  com  $X_C$ , ou trocando as fases  $S$  ( $L_2$ ) e  $T$  ( $L_3$ ).*

• Um valor de  $I_N$  que pode ser considerado aproximado, é de:

$$I_N \cong (2,73 + 0,73)I_F/2 \cong 1,75 I_F$$

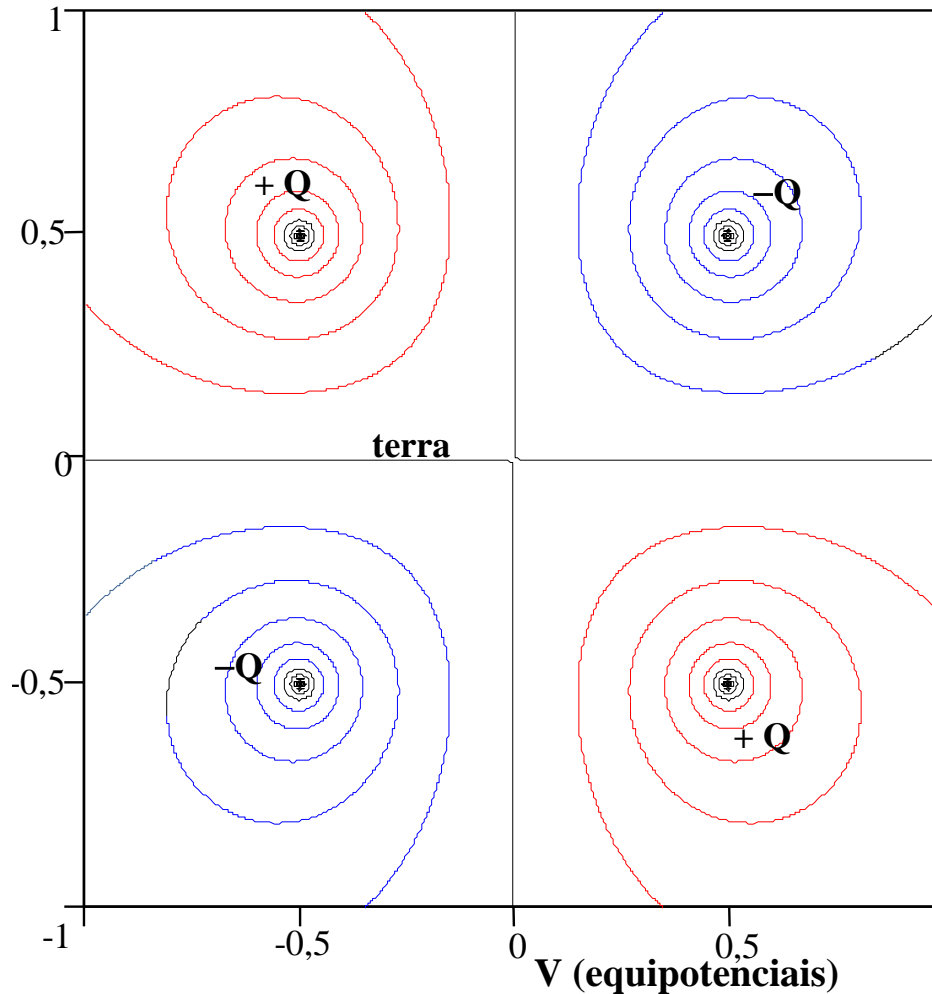
Na prática pode-se considerar, em circuitos com harmónica, o valor:

$$I_N \cong 1,5 I_F \Rightarrow S_N \cong 1,5 S_F$$



*Este raciocínio é idêntico para outras possíveis harmónicas.*

## ANEXOS



Linha bifilar (2 fios)

Campo eléctrico (**E**)

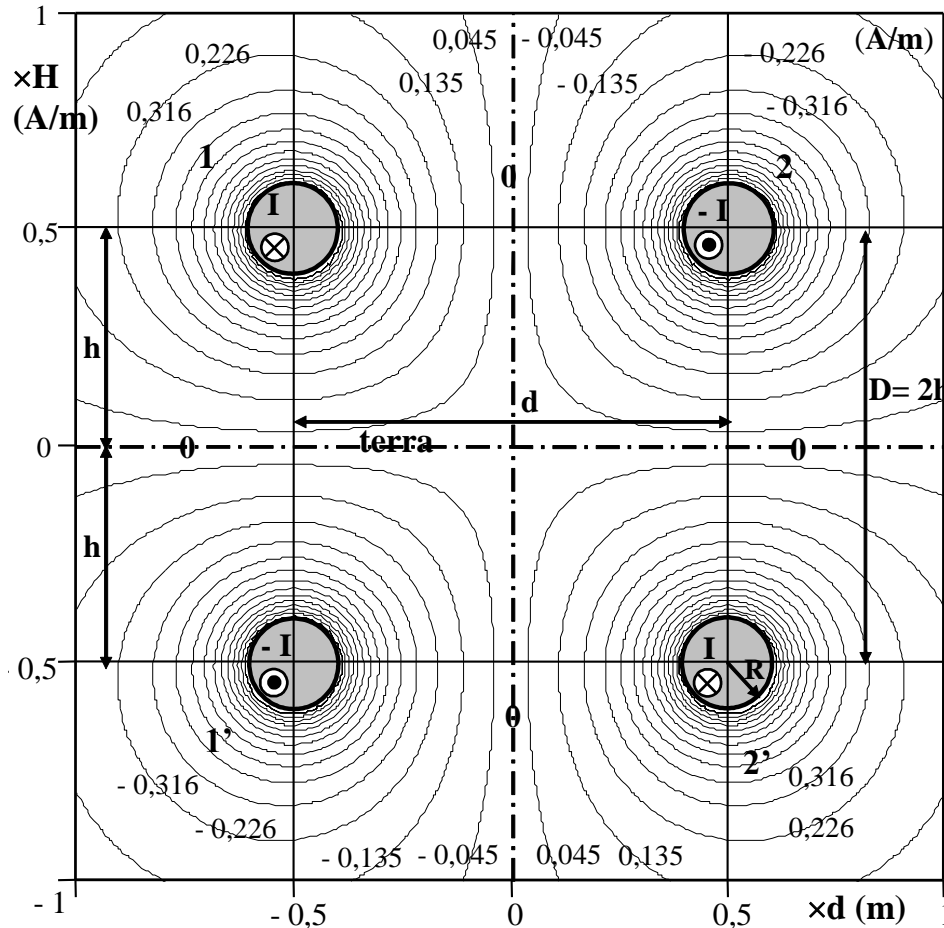
Linhas equipotenciais ( $V = cte$ ) (linha bifilar - método das imagens - cargas de sinais contrários).



# ANEXOS

## Linha bifilar (2 fios)

Campo magnético (B)

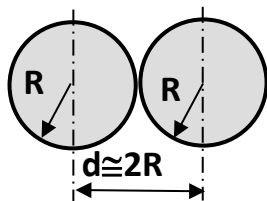


Linhas da intensidade do campo  $H = B/\mu_0$ , em A/m ( $H = \text{cte}$ ).

(Condutores paralelos percorridos por correntes iguais e de sentidos contrários. Método das imagens).

# ANEXOS

## Linha bifilar (2 fios)



**BT < 1000 V (c.a.)**

$$L_t = 2(L - M) \cong 0 \quad (d \cong 2R);$$

$L$  – coeficiente de auto indução (H/m);  $M$  – coeficiente de indução mútua (H/m);

$X_{Lt} \ll R_c$  (resistência dos condutores);

Correntes de fuga pequenas (entre condutores),  $i_f = dQ/dt$ ,  $Q = CU$  (em BT).



**1 < MT < 60 kV (c.a.)**

$$L_t = 2(L - M) \cong 0 \quad (d > 2R);$$

$X_{Lt} \cong 4R_c$  (resistência dos condutores);

Correntes de fuga pequenas,  $Q = C_{\downarrow} U^{\uparrow}$  (em MT).

**AT ≥ 60 kV (c.a.)**

$$L_t = 2(L - M) \cong 0 \quad (d \gg 2R);$$

$X_{Lt} \cong 4R_c$  (resistência dos condutores);

Correntes de fuga pequenas,  $Q = C_{\downarrow\downarrow} U^{\uparrow\uparrow}$  (em AT).