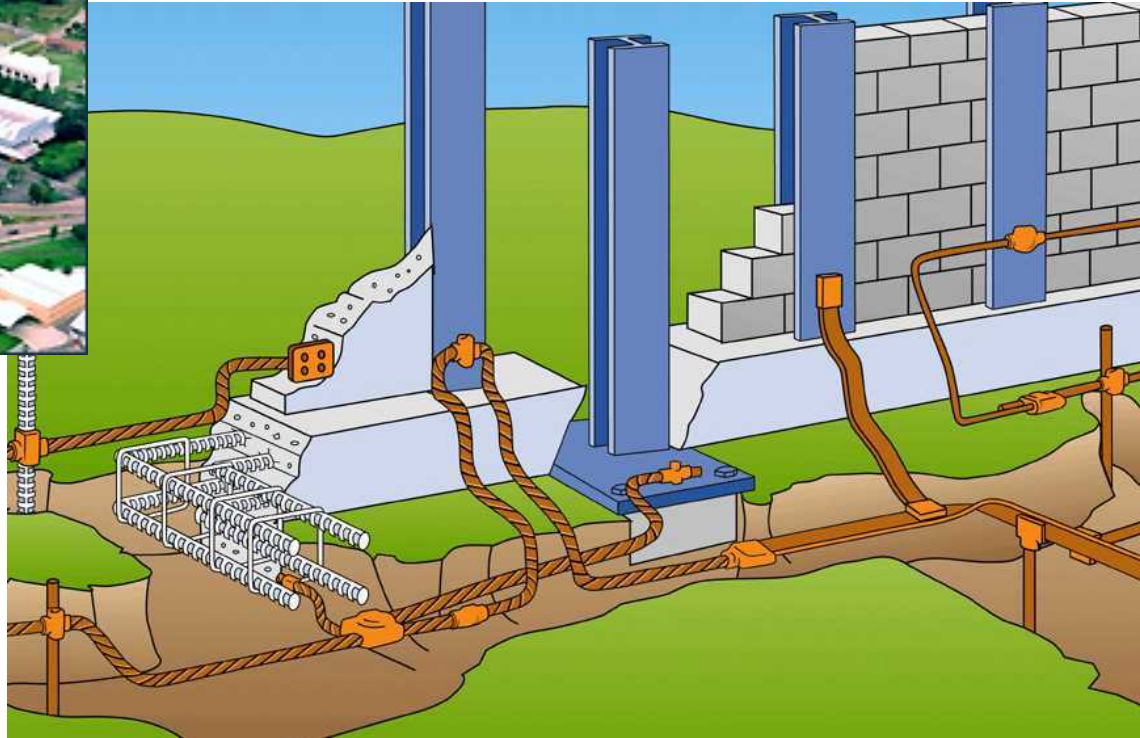


---

# Conceitos básicos sobre aterramentos

(Estudo Técnico 2: Aterramento de cercas e currais.)

# Aspecto físico de aterramento industrial



# PROGRAMA:

---

- ◆ Conceitos básicos sobre aterramento.
- ◆ Segurança pessoal.
- ◆ Aterramento de torres
- ◆ Proteção de cercas e currais contra raios.

# FINALIDADE DOS SISTEMAS DE ATERRAMENTO

*Segurança ou Proteção:* partes metálicas não energizadas

- Limitar potenciais produzidos:

Segurança dos seres vivos

Proteção de equipamentos

*Serviço ou Funcional:* parte integrante dos circuitos

- Ponto neutro de transformadores 3  $\phi$  (Y)
- Neutro das redes de distribuição
- Eletrodo de retorno de circuitos elétricos CA (MRT)
- Eletrodo de retorno em sistemas CC
- Plano de terra de sistemas de comunicação
- Contra descargas eletrostáticas
- Contra interferência eletromagnética

# DEFINIÇÕES

***Terra***: Massa condutora de solo que envolve o eletrodo de aterramento

***Eletrodo de aterramento***: elemento condutor metálico ou conjunto de elementos condutores interligados, em contato direto com a terra de modo a garantir ligação com o solo

***Condutor de ligação***: condutor empregado para conectar o objeto a ser aterrado ao eletrodo de aterramento ou para efetuar a ligação de dois ou mais eletrodos

***Eletrodos de aterramento isolados***: eletrodos de aterramento suficientemente distantes uns dos outros para que a corrente máxima susceptível de ser escoada por um deles não modifique sensivelmente o potencial do outro

***Eletrodos de aterramento interligados***: eletrodos de aterramento que possuam ligação (intencional ou não) e que interagem eletricamente

***Sistema de aterramento***: sistema formado por um ou mais eletrodos de aterramento, isolados ou não, visando atender necessidades funcionais ou de proteção

***Terra remoto***: massa condutora de solo distante o suficiente de qualquer eletrodo de aterramento para que seu potencial elétrico seja sempre igual a zero

***Elevação de potencial de terra (EPT)***: diferença de potencial entre o eletrodo de aterramento e o terra remoto quando por este eletrodo flui corrente para a terra, ou seja, é a tensão produzida no eletrodo de aterramento quando este dispersa corrente à terra em relação ao terra remoto

***Resistência equivalente de aterramento ( $R_{eq}$ )***: relação entre a elevação de potencial de terra de um eletrodo e a corrente por este injetada no solo

# Aterramentos elétricos

---

Porque os sistemas eletricos são aterrados?

# Aterramentos elétricos

---

Controle de sobretensões.

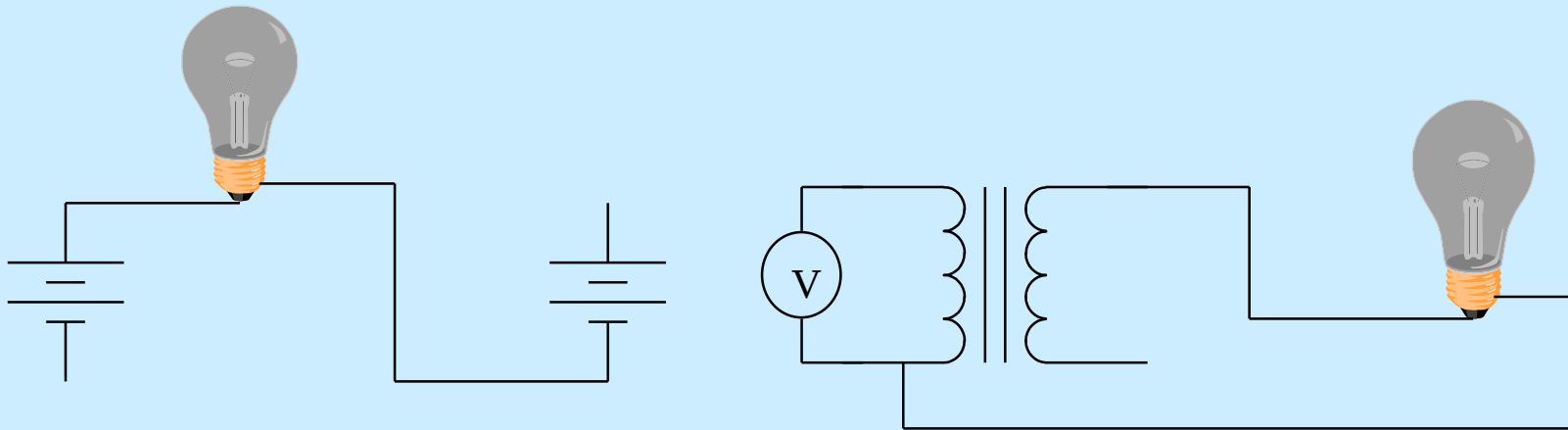
Segurança pessoal.

Proteção contra descargas  
atmosféricas.

# Aterramentos elétricos

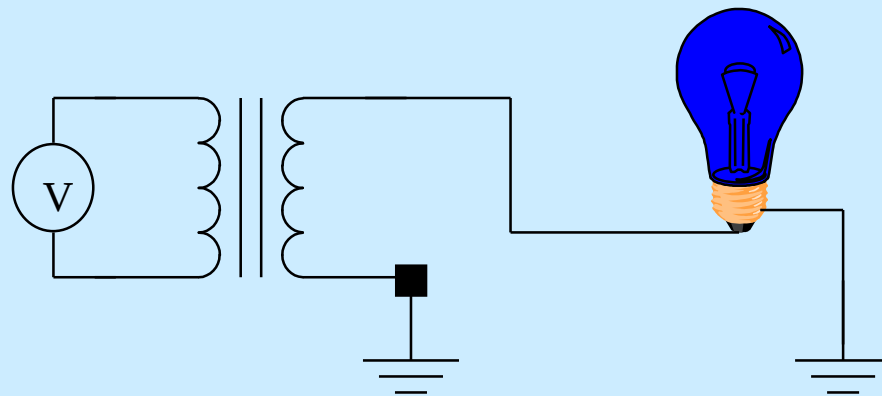
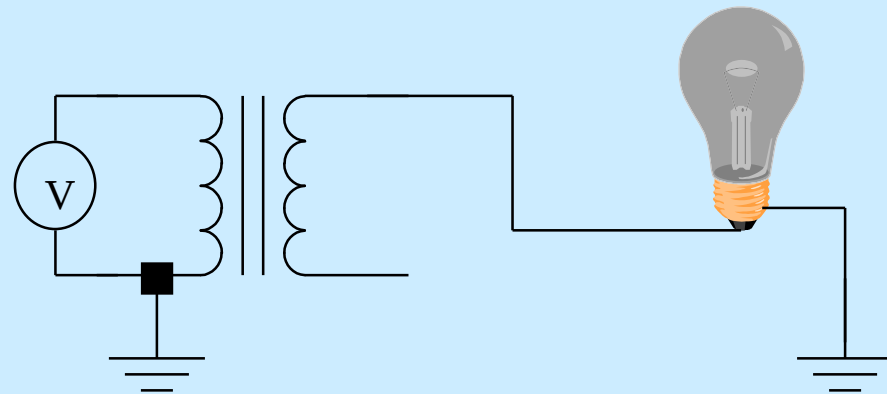
---

Conceito de referencial:

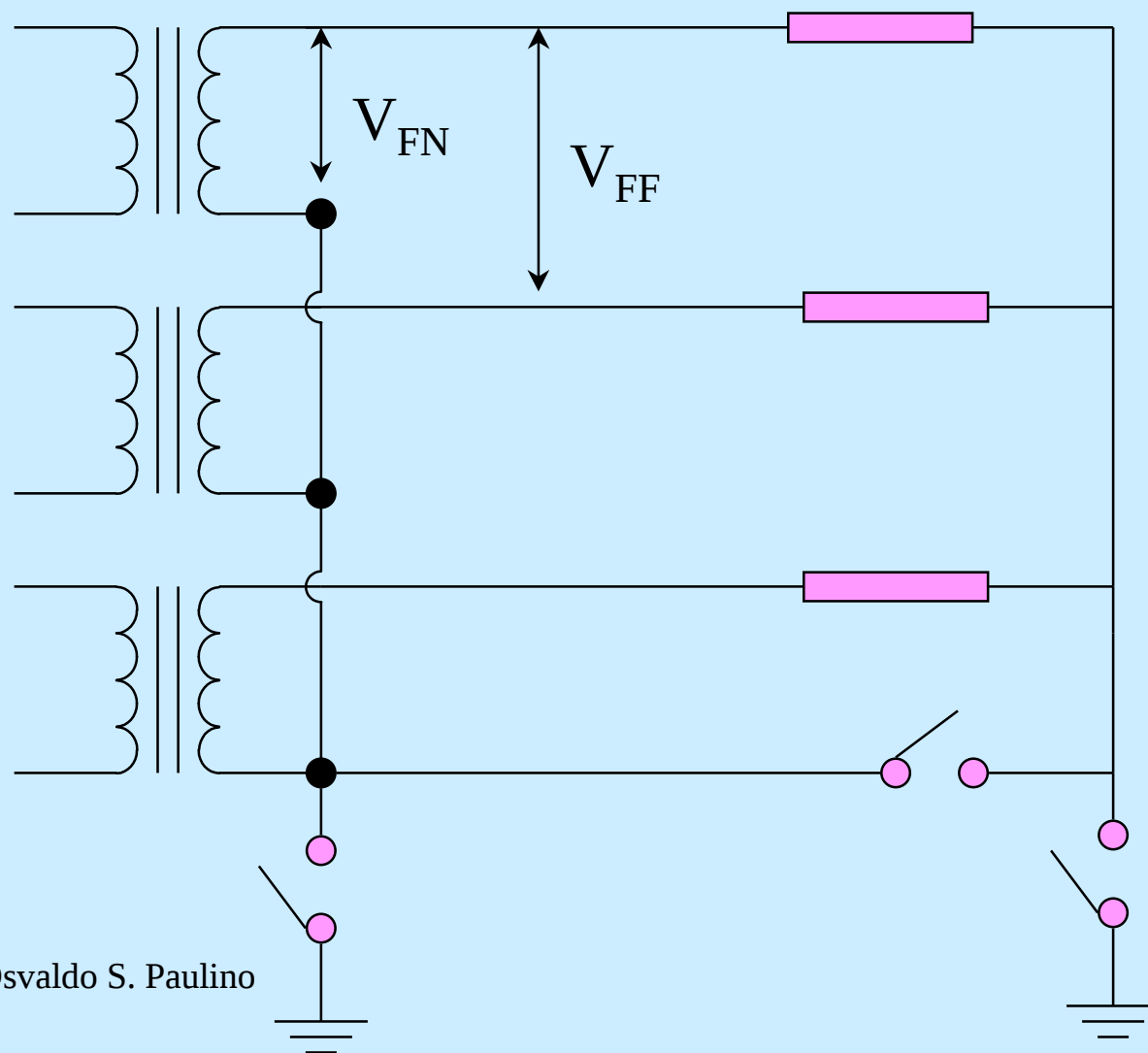


# Conceito de referencial

---

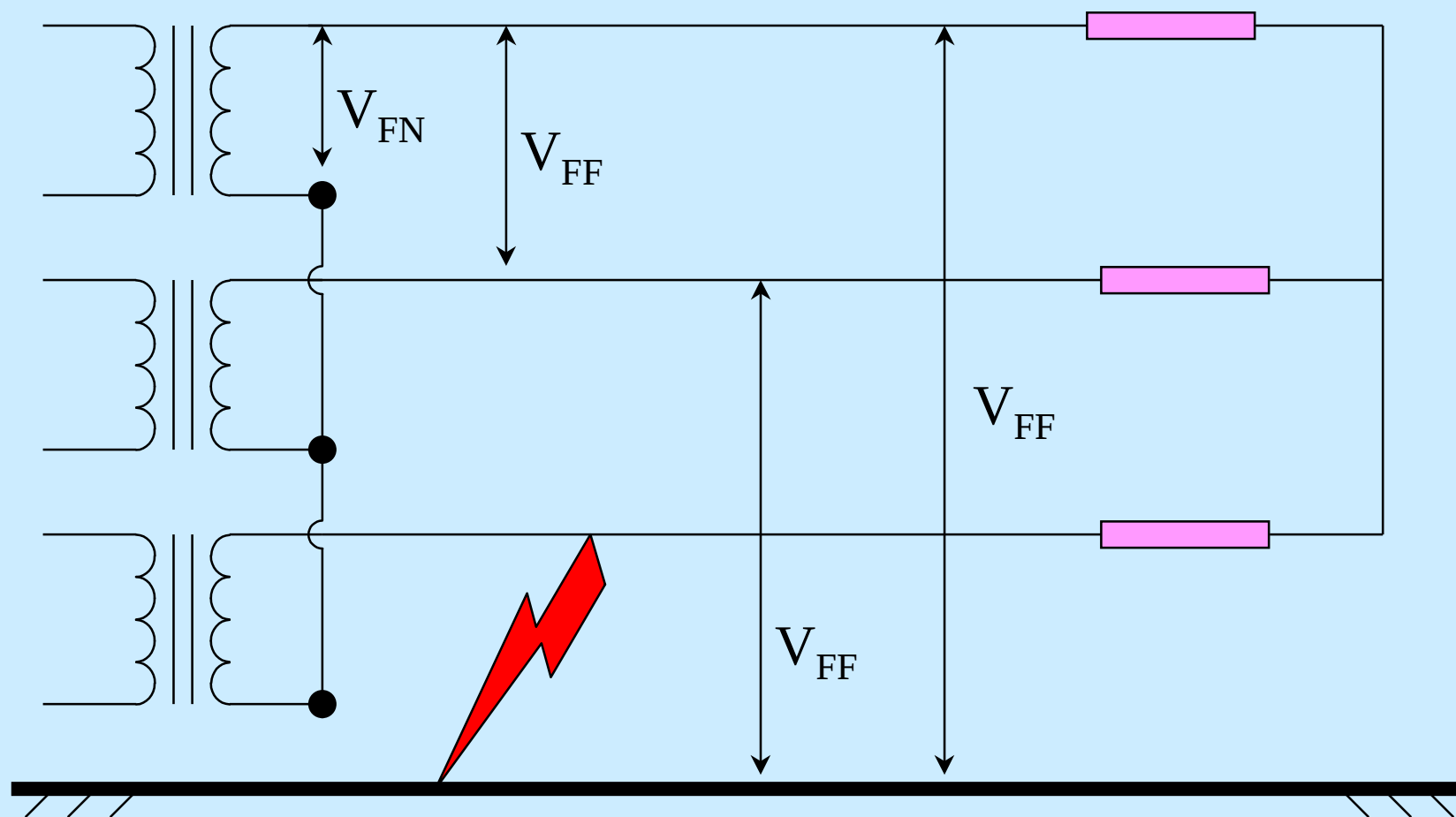


# Controle das sobretensões

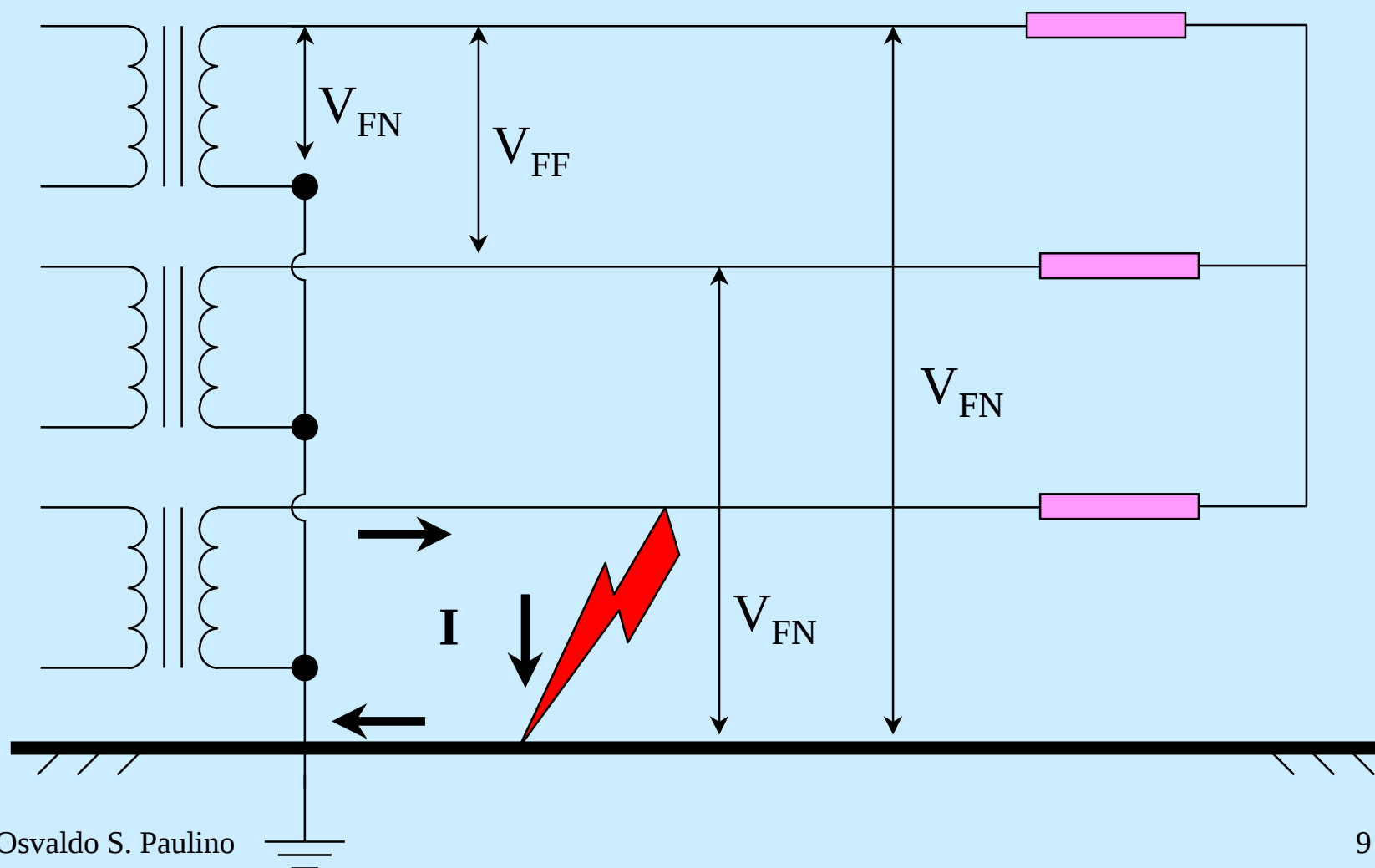


$$V_{FF} = \sqrt{3} \cdot V_{FN}$$

## Controle das sobretensões



## Controle das sobretensões



# Segurança Pessoal

---



# CHOQUE ELÉTRICO

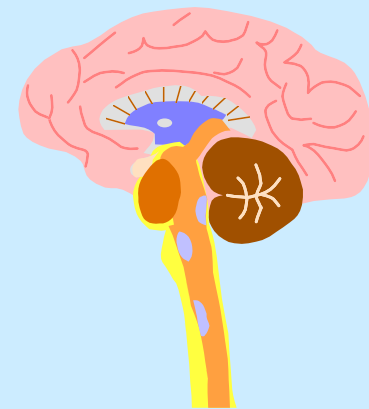
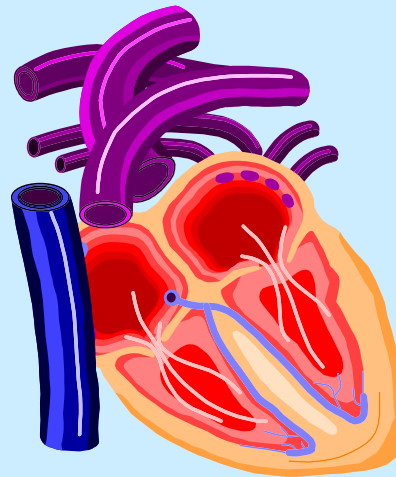
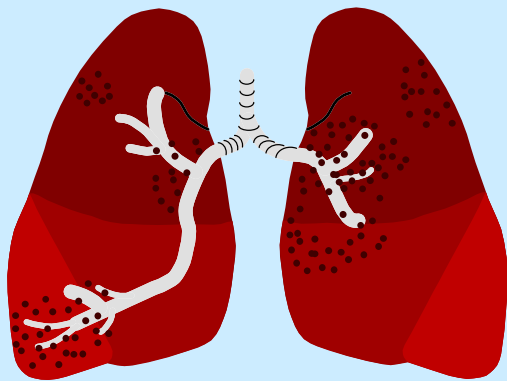
---

Corrente alternada (60 Hz).

Tempo de circulação maior que três segundos.

Corrente passando pelo:

torax (pulmão e coração)  
ou pelo cérebro.



# CHOQUE ELÉTRICO

---

**1 mA** - Limiar de sensibilidade - Formigamento

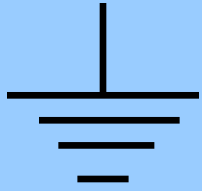
**5 a 15 mA** - Contração muscular - Dor

**15 a 25 mA** - Contrações violentas - Impossibilidade de soltar o objeto (fio) - Morte aparente - Asfixia  
Respiração artificial

**25 - 80 mA** - Morte aparente - Asfixia - Fibrilação ventricular  
Respiração artificial - Massagem cardíaca

Maior que **80 mA** - Desfibrilação elétrica.

Corrente de ampères - Queimaduras e morte.

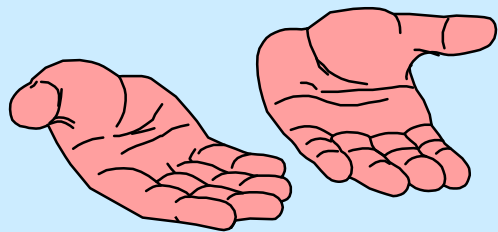


## Efeitos fisiológicos da corrente alternada (15Hz a 100Hz) - pessoas com mais de 50kg

- ◆ 0,1 a 0,5mA – Leve percepção superficial
- ◆ 0,5 a 10mA – Ligeira tetanização do braço
- ◆ 10 a 30mA – Não perigosa se interrompida em menos de 5 segundos
- ◆ 30 a 500mA – Paralisia estendida dos músculos do tórax, com sensação de falta de ar e tontura. Possibilidade de fibrilação ventricular se a descarga se mantiver por mais de 200 ms
- ◆ Acima de 500mA – Parada cardíaca, salvo intervenção imediata de pessoal especializado.

# Resistência do corpo humano

---



Medida entre duas mãos.

Mãos secas:  $R = 5000 \, \Omega$

Mãos úmidas:  $R = 2500 \, \Omega$

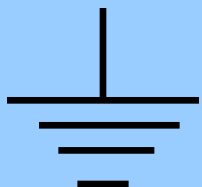
Mãos molhadas:  $R = 1000 \, \Omega$

Mãos imersas na água:  $R = 500 \, \Omega$



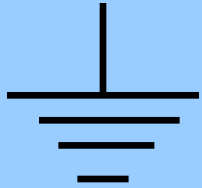
# Proteção contra choques elétricos

- ◆ **Contatos diretos** – contato com partes metálicas normalmente sob tensão (partes vivas)
- ◆ **Contatos indiretos** – contato de pessoas ou animais com partes metálicas normalmente não energizadas (massas), mas que podem ficar energizadas devido a uma falha de isolamento.



## Medidas de proteção

| Proteção  | Tipo de medida | Sistema                                                     | Tipo de pessoa        |
|-----------|----------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Total     | Passiva        | Isolação das partes vivas sem possibilidade de remoção      | Comum                 |
|           | Passiva        | Invólucros ou barreiras removíveis apenas com ferramenta    | Comum                 |
| Parcial   | Passiva        | Obstáculos removíveis sem ferramenta                        | Advertida qualificada |
|           | Passiva        | Distanciamento das partes vivas acessíveis                  | Advertida qualificada |
| Com-plem. | Ativa          | Circuito protegido por dispositivo DR de alta sensibilidade | Qualquer              |



## Proteção contra contatos indiretos

1. Proteção por dupla isolamento
2. Proteção por locais não condutores
3. Proteção por ligação equipotencial
4. Proteção por separação elétrica

# CHOQUE ELÉTRICO

---

Corrente “perigosa”:  $I = 20 \text{ mA}$

$$V = R \times I$$

Mãos secas:  $V = 100 \text{ V}$

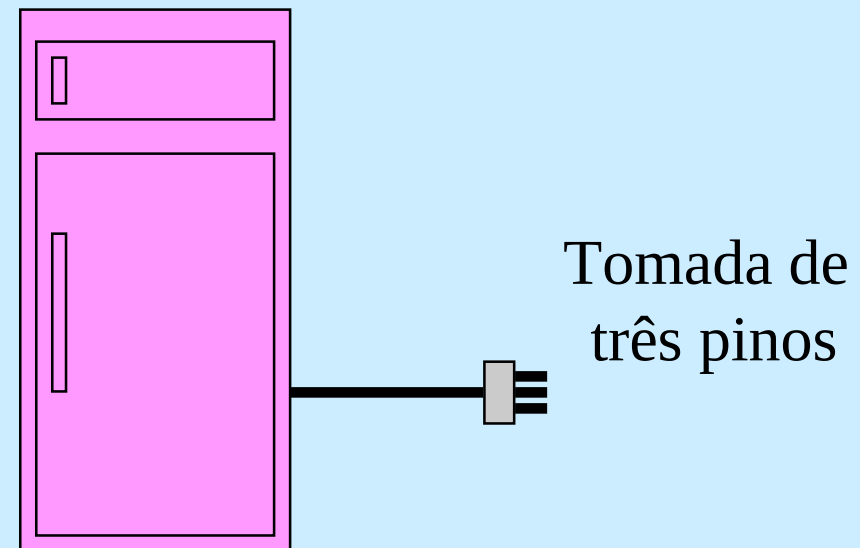
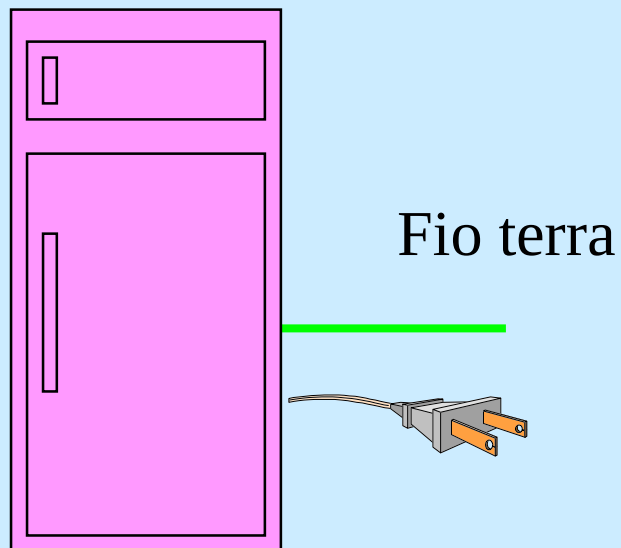
Mãos úmidas:  $V = 50 \text{ V}$

Mãos molhadas:  $V = 20 \text{ V}$

Mãos imersas na água:  $V = 10 \text{ V}$

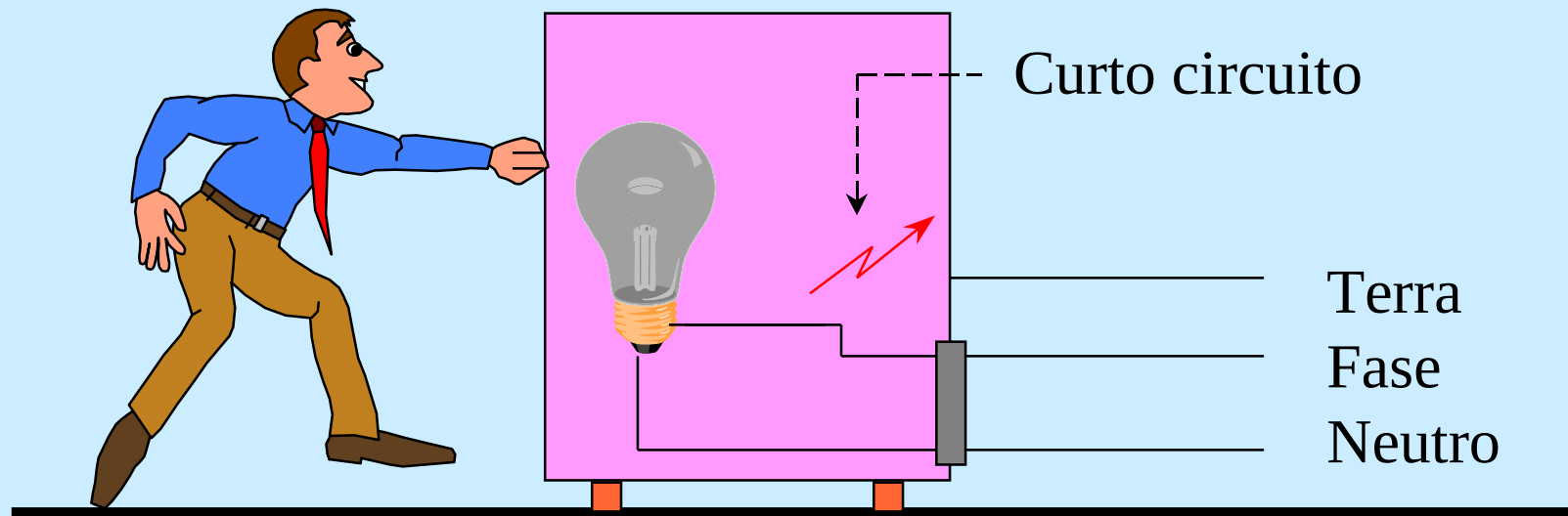
# Aterramento dos equipamentos elétricos.

---

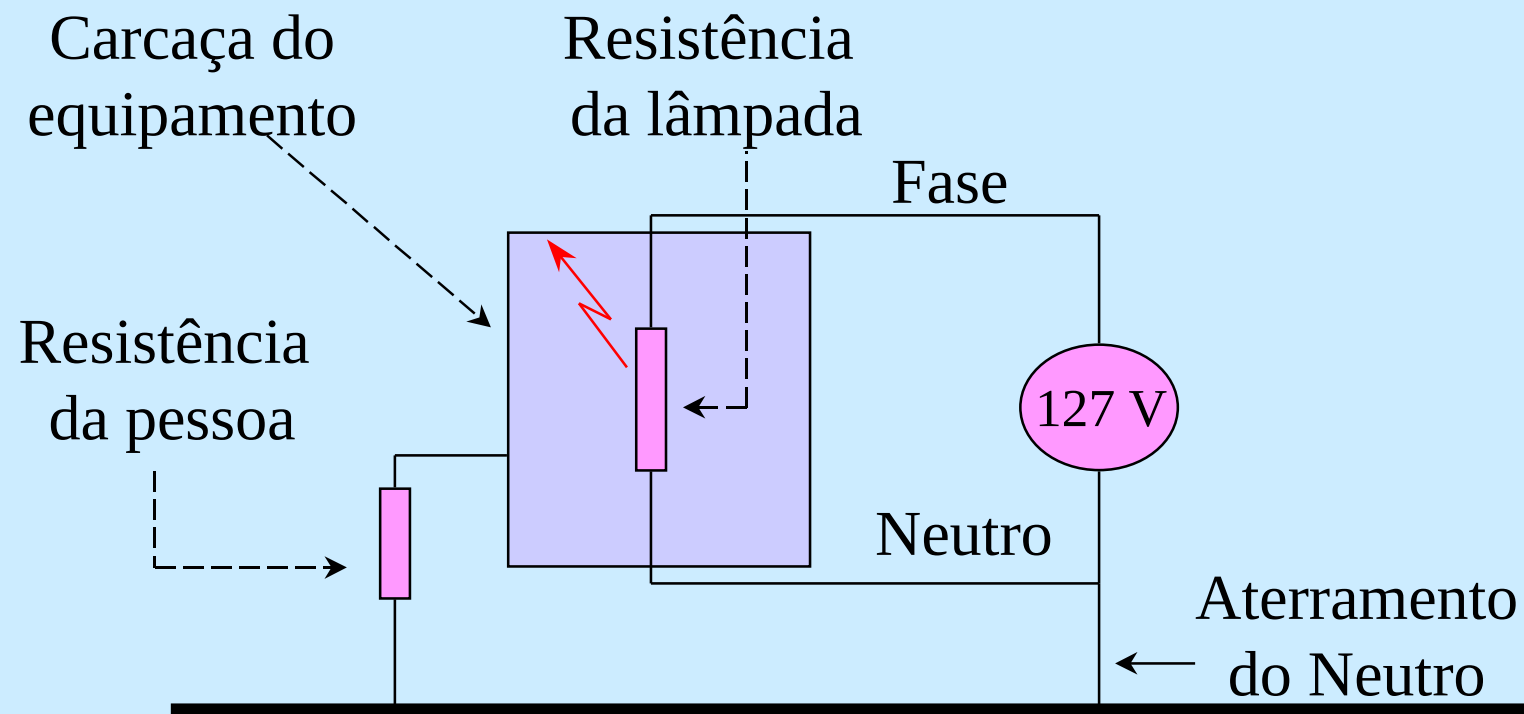


# Aterramento dos equipamentos elétricos: curto-circuito para a carcaça.

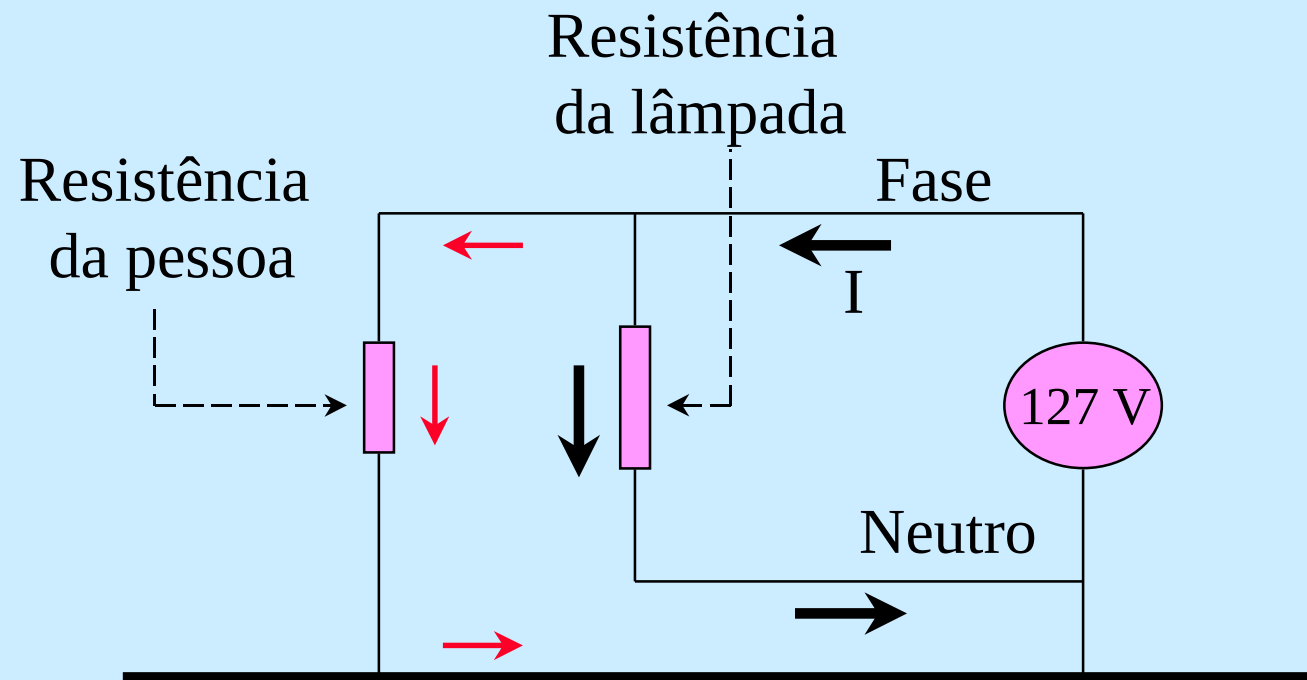
---



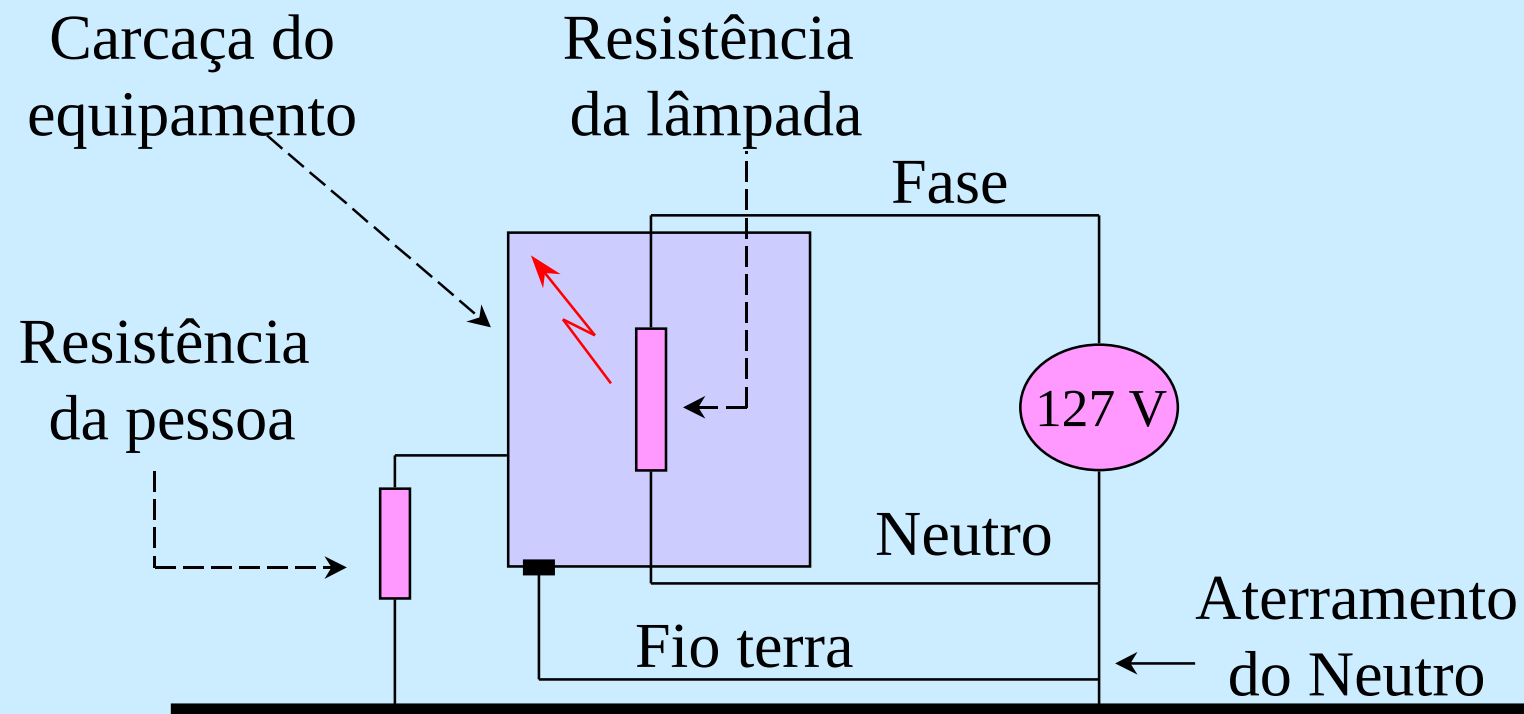
## Equipamento sem fio terra.



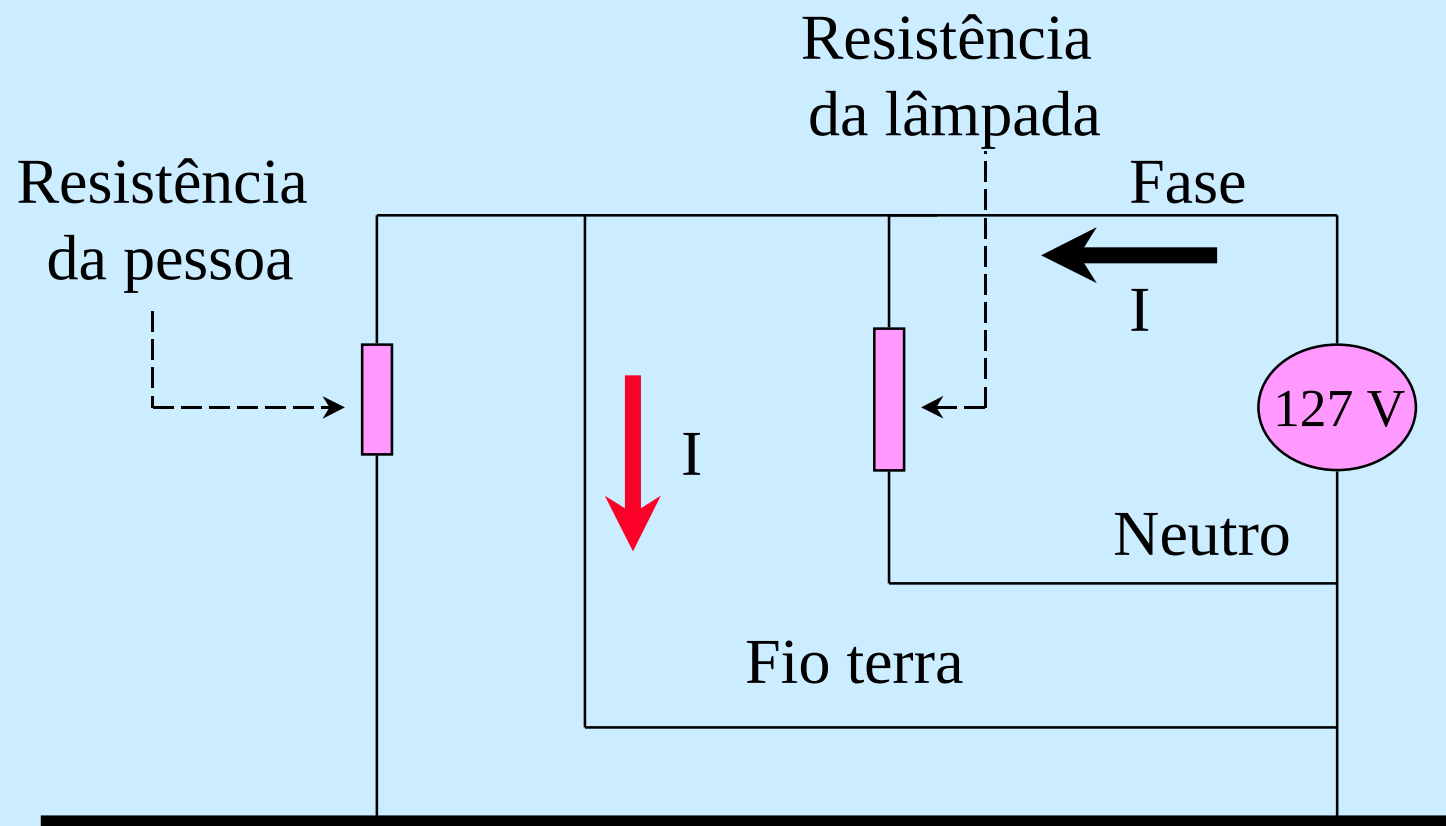
## Equipamento sem fio terra.



## Equipamento com fio terra.



## Equipamento com fio terra.



# Aterramento dos equipamentos elétricos: curto-circuito para a carcaça.

---

Com o fio terra:

A corrente do circuito aumenta muito e a proteção (disjuntor/fusível) irá desligar o circuito;

A corrente que circula pelo corpo da pessoa é muito pequena porque ela ficou em paralelo com o fio terra.

# Aterramento dos equipamentos elétricos: curto-circuito para a carcaça.

---

Sem o fio terra:

A corrente do circuito não aumenta e a proteção (disjuntor/fusível) não irá desligar o circuito;

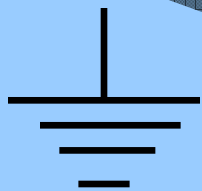
A corrente que circula pelo corpo da pessoa pode ser elevada.

# Aterramento dos equipamentos elétricos

---

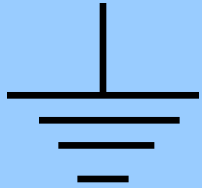
A grande dúvida é:

Em instalações que não tem tomada de três pinos, onde ligar o fio terra?



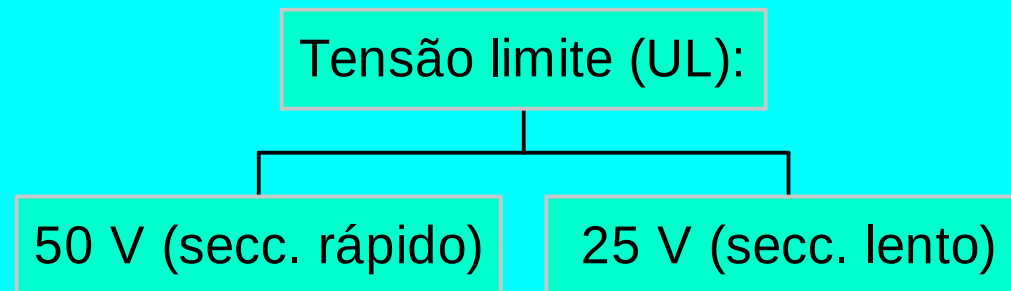
## “Sistema de terra”

- ◆ **Eletrodo de aterramento** – condutor ou conjunto de condutores em contato elétrico com o solo
- ◆ **Condutor de proteção (PE)** – massas, 3o. Pino das tomadas
- ◆ **Condutor PEN** – proteção e neutro da rede de BT externa
- ◆ **Terminal ou barra de aterramento principal (TAP)**
- ◆ **Resistência de aterramento total** – do TAP à terra
- ◆ **Condutor de aterramento** – liga TAP ao eletrodo de terra
- ◆ **Ligação equipotencial** – principal, suplementar, e isolada
- ◆ **Condutor de equipotencialidade** – da ligação equipotencial
- ◆ **Condutor de proteção principal** – liga PE ao TAP



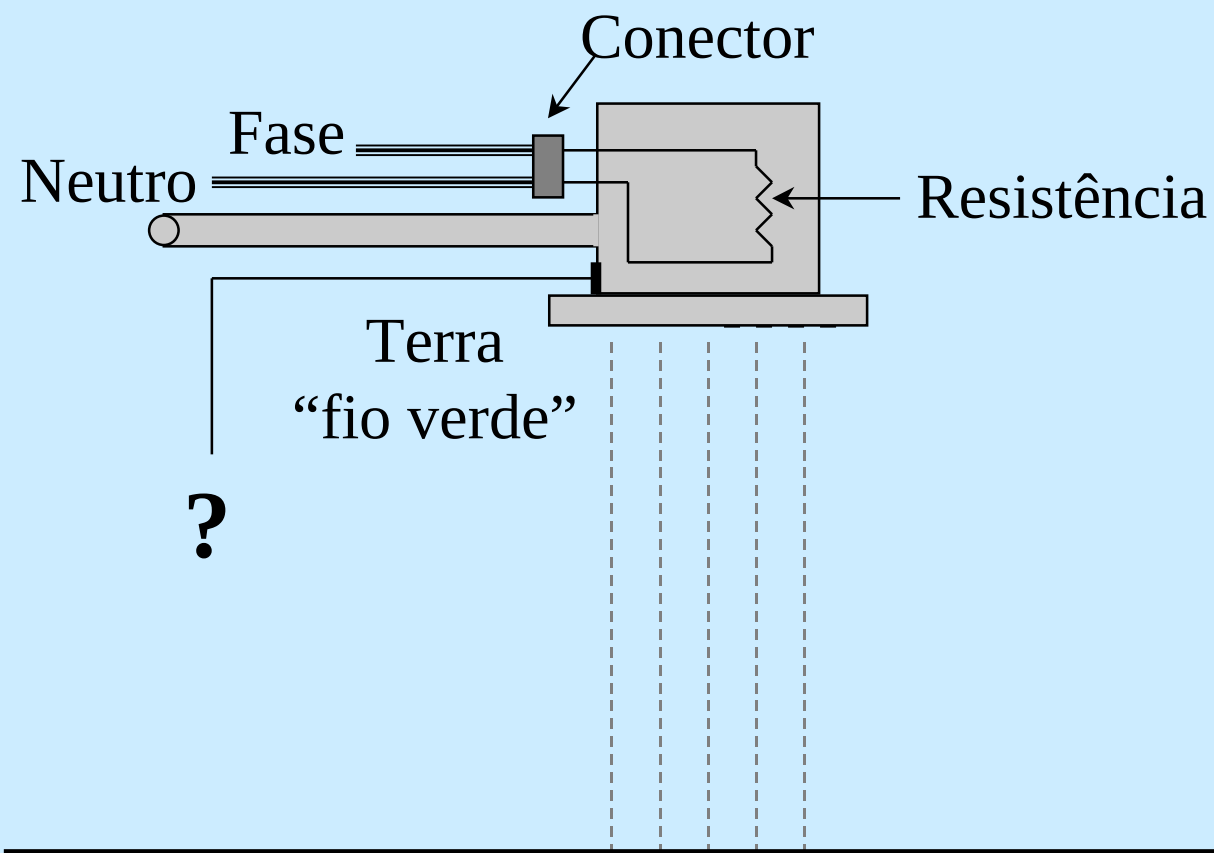
## Tensão de contato e de passo

- ◆ **Tensão de contato** - Tensão que uma pessoa possa ser submetida ao tocar simultaneamente, em um objeto sob tensão e em outro elemento que se encontra num potencial diferente
- ◆ **Tensão de passo** – Parte da tensão de um eletrodo de aterramento à qual poderá ser submetida uma pessoa nas proximidades do eletrodo, cujos pés estejam separados pela distância equivalente a um passo

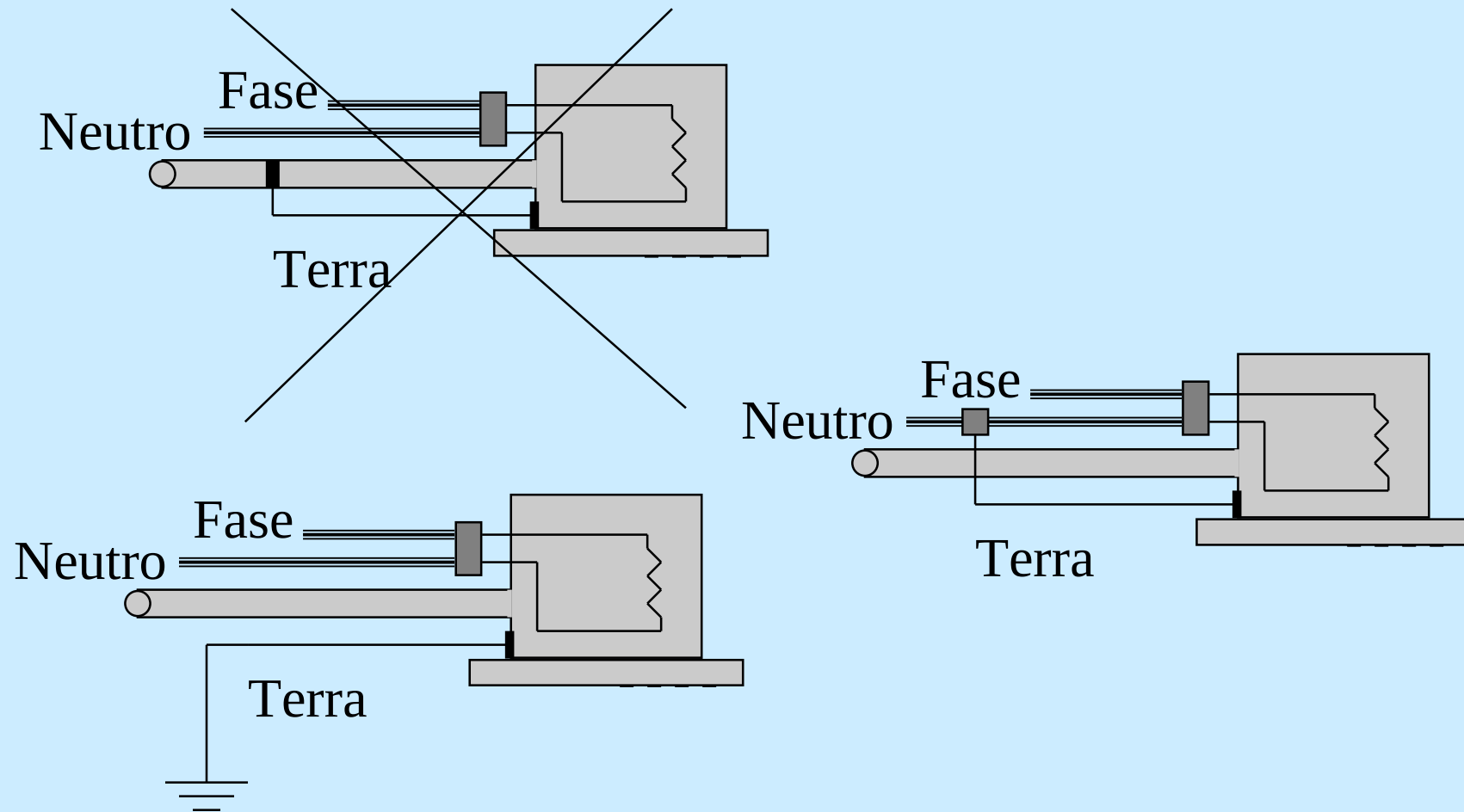


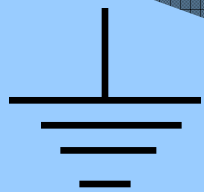
# Aterramento dos equipamentos elétricos.

---



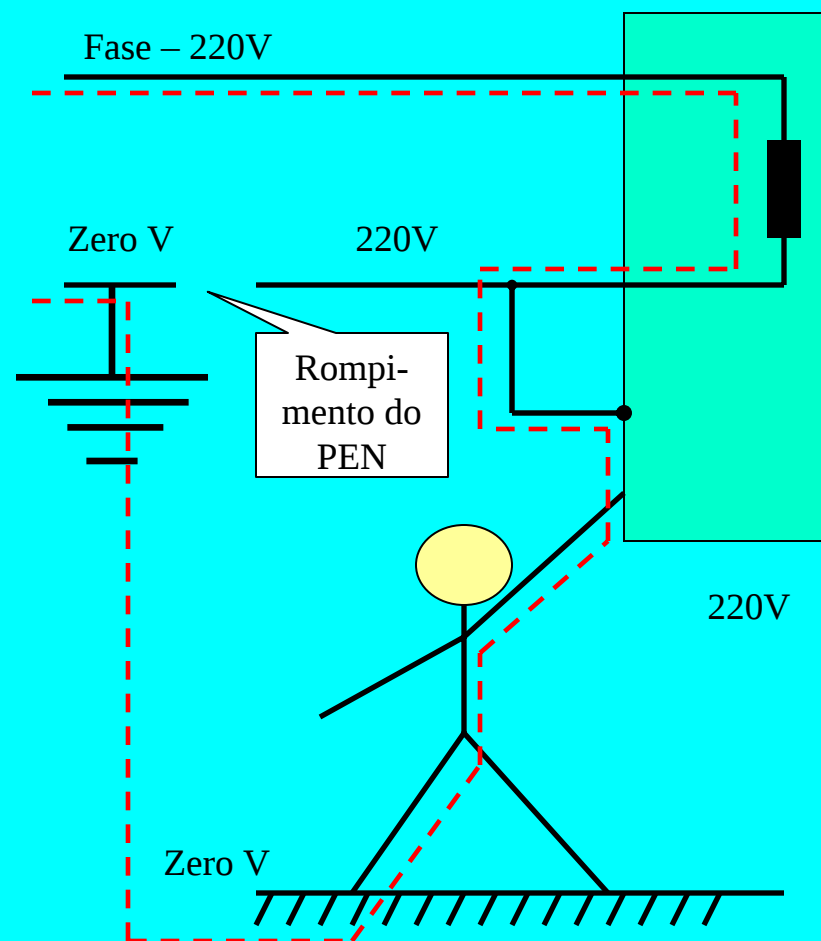
# Aterramento dos equipamentos elétricos.





## Esquemas TN

- ◆ Ideais para instalações com subestação ou gerador próprio
- ◆ No esquema TN-C:
  - há economia de um condutor
  - utiliza o condutor PEN
  - Somente pode ser usado quando  $S \geq 10\text{mm}^2$  em cobre e  $S \geq 16\text{mm}^2$  em alumínio que não utilizem cabos flexíveis
  - Não se admite o uso de dispositivos DR



# Malhas de aterramento simples

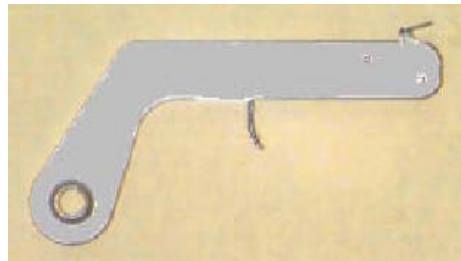
---

Hastes na vertical.

Cabos na horizontal.



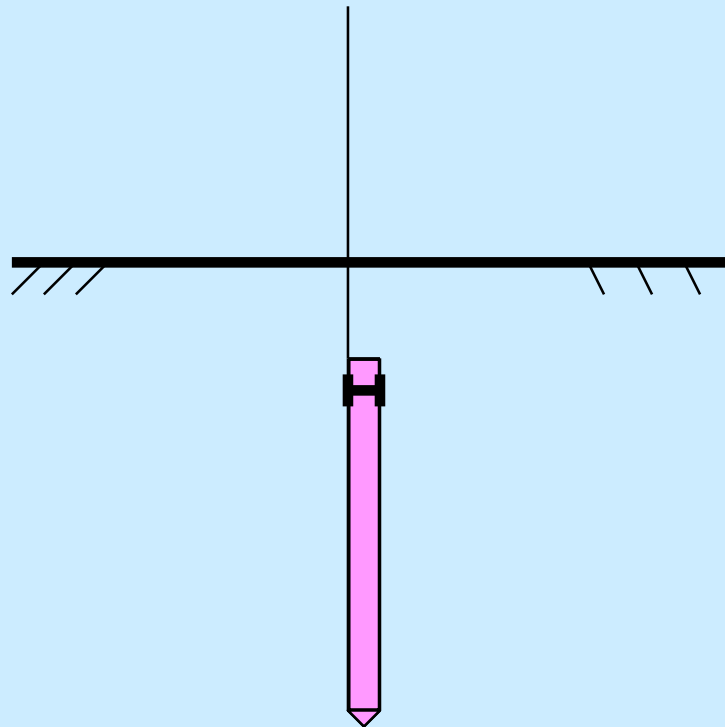
# Materiais para aterramento



# Haste de aterramento

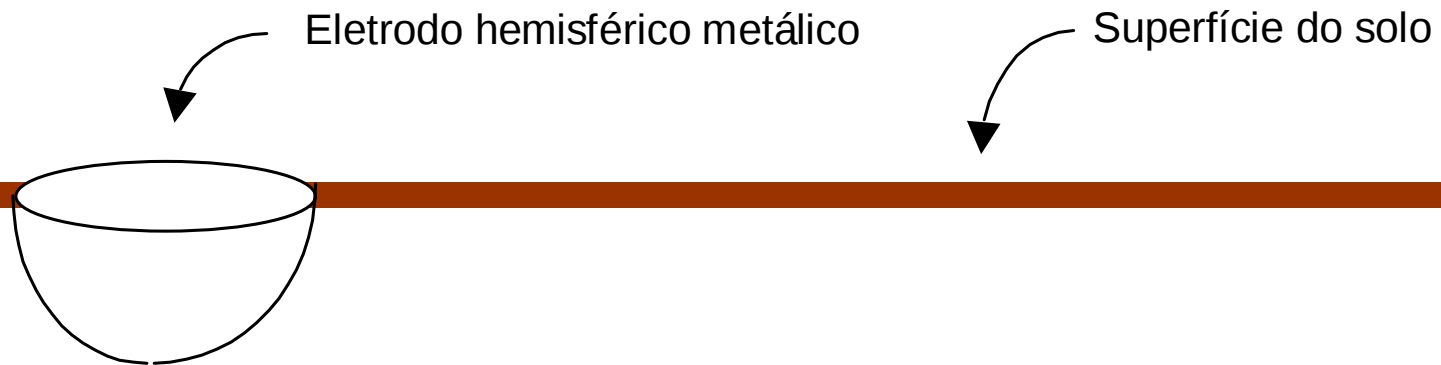
---

2,4 e 3,0 m de comprimento.  
Cobreadas ou zincadas (galvanizadas)

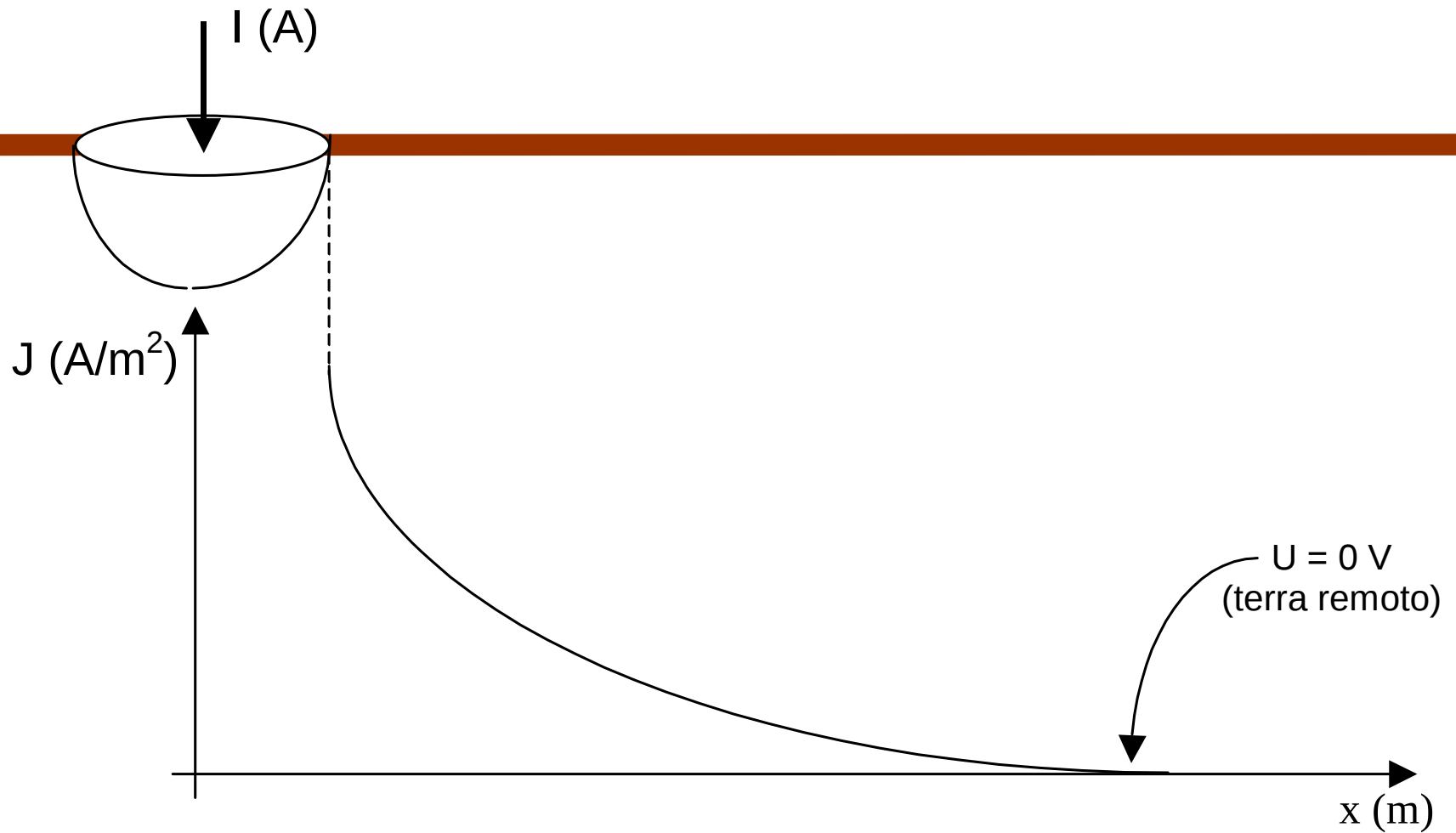


# ELETRODOS ELEMENTARES

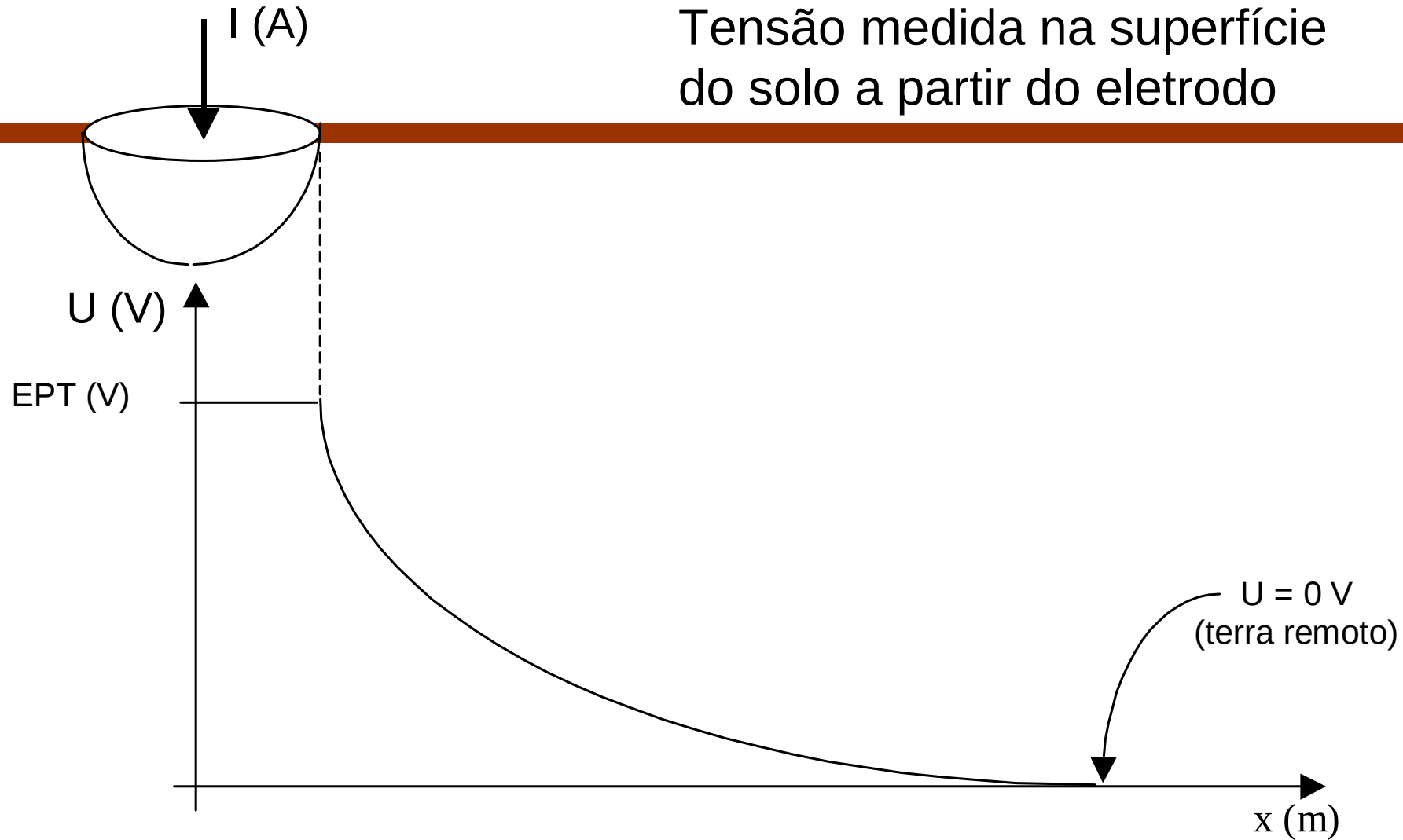
## Eletrodo Hemisférico na Superfície do Solo



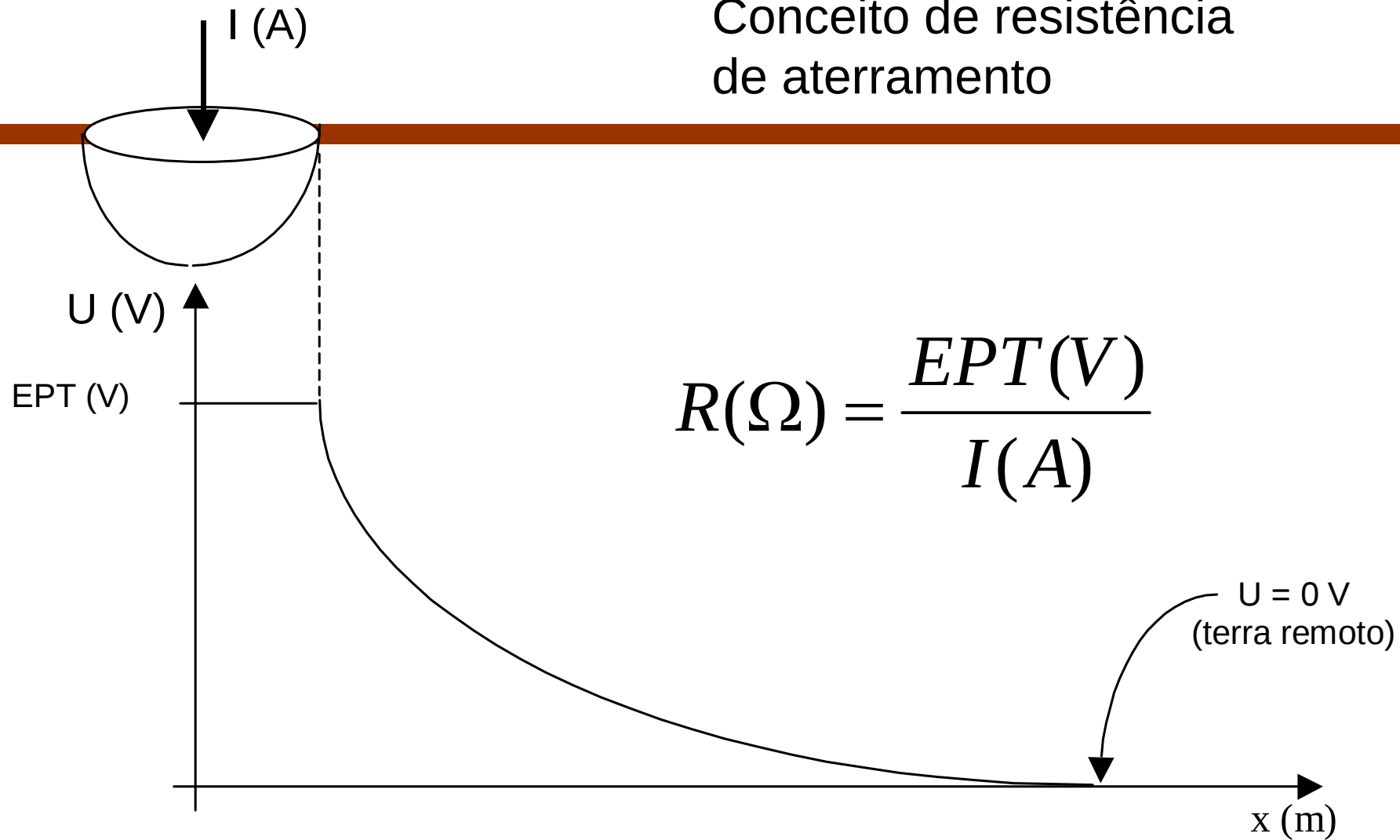
# DENSIDADE DE CORRENTE NO SOLO



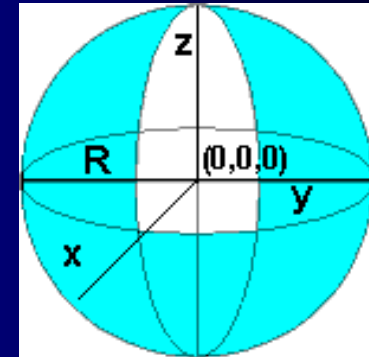
Tensão medida na superfície  
do solo a partir do eletrodo



Conceito de resistência  
de aterramento



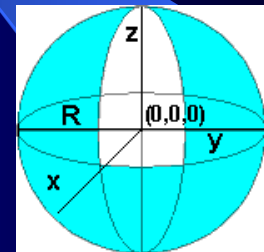
# A superfície esférica



- Do ponto de vista matemático, a esfera no espaço  $\mathbb{R}^3$  é confundida com o sólido geométrico (disco esférico) envolvido pela mesma, razão pela qual muitas pessoas calculam o volume da esfera. Na maioria dos livros elementares sobre Geometria, a esfera é tratada como se fosse um sólido, herança da Geometria Euclidiana.

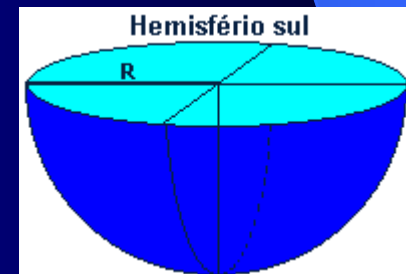
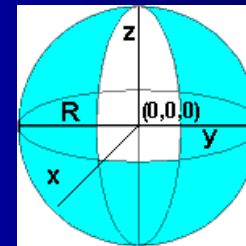
# A superfície esférica

- A esfera no espaço  $\mathbb{R}^3$  é o conjunto de todos os pontos do espaço que estão localizados a uma mesma distância denominada raio de um ponto fixo chamado centro. Uma notação para a esfera com raio unitário centrada na origem de  $\mathbb{R}^3$  é:
- $S^2 = \{ (x,y,z) \text{ em } \mathbb{R}^3: x^2 + y^2 + z^2 = 1 \}$
- Do ponto de vista prático, a esfera pode ser pensada como a película fina que envolve um sólido esférico. Em um limão esférico, a esfera poderia ser considerada a película verde (casca) que envolve a fruta.



# A superfície esférica

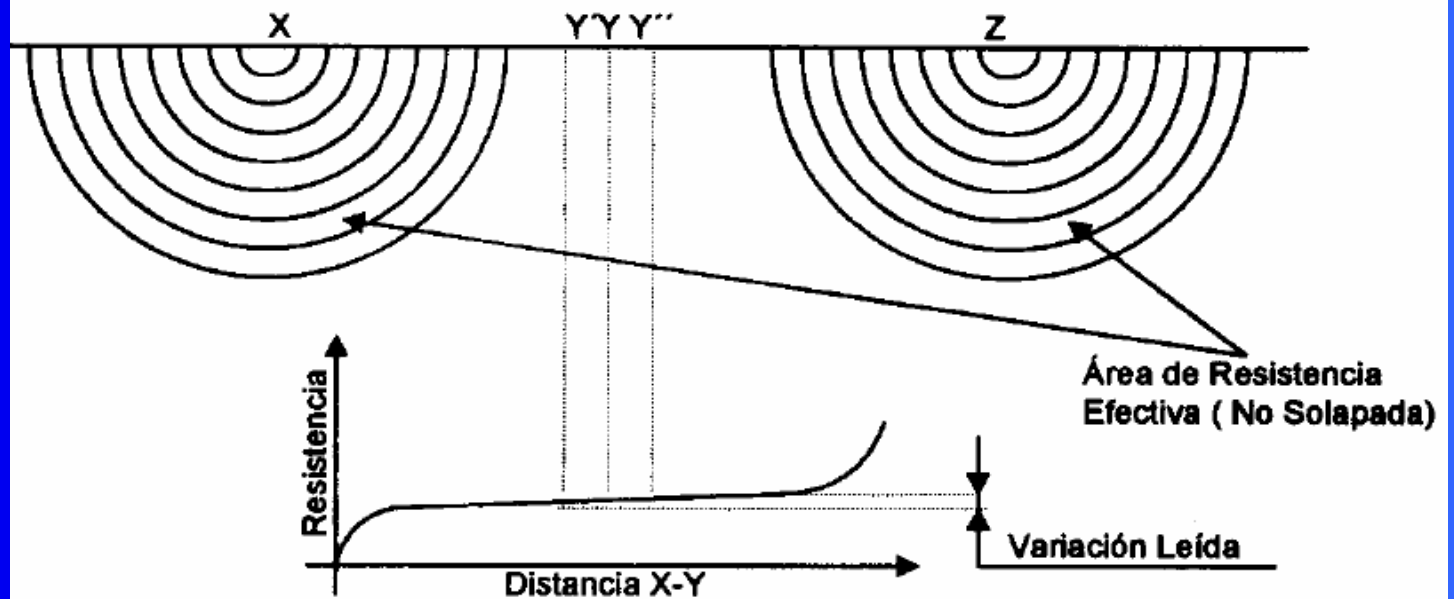
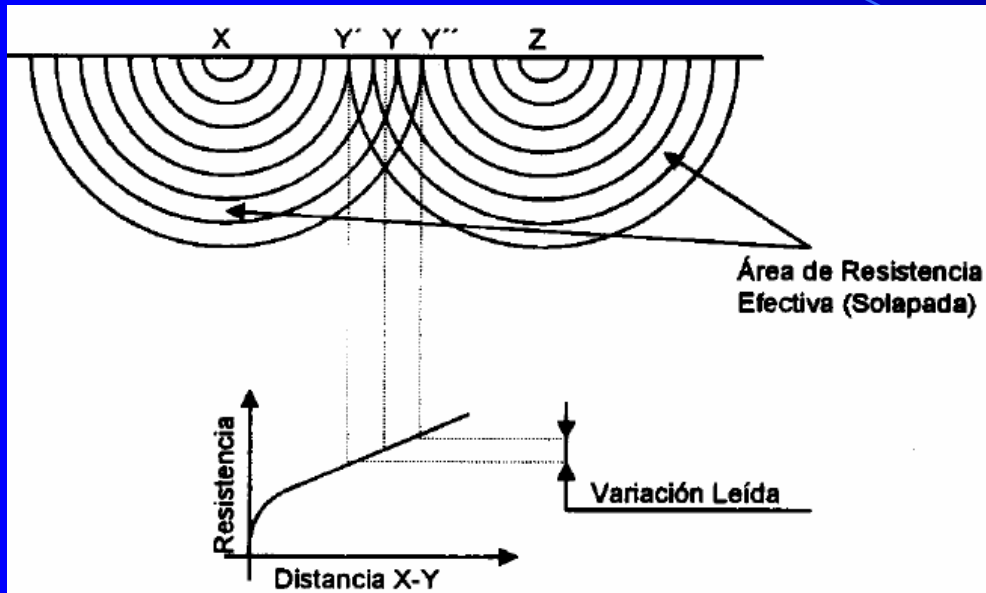
- Quando indicamos o raio da esfera pela letra  $R$  e o centro da esfera pelo ponto  $(0,0,0)$ , a equação da esfera é dada por:
- $x^2 + y^2 + z^2 = R^2$
- A área total da Esfera é dada por:
- $S_{\text{esférico}} = 4 \pi R^2$
- Logo em um Eletrodo hemisférico tem-se:
- $S_{\text{hemisférico}} = 2 \pi R^2$



# Esfera de influência de um Eletrodo Simples

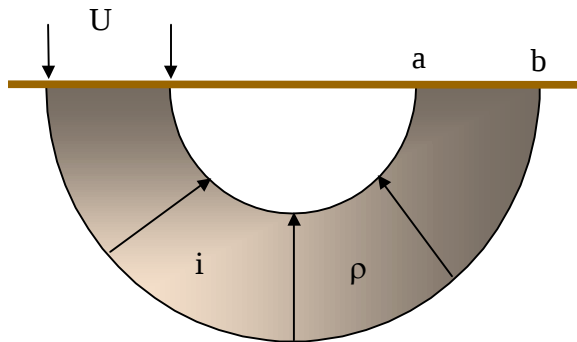


# Gradientes de Potencial



## Determinação analítica da $R_{\text{aterramento}}$ :

Ex.: Aterramento realizado por semi - esfera metálica de raio “a”. Considera - se o “TERRA” ideal como sendo uma casca semi - esférica metálica de raio “b”.



$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

Aplica - se “U” entre os eletrodos e verifica - se  $R_{\text{aterramento}}$  entre “a” e “b” quando “b” tende a infinito.

Verifica - se que “i” será radial e, do eletromagnetismo, podemos igualar a tensão “U” com a integral do campo elétrico, então:

$$U = \int_a^b E.dr = \int_a^b \frac{J}{\sigma} dr = \int_a^b \frac{i}{2\pi.r^2.\sigma} dr = \frac{i}{2\pi.\sigma} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)$$

$$\therefore R_{aterramento} = \frac{U}{I} = \frac{1}{2\pi.\sigma} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)$$

Se "b"  $\rightarrow \infty$

$$R_{aterramento} = \frac{1}{2\pi.\sigma.a} = \frac{\rho}{2\pi.a}$$

# Tipos de Sistemas de Aterramento

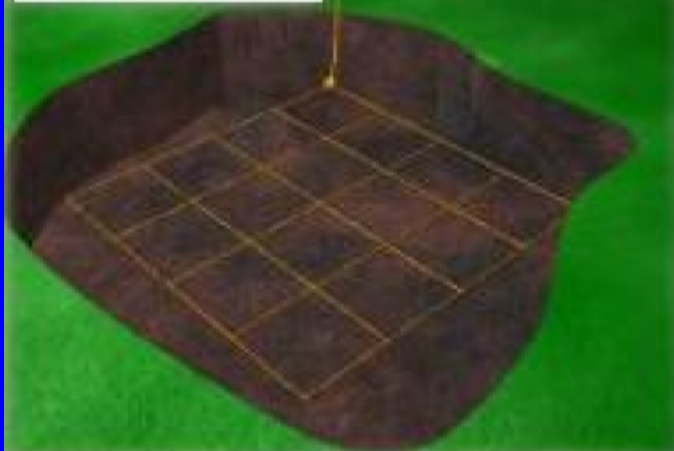
(a) Electrodo Simple



(b) Electrodo en Paralelo



(c) Malla

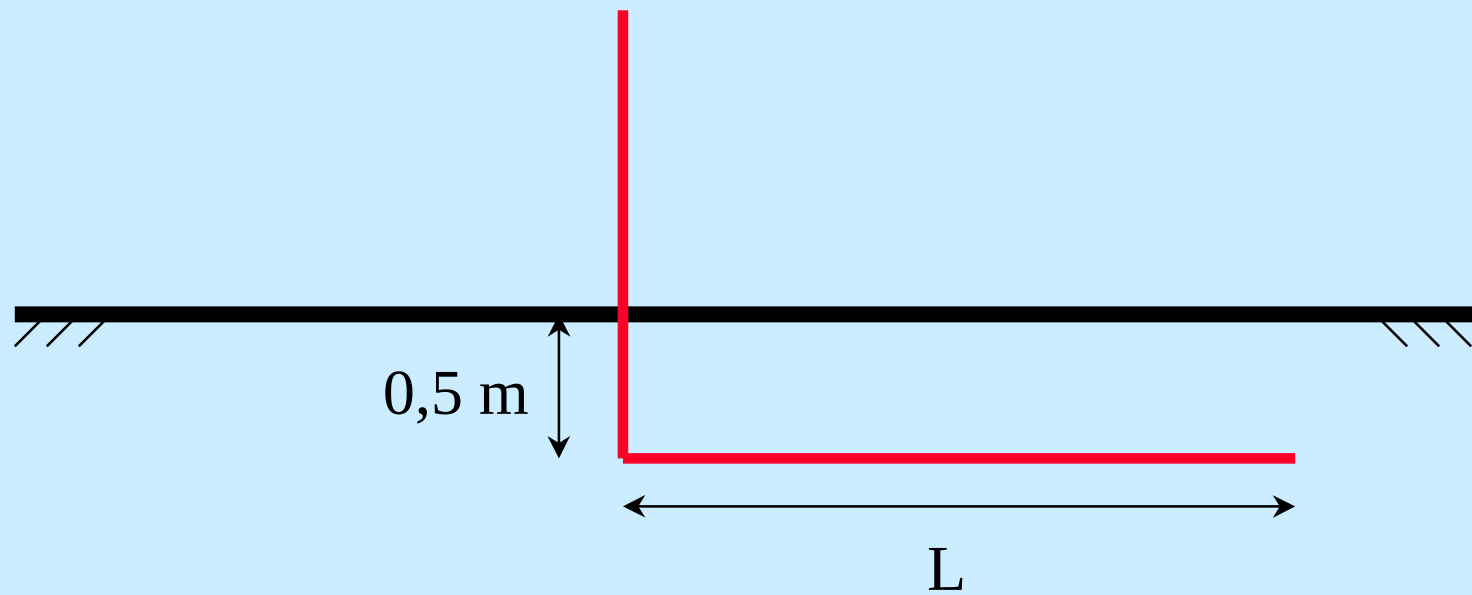


(d) Plato



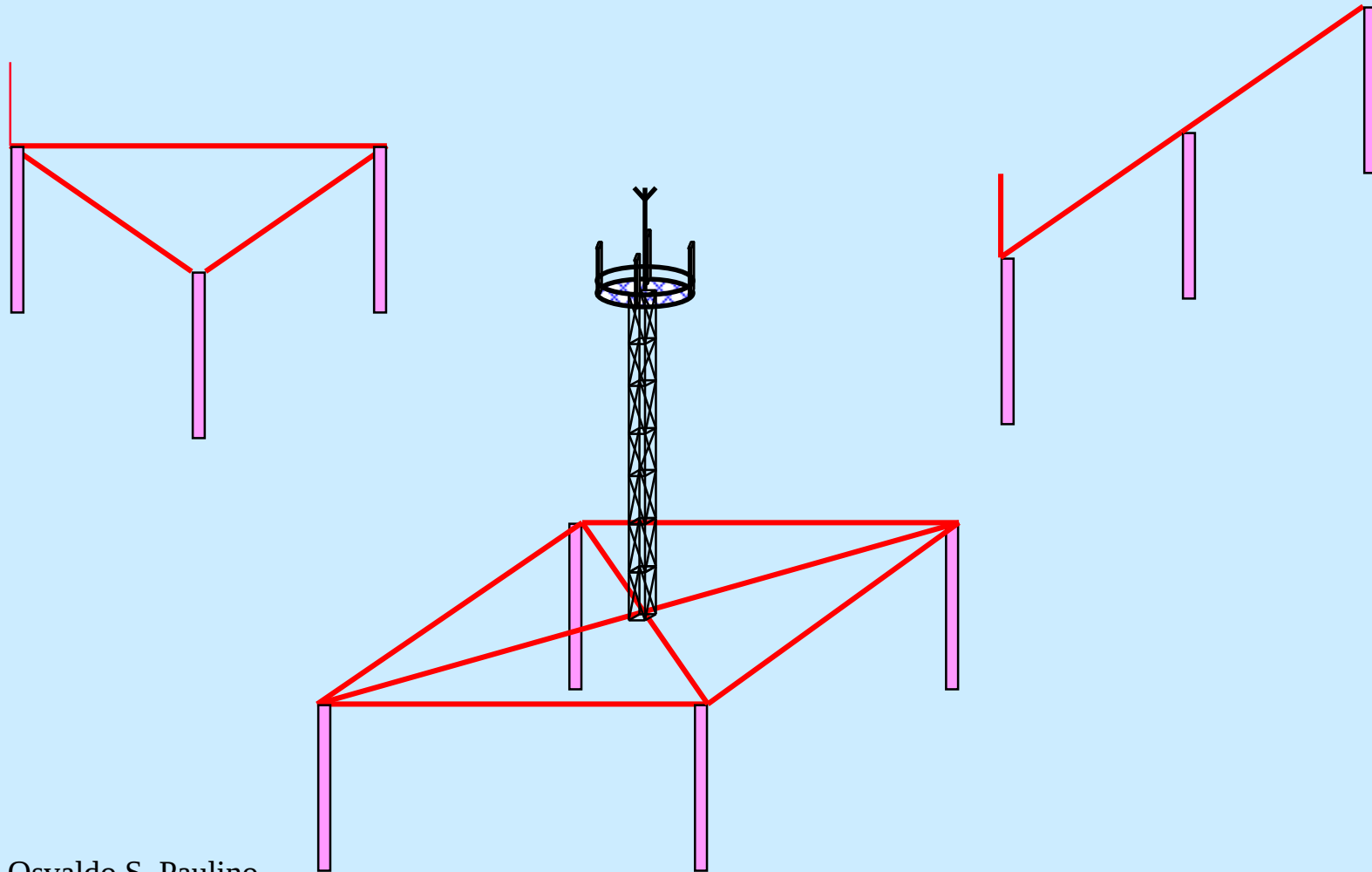
# Cabos enterrados

---



# Malhas simples

---



# Parâmetros importantes da malha

---

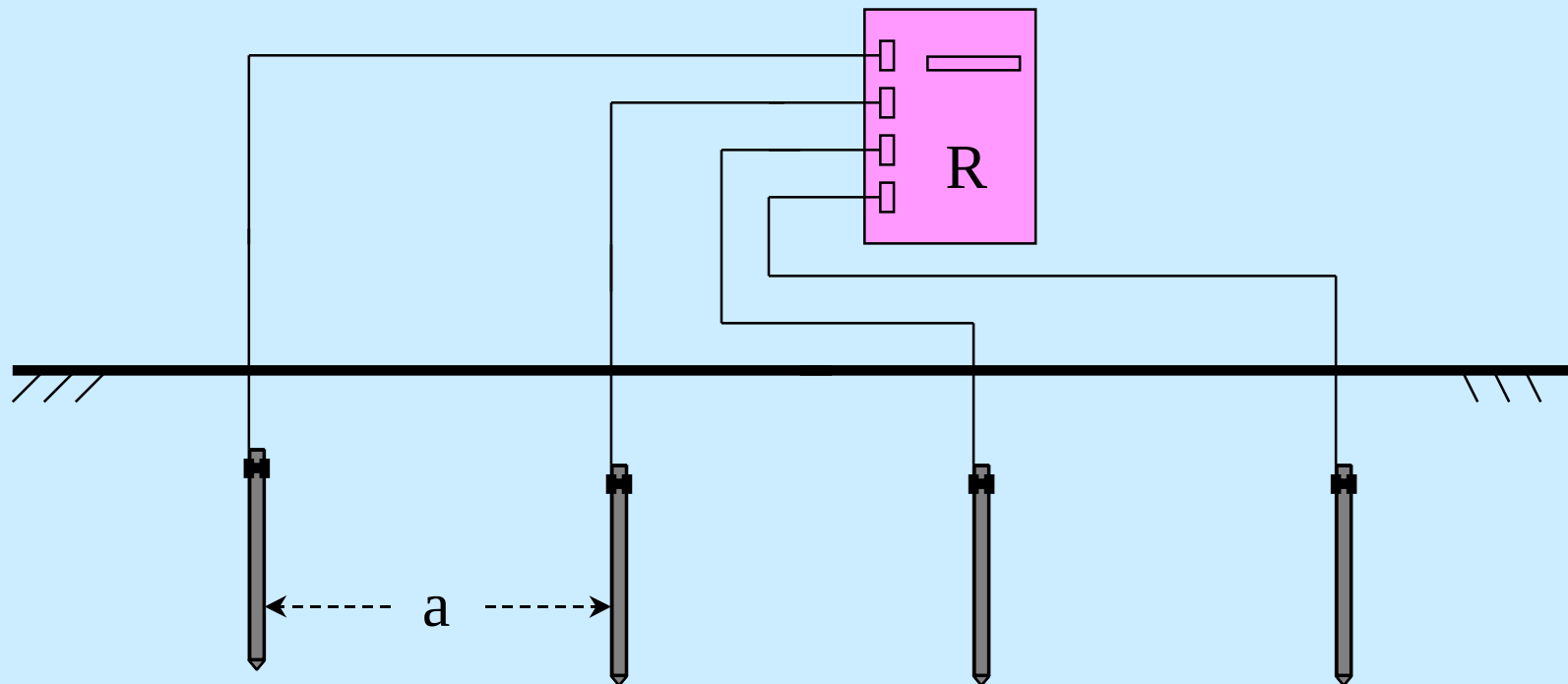
Resistência de aterramento.

Equalização de potenciais.

Impedância de aterramento.

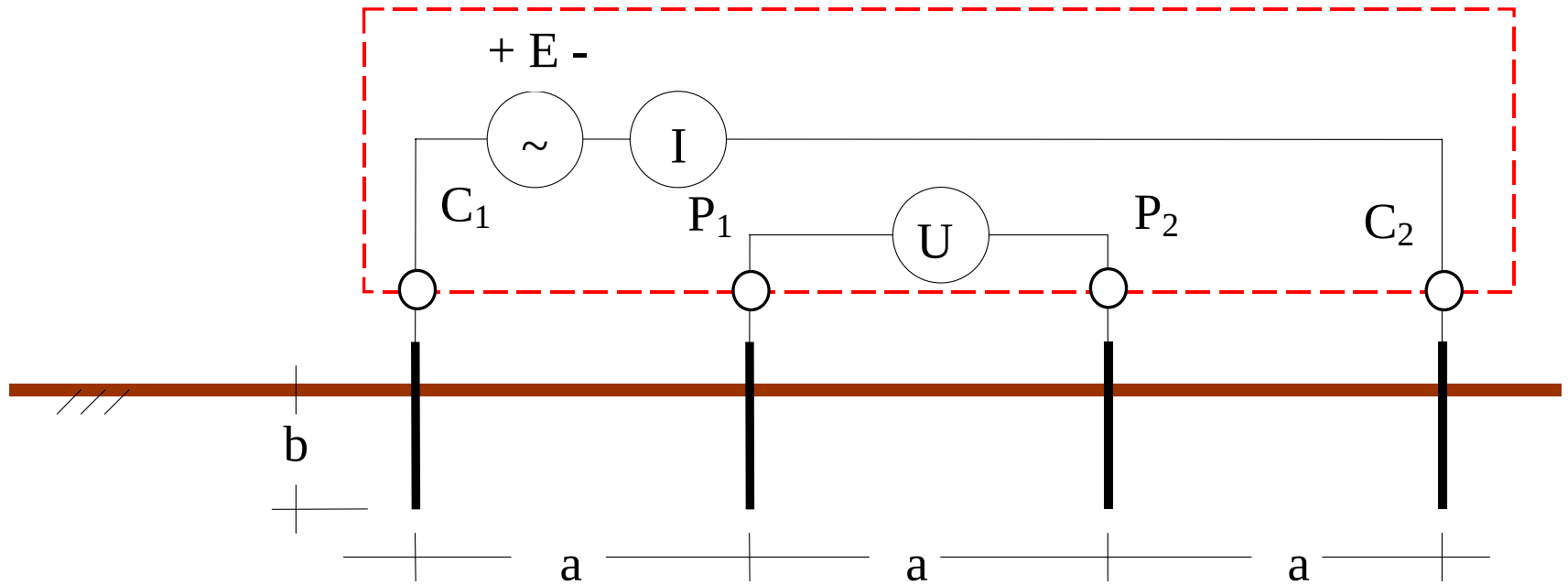
# Medição da resistividade do solo

## Solo de uma camada

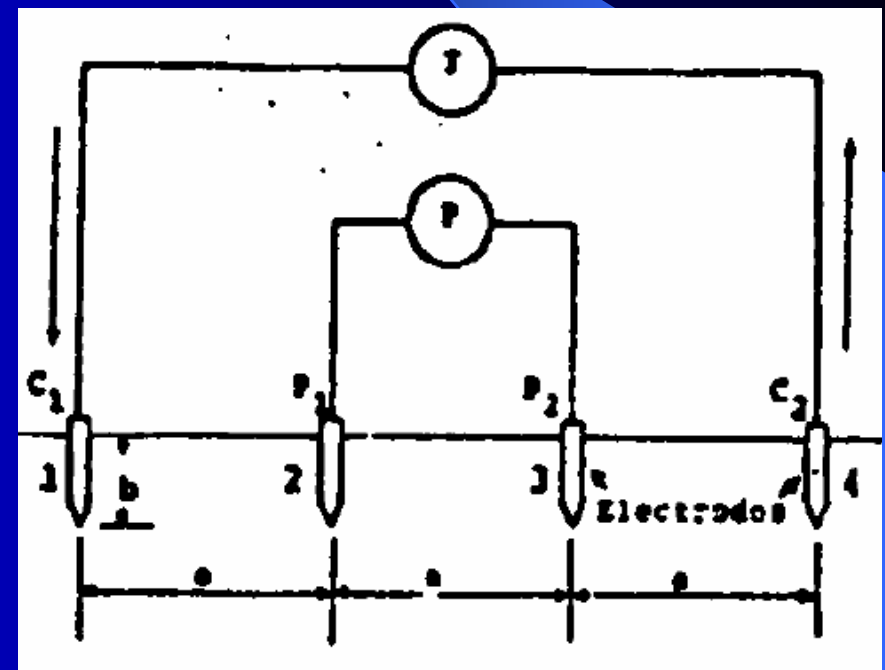
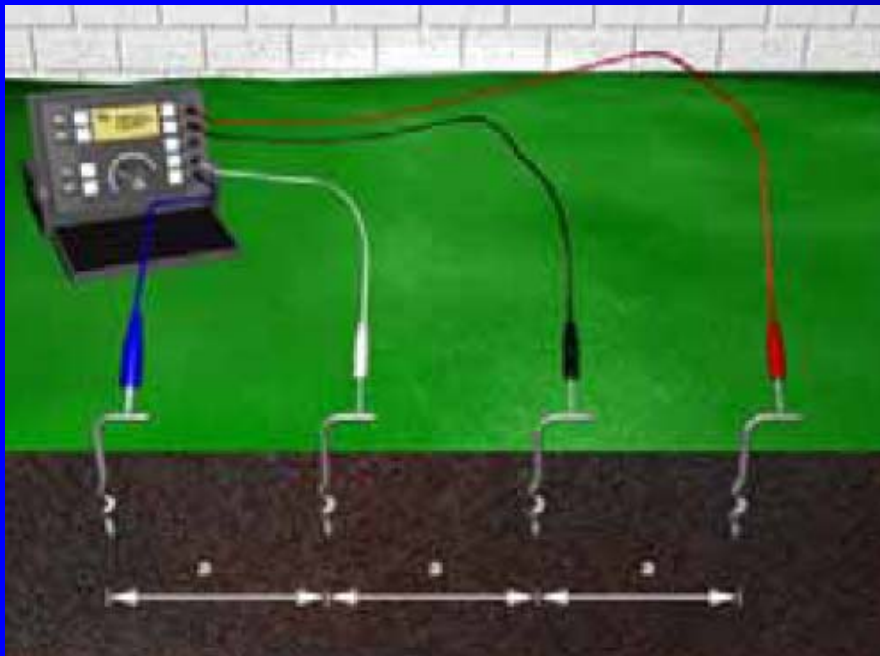


$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R$$

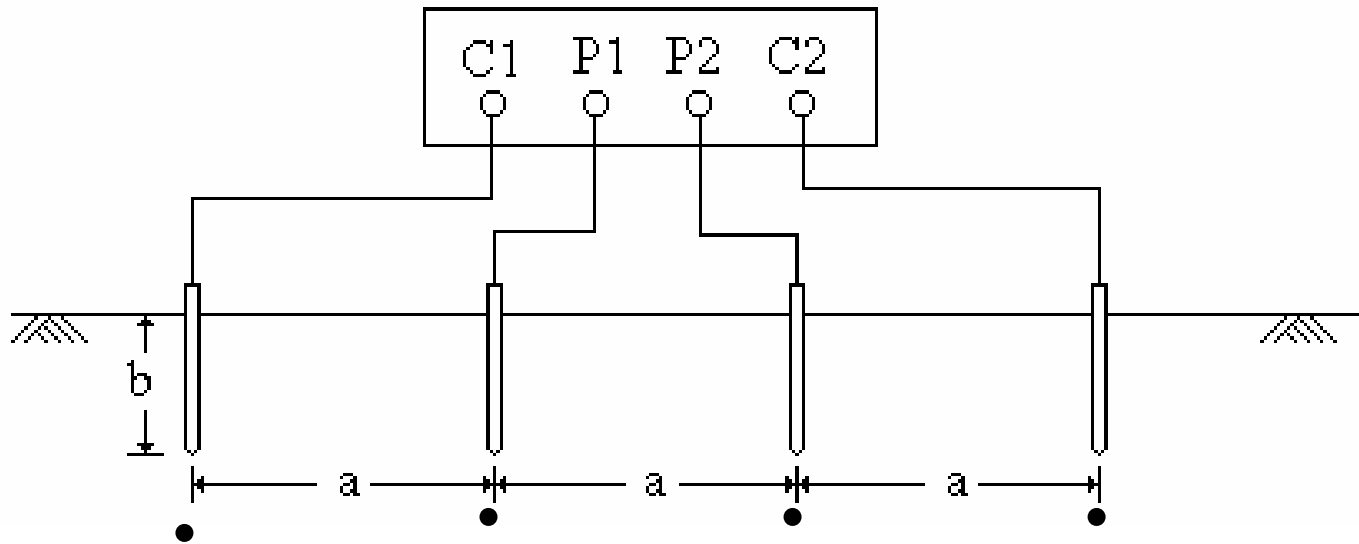
# Medidor Universal:



# Método dos Quatro Eletrodos ou Método de Wenner

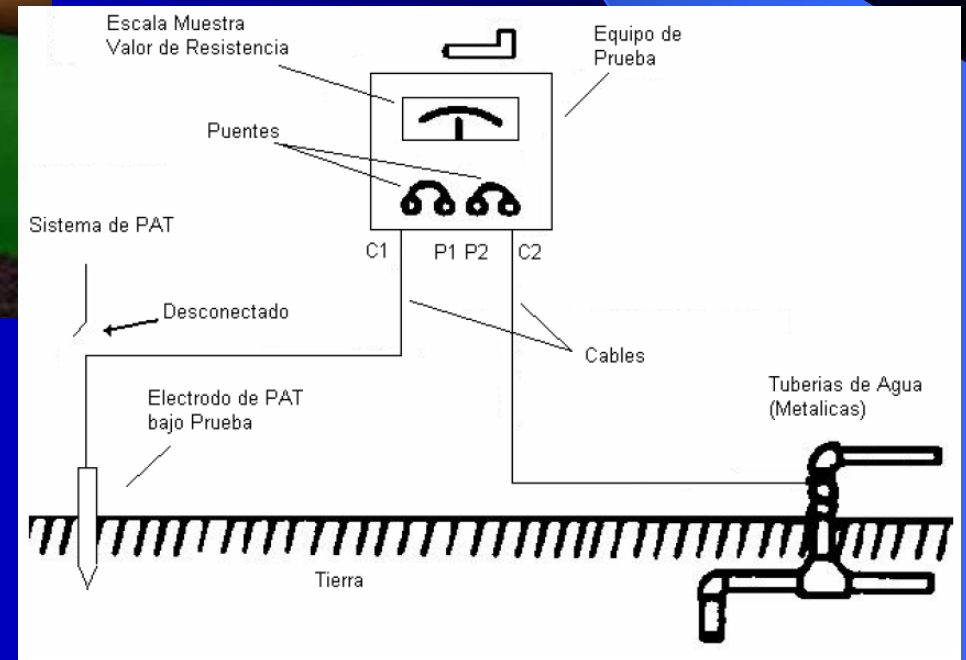
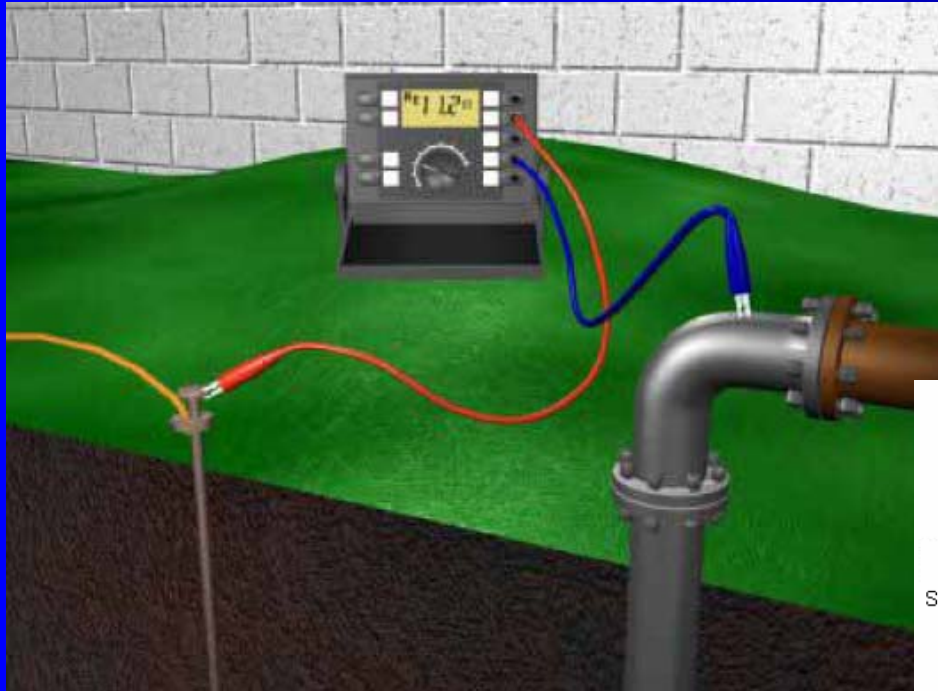


# Método dos quatro eletrodos de Wenner



$$\rho_a = \frac{4\pi a \cdot r}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}} \quad [\Omega\text{m}] \quad \text{ou} \quad \rho_a \cong 2\pi a \cdot r \quad [\Omega\text{m}]$$

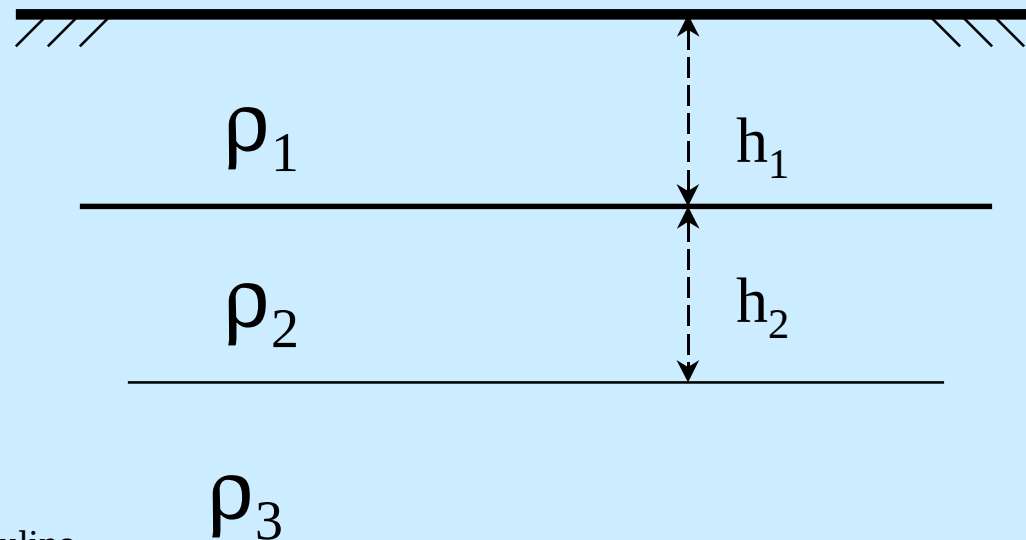
# Método dos dois Pontos



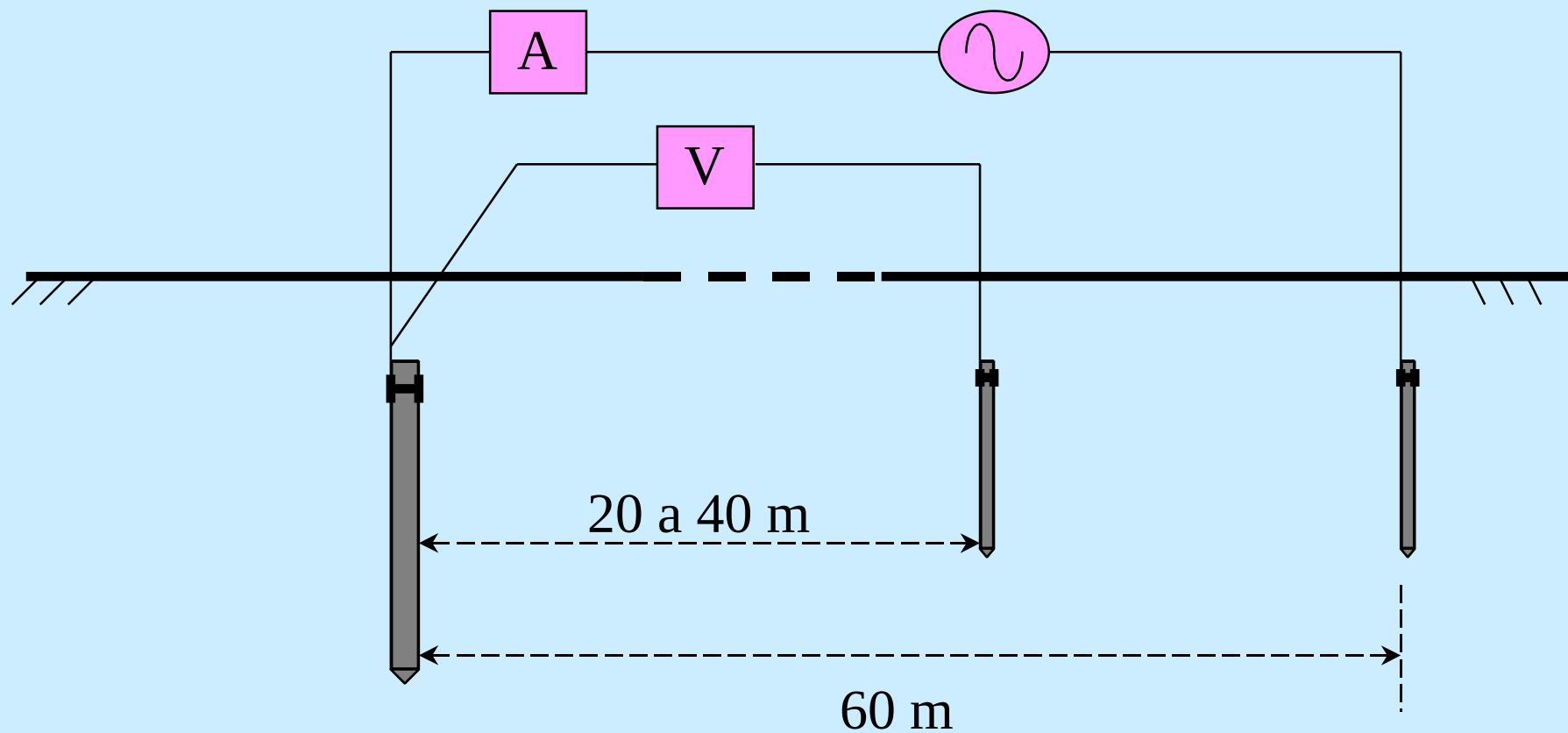
# Medição da resistividade do solo

Solo de mais de uma camada: método gráfico

$a = 2, 4, 6, 8, 16, 32, 64$  e  $128$  m.



# Medição da resistência de aterramento.

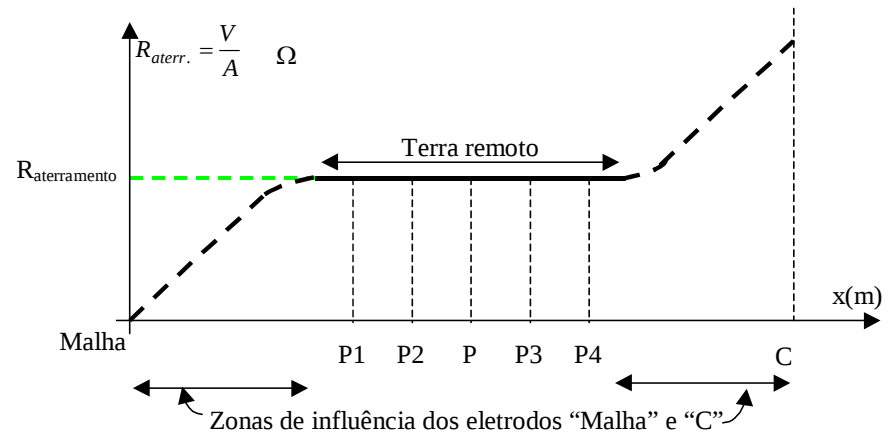
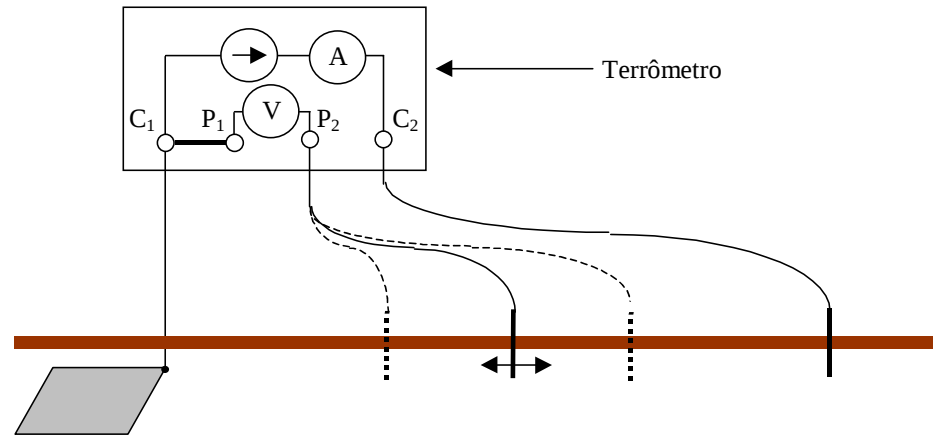


# Empregando telurímetro (terrômetro)

Distância eletrodo- $C_2$   
maior que  $6D$

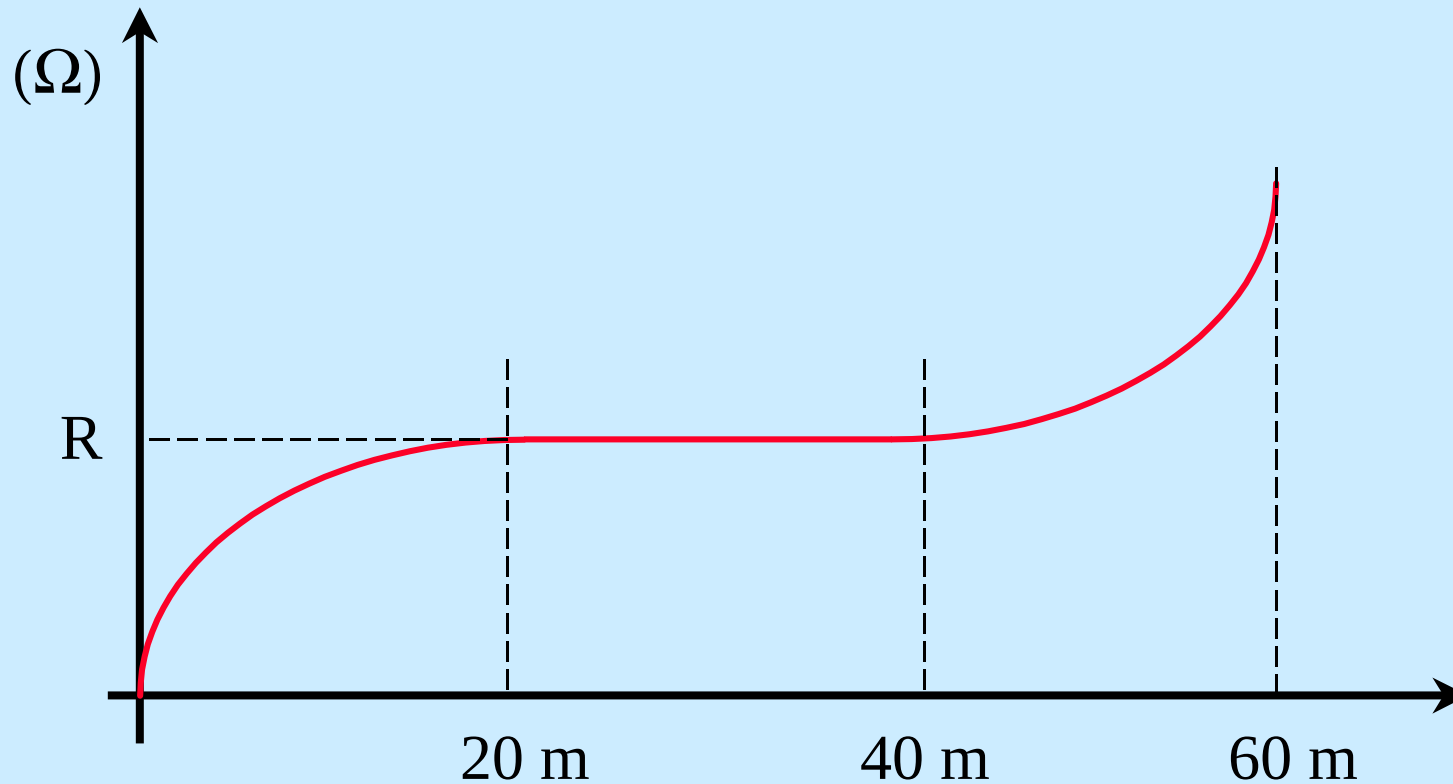
$D$ -maior dimensão do  
eletrodo

Corrente de medição de  
5 mA até 40 mA

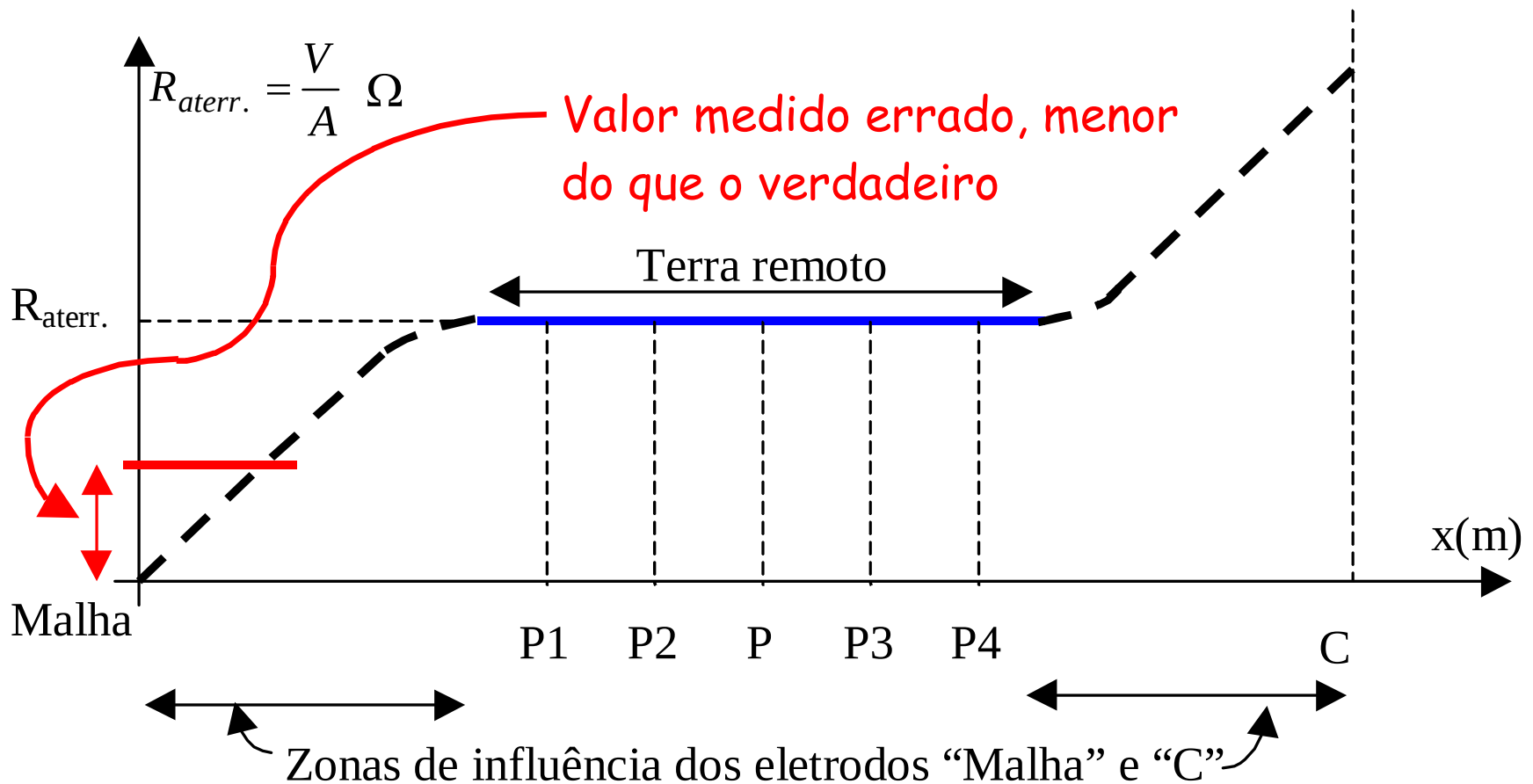


# Medição da resistência de aterramento.

---



Erro mais comum (medida desejada pelo cliente)  
distância entre o eletrodo medido e C, **insuficiente**



Ex.:

1 haste :

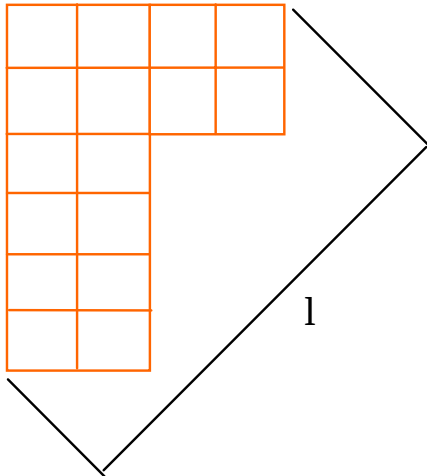


$$D \geq 6 \cdot l$$

$$R_h = \frac{\rho_s}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4l}{d} \quad (\Omega)$$

$d$  : diâmetro da haste

Malha:



$$D \geq 6 \cdot l$$

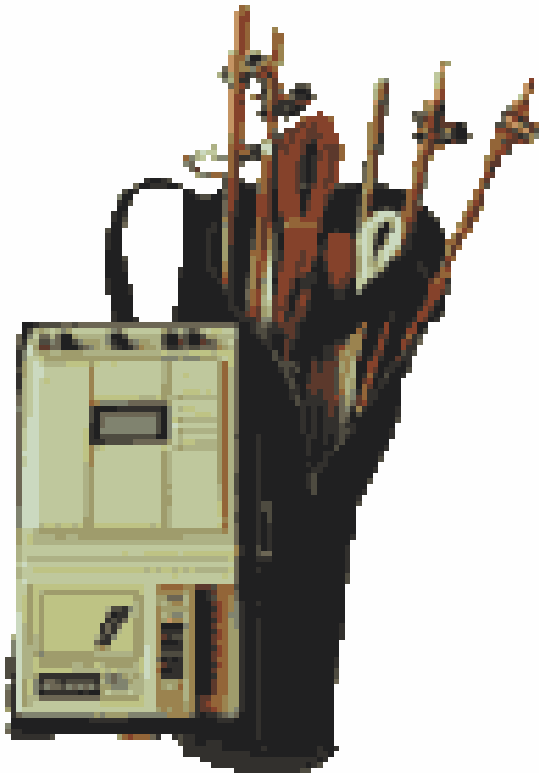
$$R_m = 0,443 \frac{\rho_{solo}}{\sqrt{A}} + \frac{\rho_{solo}}{L} \quad (\Omega)$$

$$A = \text{area} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$L = \sum \text{condutores (m)}$$

## MTD-20KW

Digital. De 3½ dígitos. Mede resistência de aterramento, tensões espúrias e resistividade específica do terreno pelo método de Wenner. Sistema automático de controle de corrente injetada no terreno. Alarme indicador de corrente insuficiente.



**Escala:** 0-20/200/2.000/20.000  $\Omega$

**Exatidão:** 1% do valor lido  $\pm 1\%$  do fundo de escala.

**Resolução:** 0,01  $\Omega$

**Alimentação:** 9 pilhas grandes

**Tamanho:** 290 x 155 x 130mm

**Peso:** 2,1kg (3,6kg)

# EXEMPLO DE TELURÍMETRO COMERCIAL



3 terminais

universal  
(4 terminais)



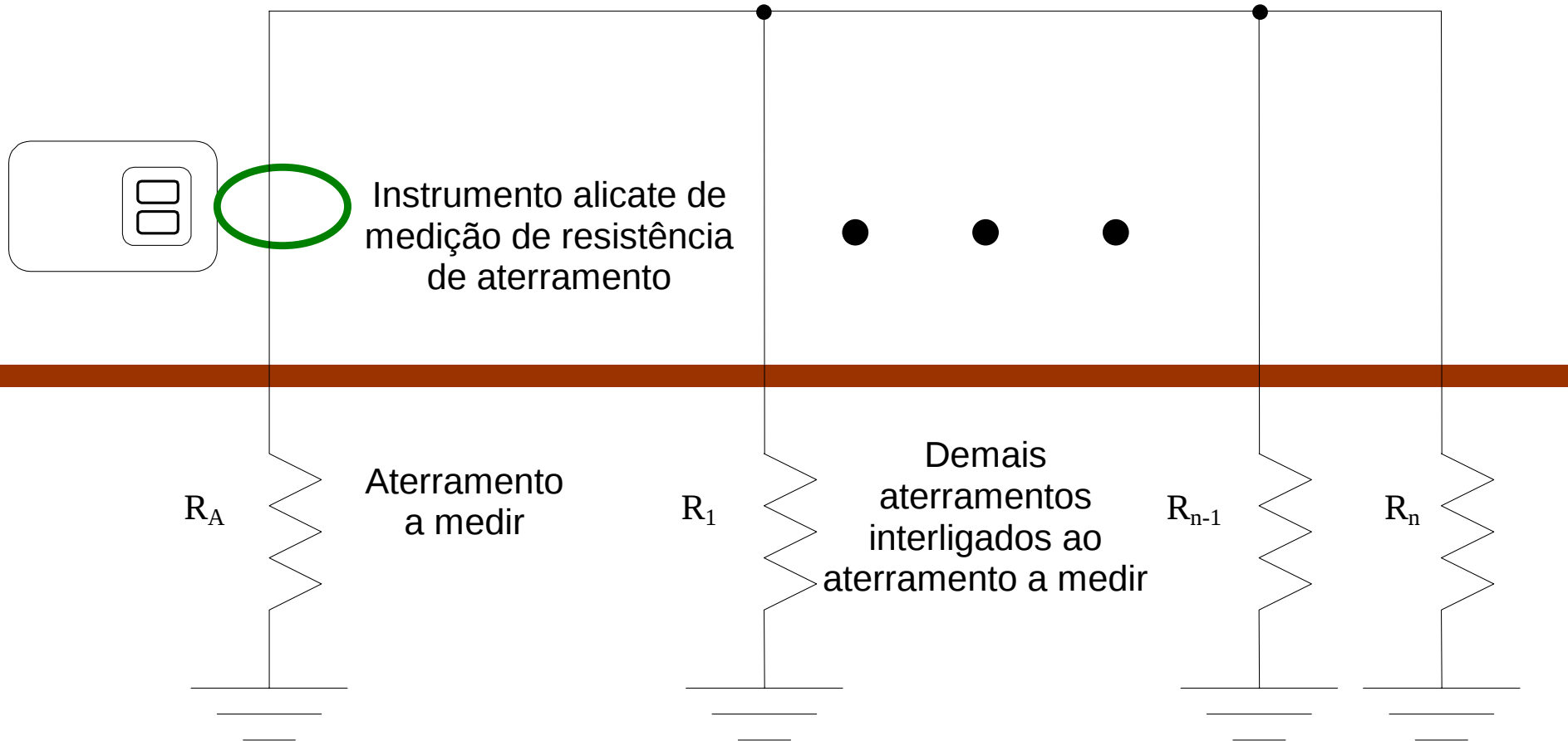
## Limitações

Se a resistência (impedância) das conexões ou dos aterramentos for muito grande, apresenta indicação de OUT OF RANGE

Pode sofrer interferências de correntes espúrias no solo

# Empregando alicate de terra

Cabos de conexão considerados com resistência desprezível



Equação de definição da resistência de aterramento medida  $R_A$

$$R_M = R_A + \underbrace{\left( \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_{n-1}} + \frac{1}{R_n} \right)^{-1}}_{\text{erro do método de medição}}$$

|           |                                           |
|-----------|-------------------------------------------|
| $R_M$     | resistência do aterramento medido         |
| $R_A$     | resistência do aterramento em análise     |
| $R_1$     | resistência do aterramento 1 (qualquer)   |
| $R_{n-1}$ | resistência do aterramento n-1 (qualquer) |
| $R_n$     | resistência do aterramento n (qualquer)   |

# EXEMPLO DE ALICATE DE ATERRAMENTO COMERCIAL



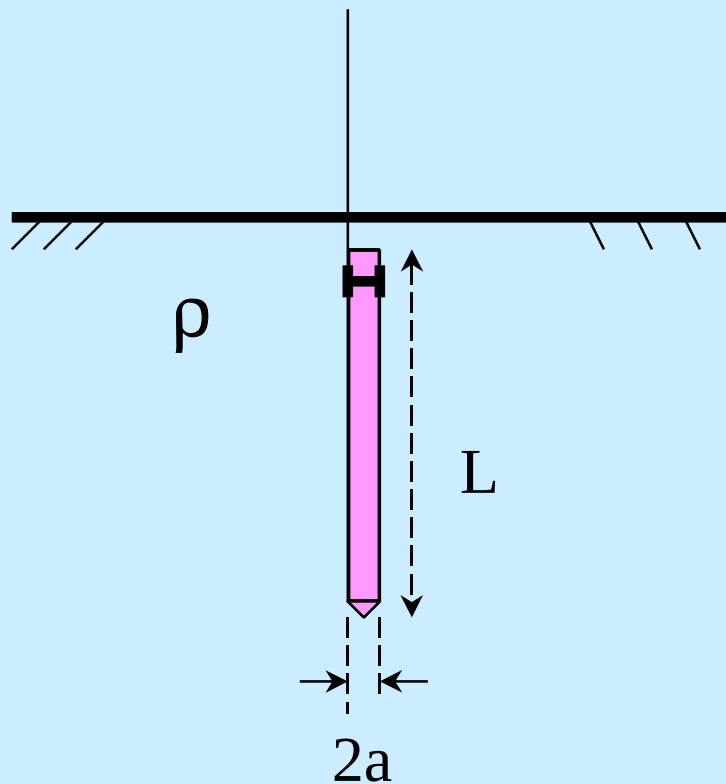
## Limitações

Só pode ser aplicado em sistema multi-aterrados

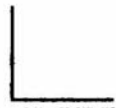
Se a resistência (impedância) das conexões ou dos aterramentos for muito grande, apresenta indicação de OUT OF RANGE

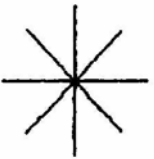
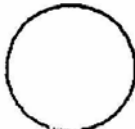
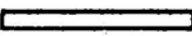
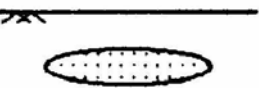
## Cálculo do valor da resistência de aterramento.

---



$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left( \ln \frac{4 \cdot L}{a} - 1 \right)$$

| Item | Geometria                                                                           | Resistência de aterramento [ $\Omega$ ]                                                                                                                            |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a    |    | $R = \frac{\rho}{2\pi a}$                                                                                                                                          |
| b    |    | $R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$                                                                                                      |
| c    |    | $R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left( 1 - \frac{L^2}{3s^8} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right)$                  |
| d    |    | $R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$                     |
| e    |    | $R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$                     |
| f    |    | $R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0,2373 + 0,2146 \frac{s}{L} + 0,1035 \frac{s^4}{L^2} - 0,0424 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$ |
| g    |    | $R = \frac{\rho}{6\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 1,071 - 0,209 \frac{s}{L} + 0,238 \frac{s^3}{L^8} - 0,054 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$     |
| h    |   | $R = \frac{\rho}{8\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2,912 - 1,071 \frac{s}{L} + 0,645 \frac{s^3}{L^8} - 0,145 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$     |
| i    |  | $R = \frac{\rho}{12\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 6,851 - 3,128 \frac{s}{L} + 1,758 \frac{s^2}{L^3} - 0,490 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$    |

| Item | Geometria                                                                         | Resistência de aterramento [ $\Omega$ ]                                                                                                                                        |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| j    |  | $R = \frac{\rho}{16\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 10,98 - 5,51 \frac{s}{L} + 3,26 \frac{s^3}{L^3} - 1,17 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$                   |
| k    |  | $R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{s} \right)$                                                                                                   |
| l    |  | $R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$ |
| m    |  | $R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left( 1 - \frac{7a^2}{12s^2} + \frac{33a^4}{40s^4} \dots \right)$                                                                  |
| n    |  | $R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left( 1 - \frac{7a^2}{12s^2} + \frac{99a^4}{320s^4} \dots \right)$                                                                 |

† Approximate formulas, including effects of images. Dimensions must be in centimeters to give resistance in ohms.

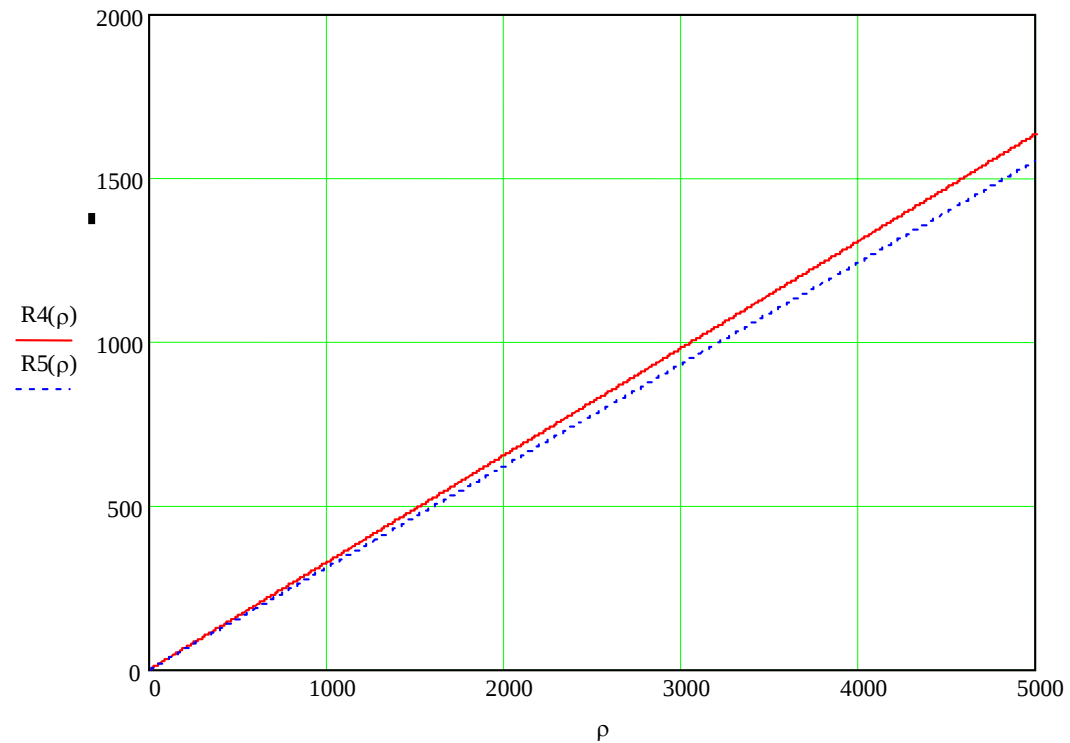
$\rho$  = resistivity of earth in ohm-centimeters.

For 10 ft (3 m) rods of  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{5}{8}$ , and  $\frac{3}{4}$  in (12.7, 15.88, and 19.05 mm) diameters, the grounding resistance may be quickly determined by dividing the soil resistivity  $\rho$ ,  $\Omega \cdot \text{cm}$ , by 292, 302, and 311, respectively.

# Duas equações para a resistência de uma haste

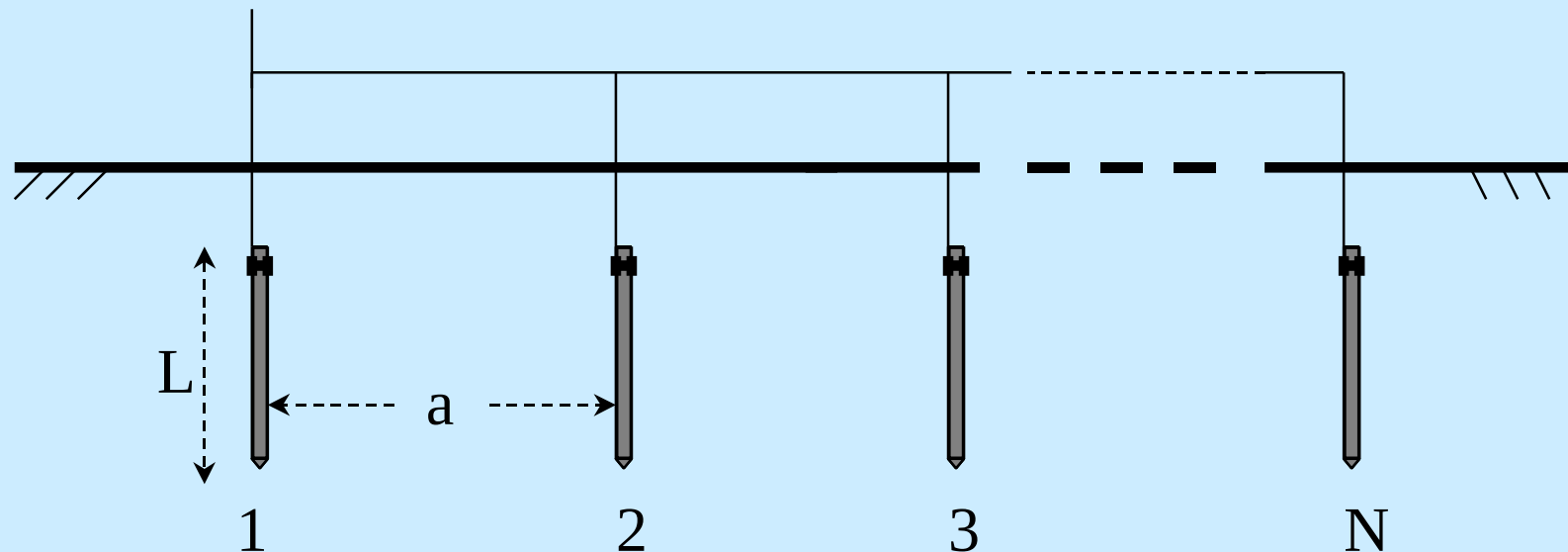
$$R_4 = \frac{\rho_s}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4l}{d} \quad (\Omega)$$

$$R_5 = \frac{\rho_s}{2\pi l} \left( \log_e \frac{4l}{a} - 1 \right) \quad (\Omega)$$



Diferença inferior a 6 %

## Cálculo do valor da resistência de aterramento.



| N | K    |
|---|------|
| 2 | 1,16 |
| 3 | 1,19 |
| 4 | 1,36 |
| 8 | 1,68 |

$$a > L$$

$$R_{eq} = (R/N).K$$

# Resistência de aterramento de sistemas multi hastes

## Multiplying Factors for Multiple Rods

| Number of Rods | <i>F</i> |
|----------------|----------|
| 2              | 1.16     |
| 3              | 1.29     |
| 4              | 1.36     |
| 8              | 1.68     |
| 12             | 1.80     |
| 16             | 1.92     |
| 20             | 2.00     |
| 24             | 2.16     |

A useful rule is that grounding systems of 2-24 rods placed one rod length apart in a line, hollow triangle, circle, or square will provide a grounding resistance equal to the single-rod resistance divided by the number of rods and multiplied by the factor *F*

$$R_{\text{total}} = R_{\text{haste}} \times F / \text{Número de hastes}$$

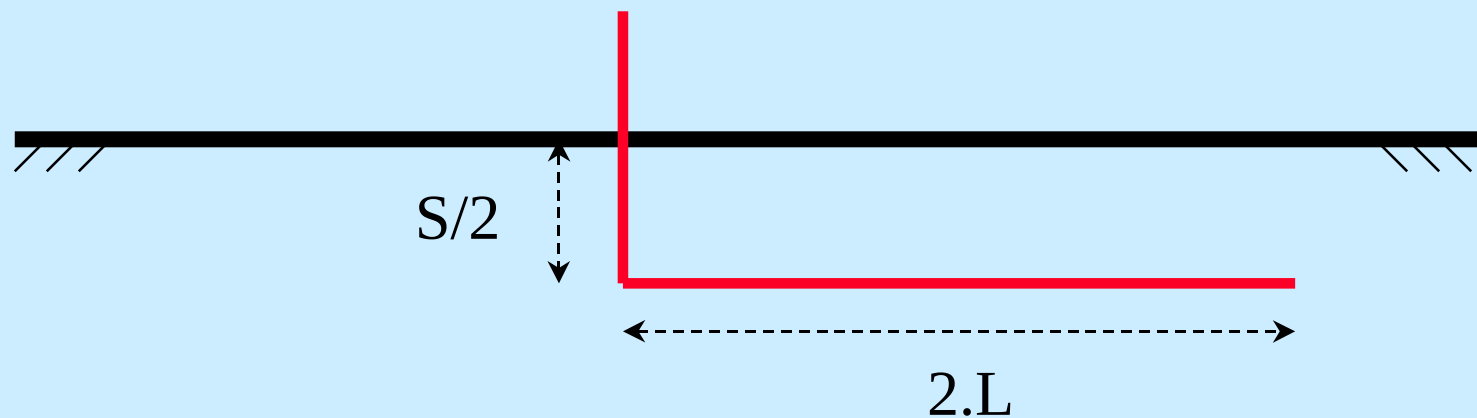
## Resistência de uma haste em solo estratificado em duas camadas

$$R = \frac{\rho_1}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{2l}{r} + \sum_{n=1}^{\infty} K^n \cdot \ln \frac{2nh + l}{2nh - l}$$

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

$l$  comprimento da haste  
 $r$  raio geométrico da haste  
 $h$  profundidade da primeira camada

## Cálculo do valor da resistência de aterramento.

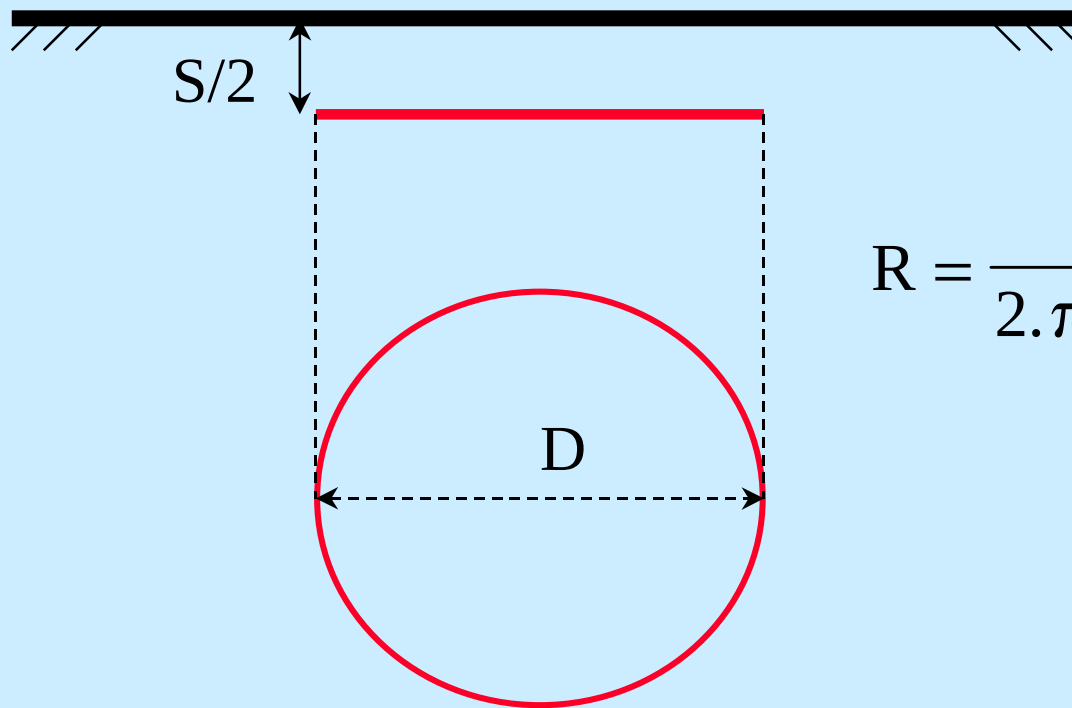


$$R = \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left( \ln \frac{4 \cdot L}{a} + \ln \frac{4 \cdot L}{S} - 2 + \frac{S}{2 \cdot L} - \frac{S^2}{16 \cdot L^2} + \frac{S^4}{512 \cdot L^4} \dots \right)$$

## Cálculo do valor da resistência de aterramento.

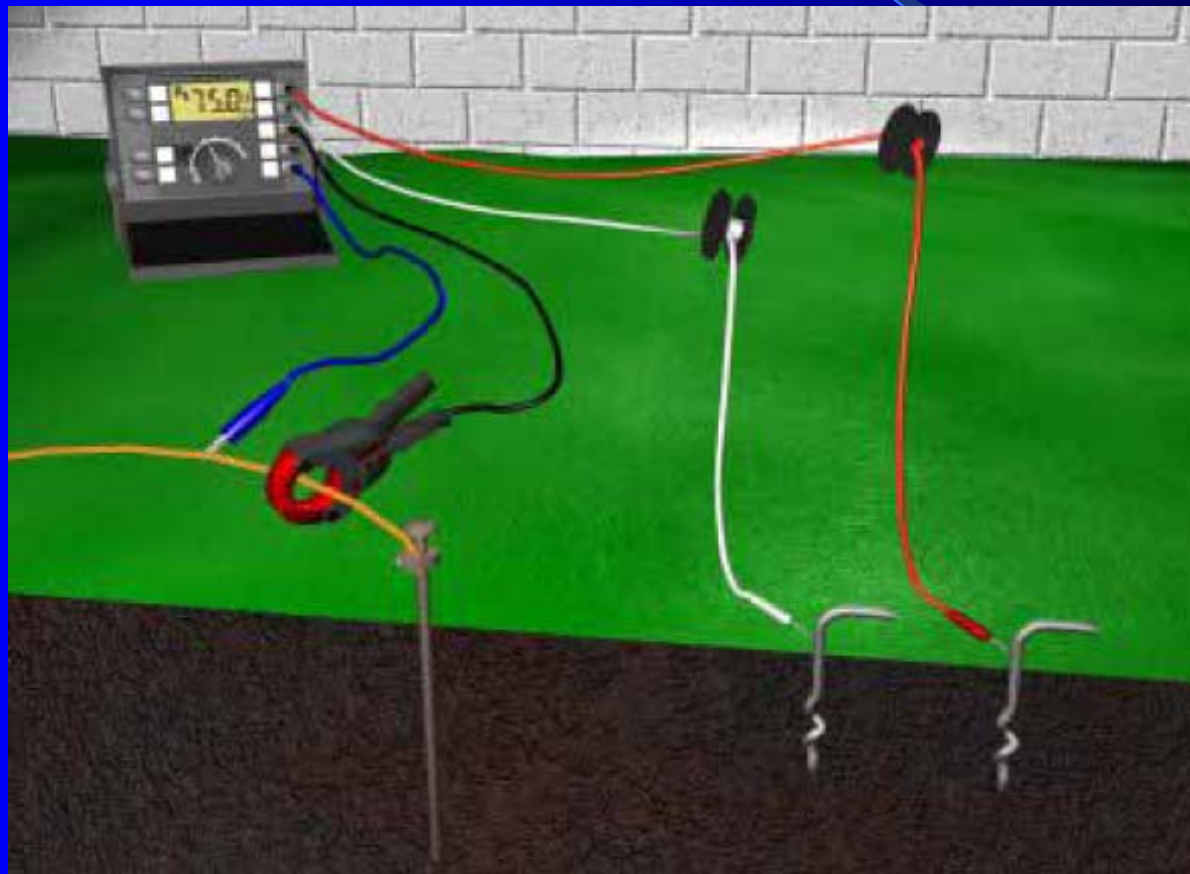
---

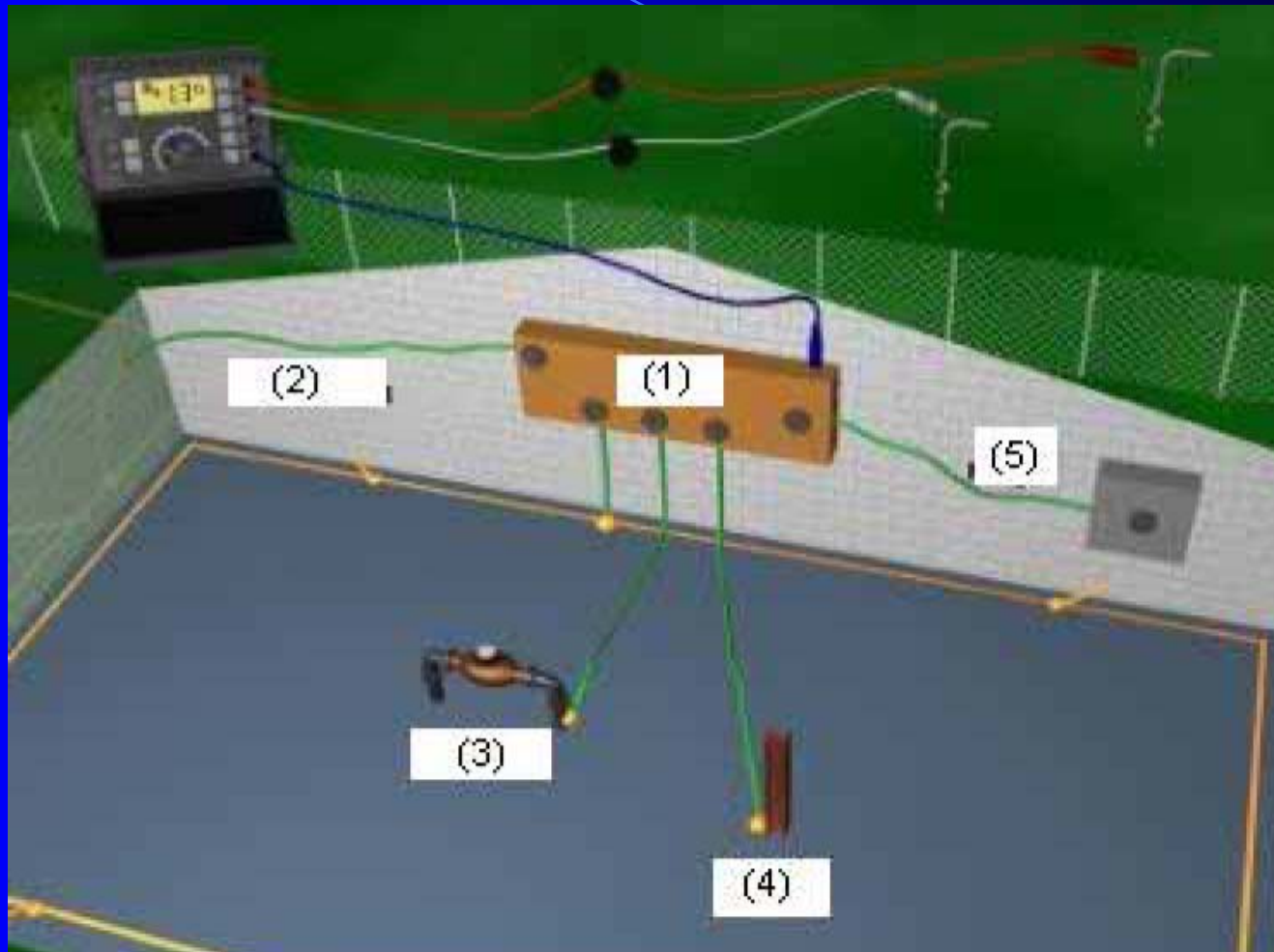
Anel: diâmetro do fio =  $d$

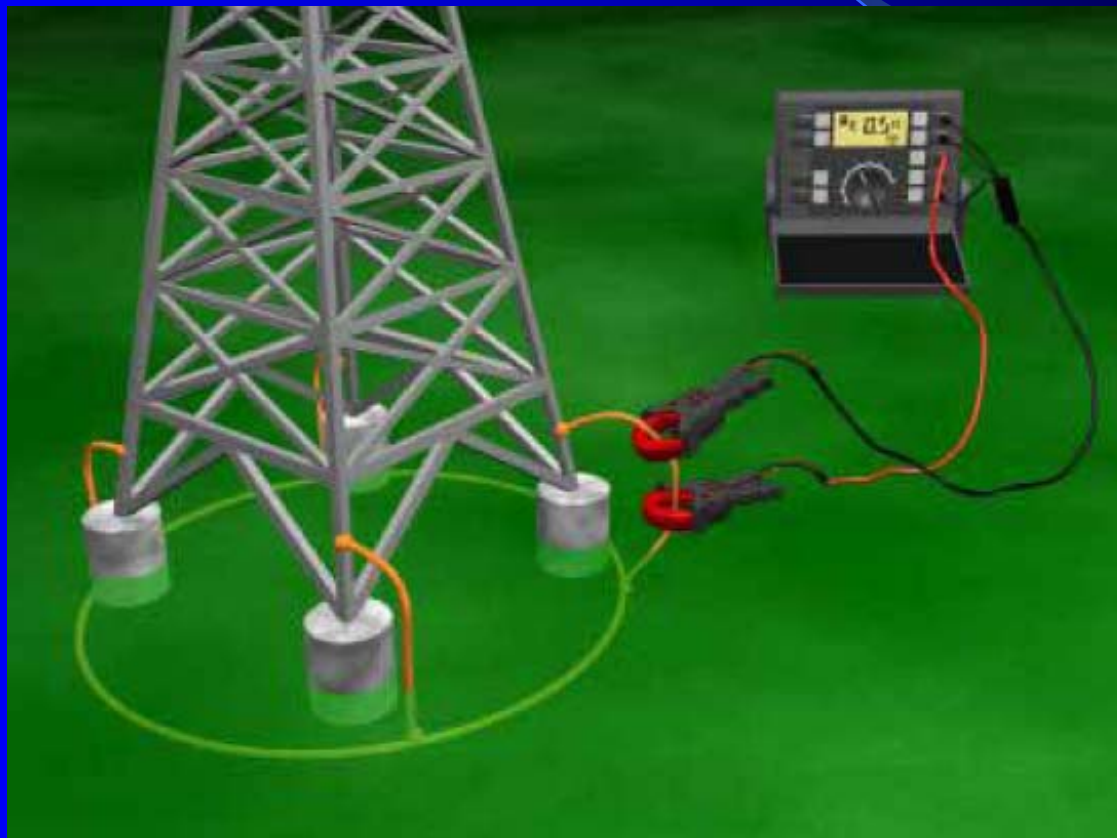


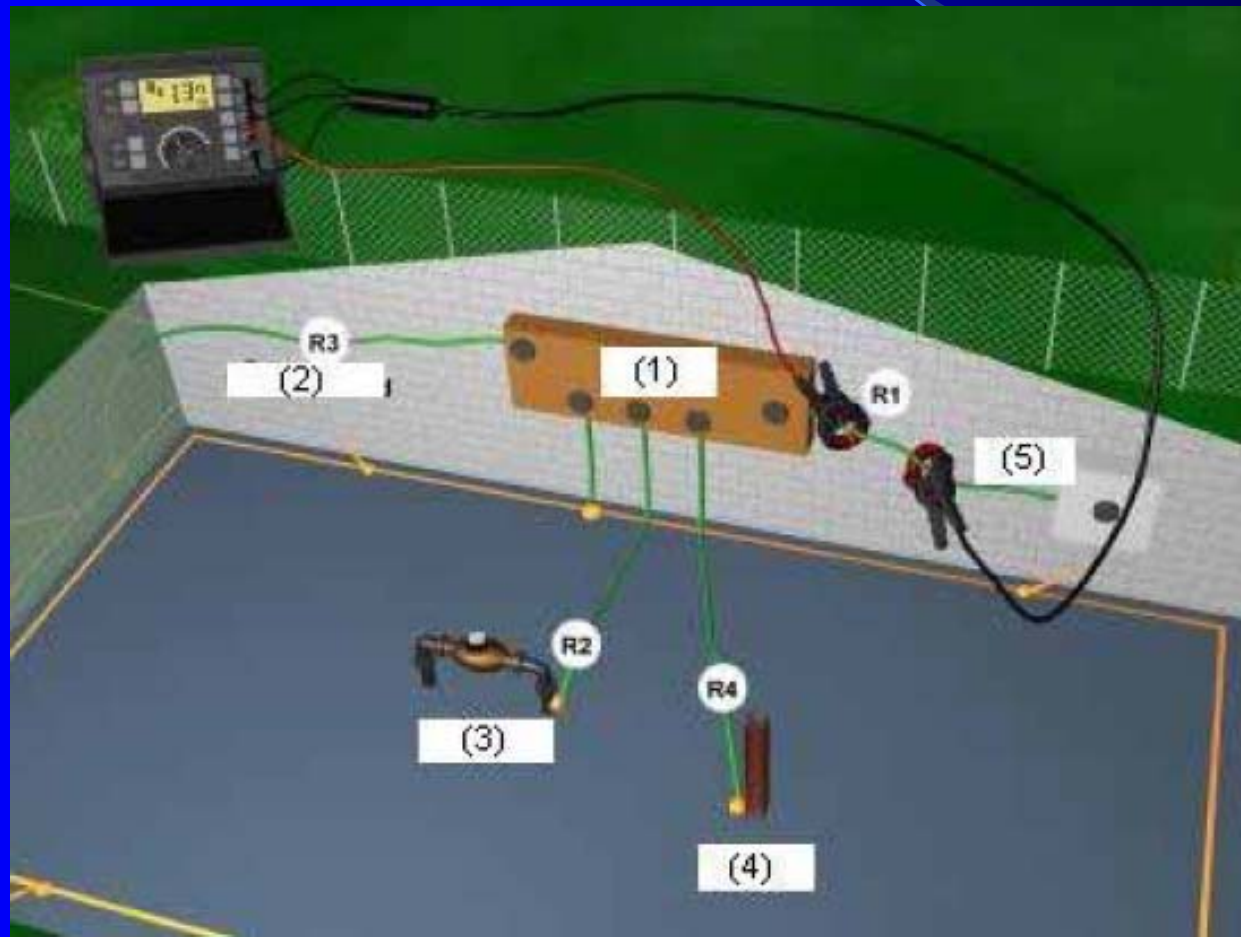
$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi^2 \cdot D} \cdot \left( \ln \frac{8 \cdot D}{d} + \ln \frac{4 \cdot D}{S} \right)$$

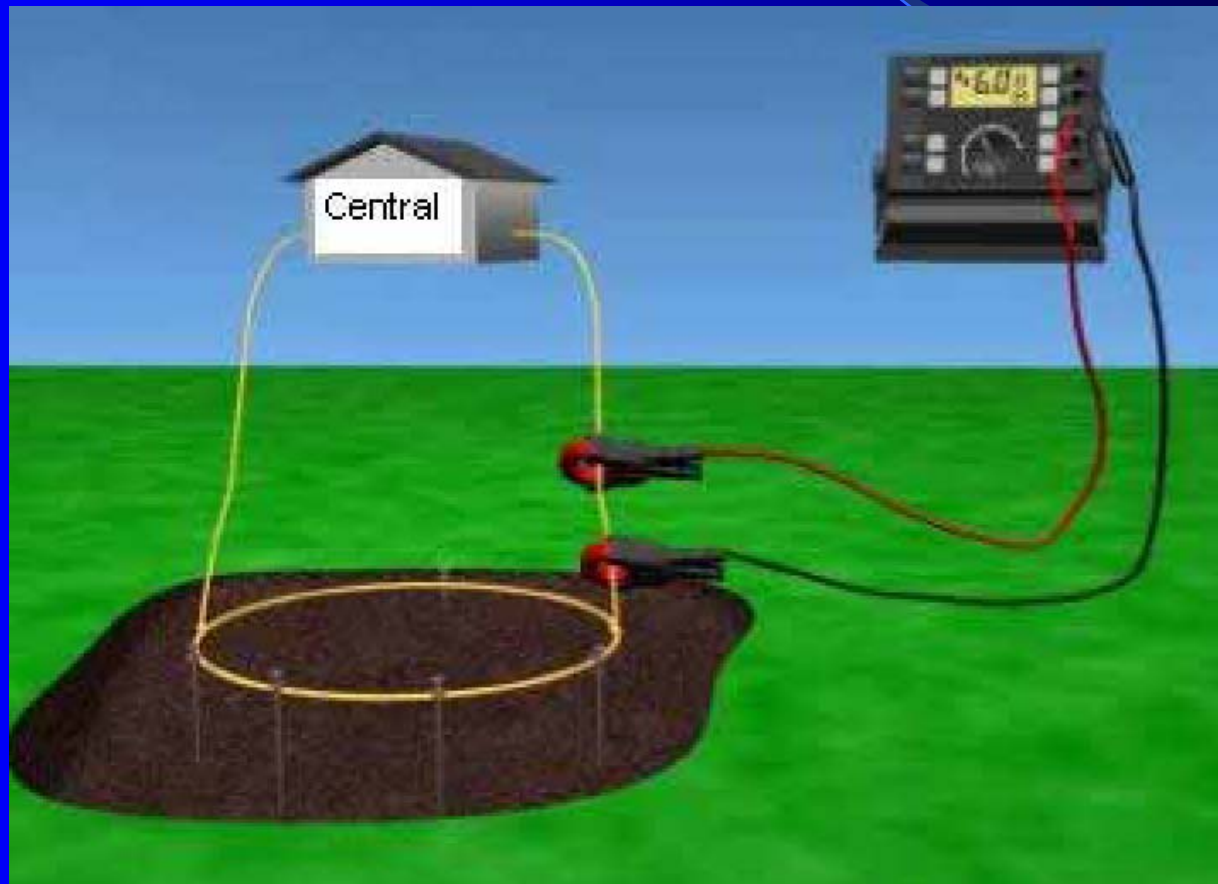
# Método Seletivo com uso de Alicate Amperímetro

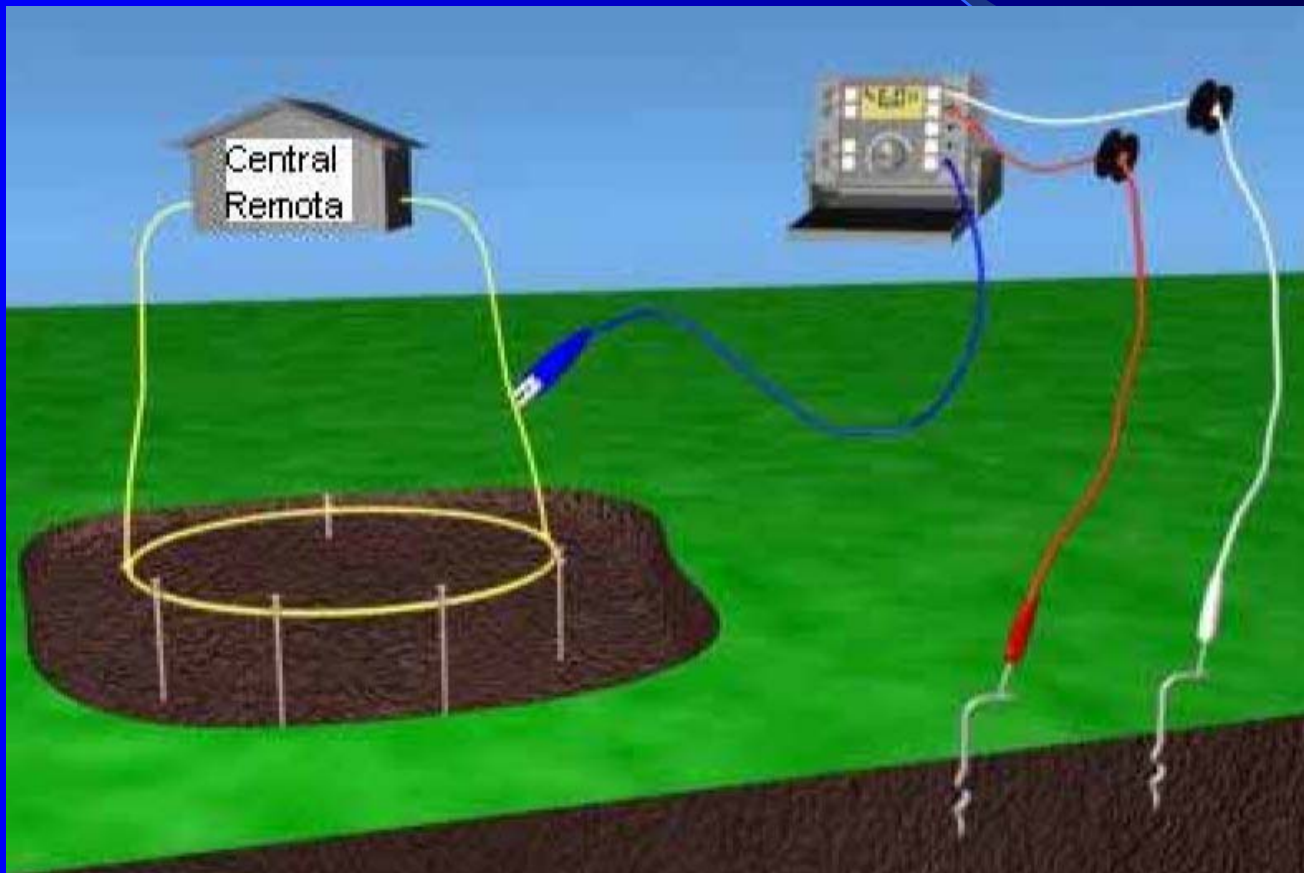


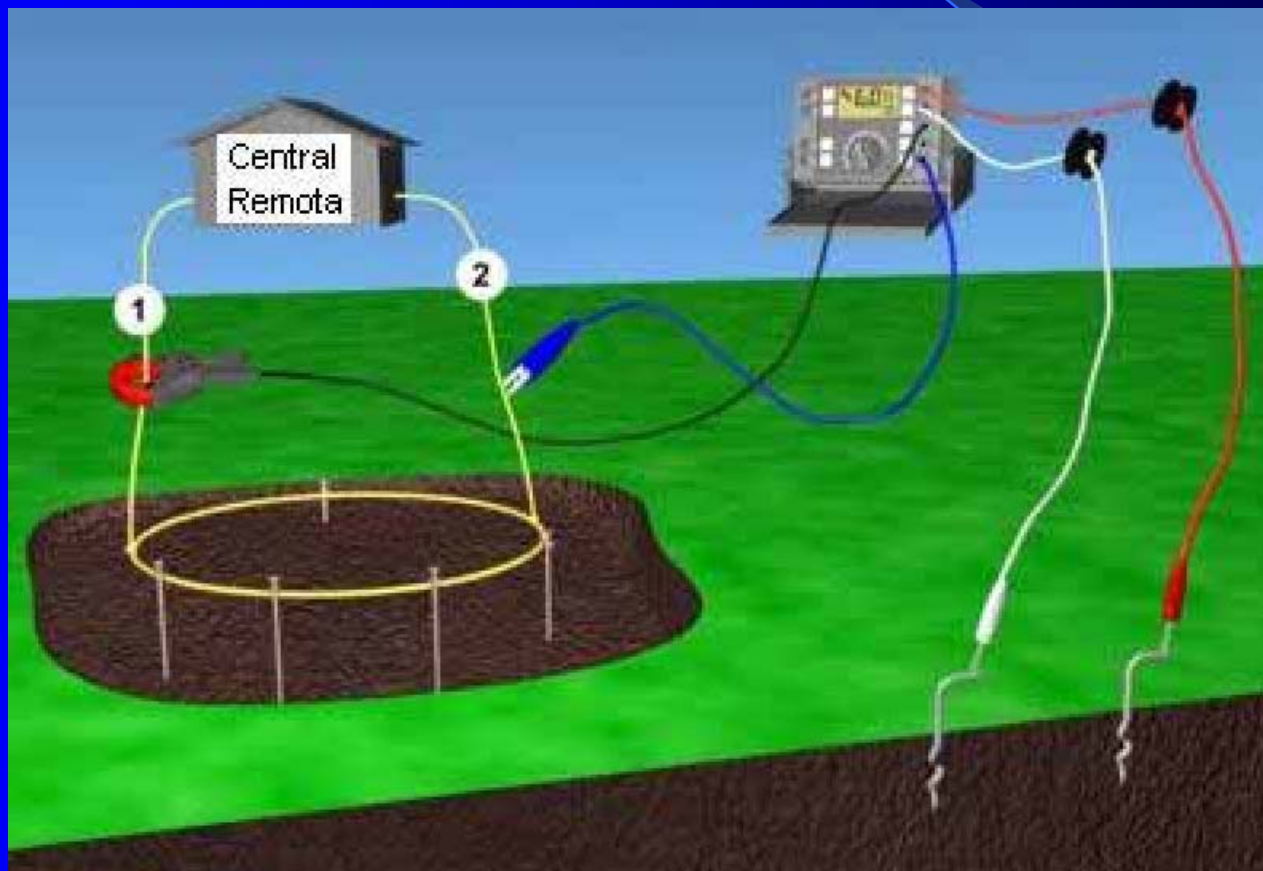




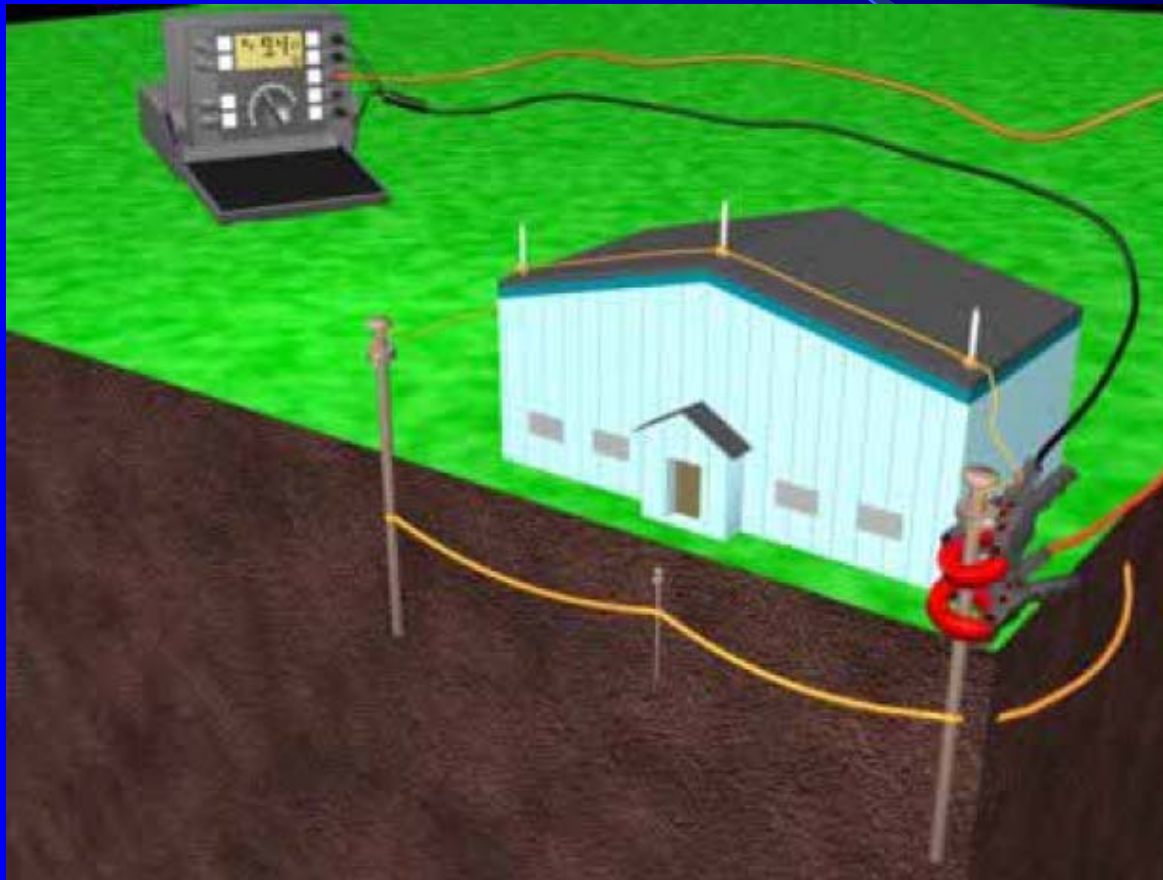




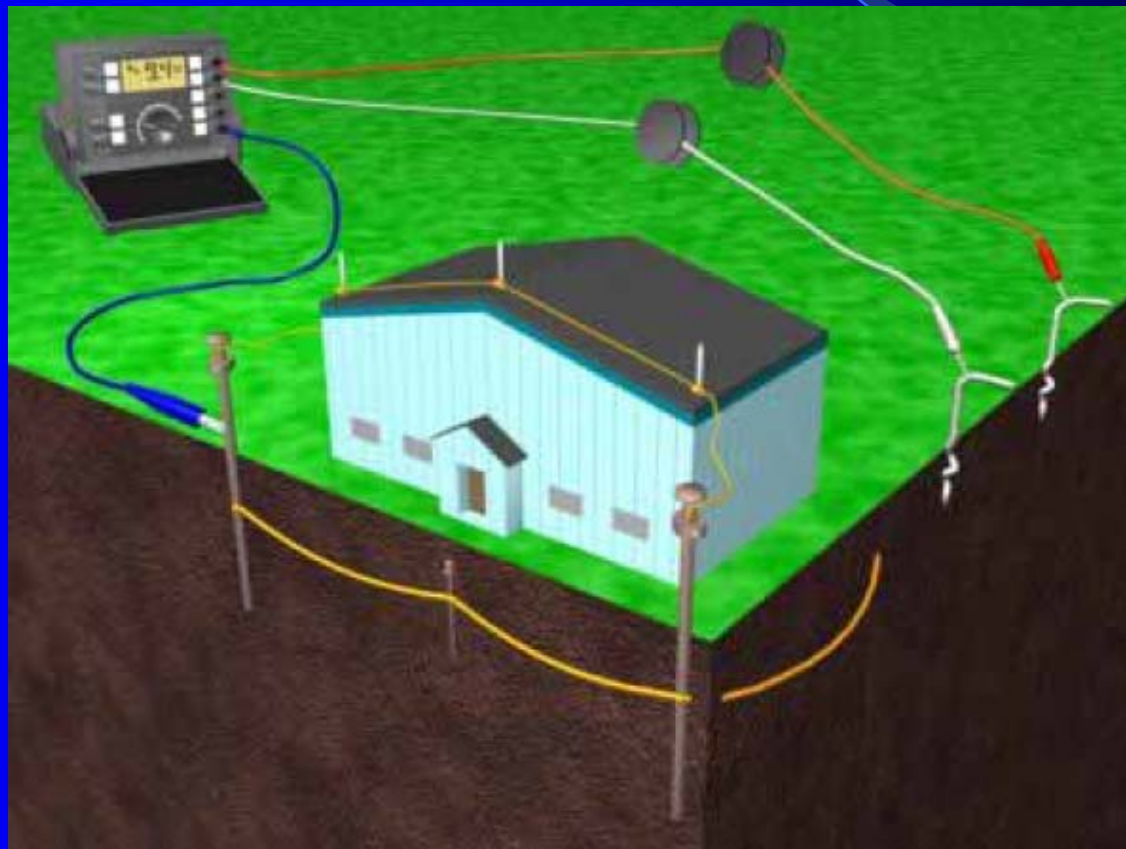




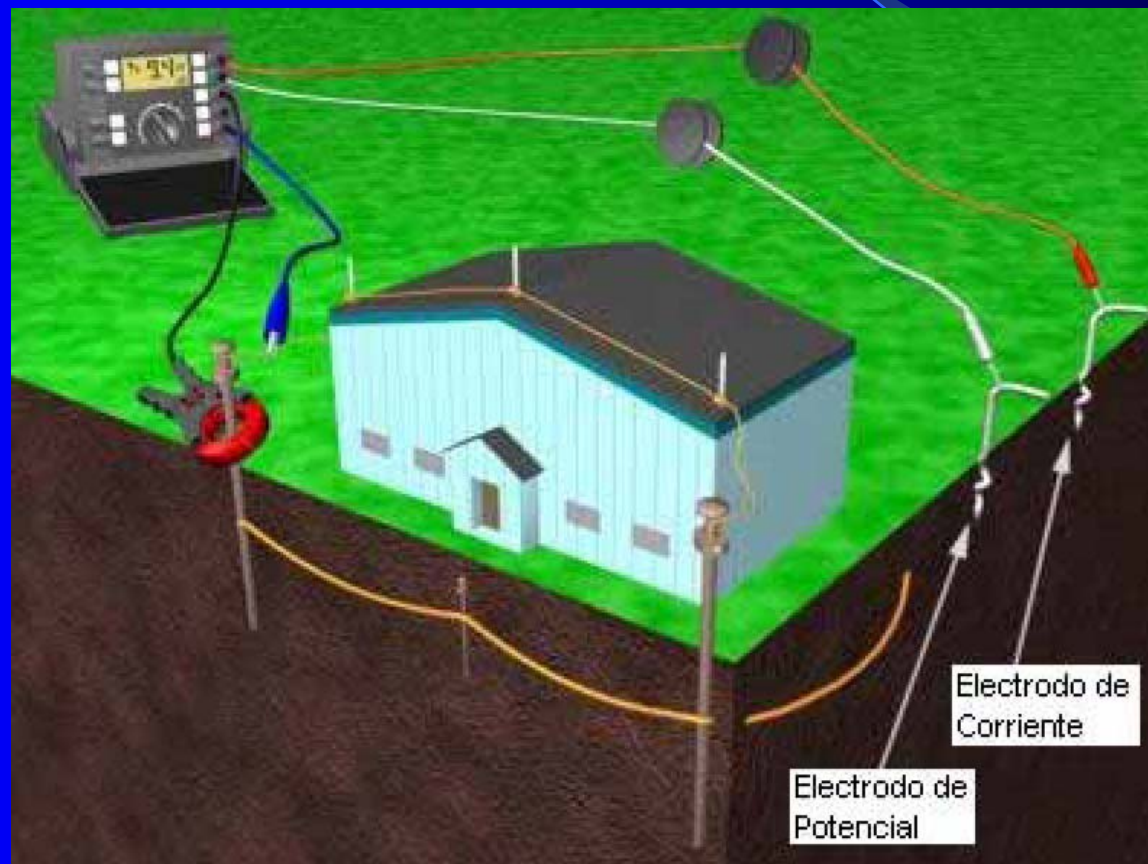
# Aplicação dos métodos a SPDA



# Aplicação dos métodos a SPDA



# Aplicação dos métodos a SPDA



Resistividad  
( $\Omega\cdot m$ )

10 000

5000

1000

500

100

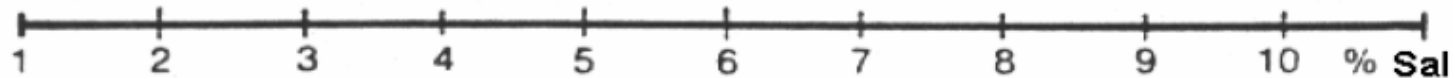
50

Curva 2

Curva 1

Curva 3

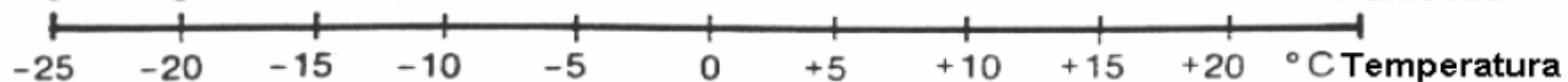
Curva 1



Curva 2



Curva 3



### Rangos de resistividad de la Tierra

| Tipo de tierra        | Resistividad promedio ( $\Omega.m$ ) |
|-----------------------|--------------------------------------|
| Suelo orgánico húmedo | 10                                   |
| Suelo húmedo          | $10^2$                               |
| Suelo seco            | $10^3$                               |
| Roca                  | $10^4$                               |

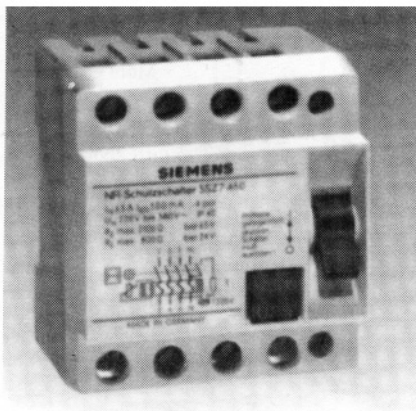
### Resistividad de materiales superficiales característicos

| Número | Descripción del material de superficie                  | Resistividad de la muestra $\Omega.m$          |                                                        |
|--------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|        |                                                         | Seco                                           | Húmedo                                                 |
| 1      | Granito                                                 | $140 \times 10^6$                              | 1300 (agua superficial, 45 $\Omega.m$ )                |
| 2      | Granito molido 1.5 pulg. (0.04 mts.)                    | 4000                                           | 1200 (agua llovida, 100W)                              |
| 3      | Granito molido 0.75 – 1 pulg. (0.02 – 0.025 mts)        | -----                                          | 6513 (10 min. después de drenar agua a 45 $\Omega.m$ ) |
| 4      | Granito limpio 1 – 2 pulg. (0.025 – 0.05 mts.)          | $1.5 \times 10^6$ a $4.5 \times 10^6$          | 5000 (agua de lluvia, 100 $\Omega.m$ )                 |
| 5      | Granito limpio 2 – 4 pulg. (0.05 – 0.1 mts.)            | $2.6 \times 10^6$ a $3 \times 10^6$            | 10,000 (agua de lluvia, 100 $\Omega.m$ )               |
| 6      | Piedra caliza                                           | $7 \times 10^6$                                | 2000-3000 (agua superficial 45 $\Omega.m$ )            |
| 7      | Granito limpio similar a la grava 0.75 pulg. (0.02 mts) | $2 \times 10^6$                                | 10,000                                                 |
| 8      | Granito lavado,                                         | $10 \times 10^6$                               | 5,000                                                  |
| 9      | Granito lavado #57 (0.75plg) (0.02m)                    | $190 \times 10^6$                              | 800 (agua superficial, 45 $\Omega.m$ )                 |
| 10     | Asfalto                                                 | $2 \times 10^6$ a $30 \times 10^6$             | 10,000 a $6 \times 10^6$                               |
| 11     | Concreto                                                | $1 \times 10^6$ a $1 \times 10^9$ <sup>a</sup> | 21 a 100                                               |

# O uso dos Dispositivos DR

Lei 8078/90, art. 39-VI11, art. 12, art. 14, e norma ABNT NBR 5410/97. RESPONSABILIDADE CIVIL

- Desde dezembro de 1997, é obrigatório no Brasil, em todas as instalações elétricas, o uso do dispositivo DR (diferencial residual) nos circuitos elétricos que atendam aos seguintes locais: banheiros, cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço e áreas externas.
- O dispositivo DR é um interruptor automático que desliga correntes elétricas de pequena intensidade (da ordem de centésimos de ampère), que um disjuntor comum não consegue detectar, mas que podem ser fatais se percorrerem o corpo humano.
- Dessa forma, um completo sistema de aterramento, que proteja as pessoas de uma forma eficaz, deve conter, o dispositivo DR.



Interrupor de corrente de fuga DR, modelo 5SZ7. Fabricante Siemens.

