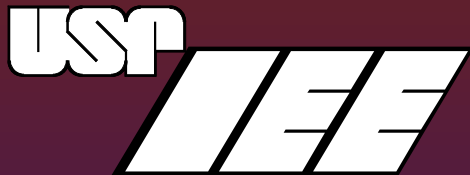


# **SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**



**SUBSISTEMA DE CAPTORES**

**SUBSISTEMA DE CONDUTORES DE DESCIDA**

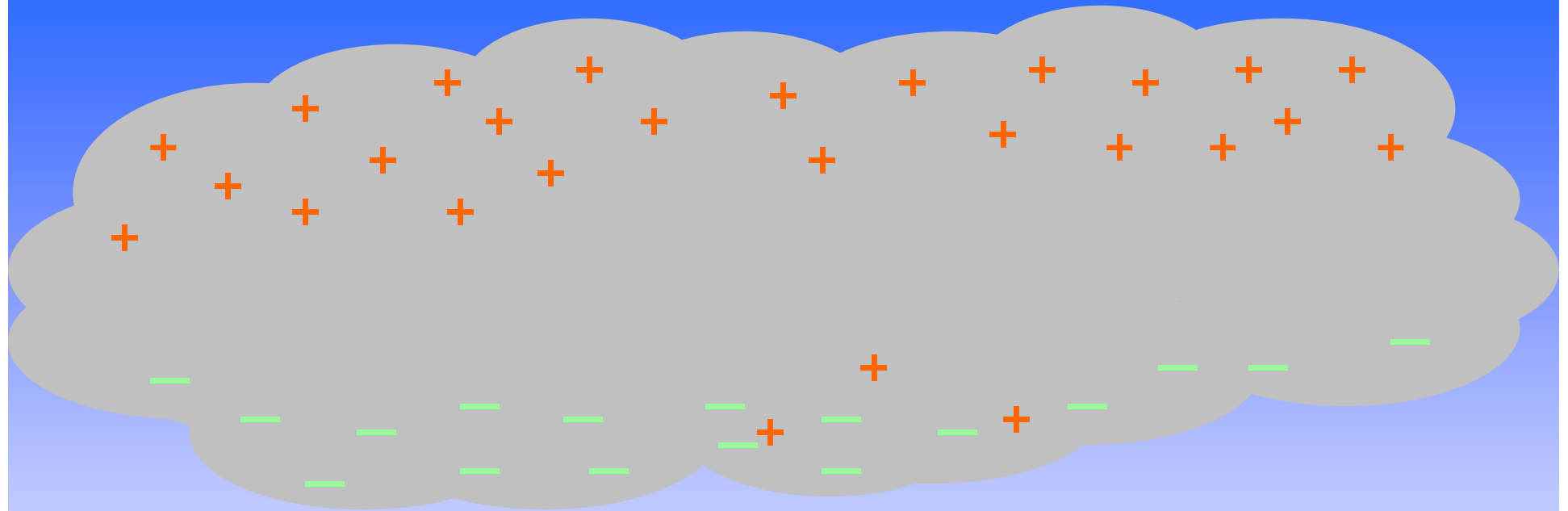
**SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO**

**EQUALIZAÇÃO DE POTENCIAL**

**DEFINIÇÃO DAS DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA**

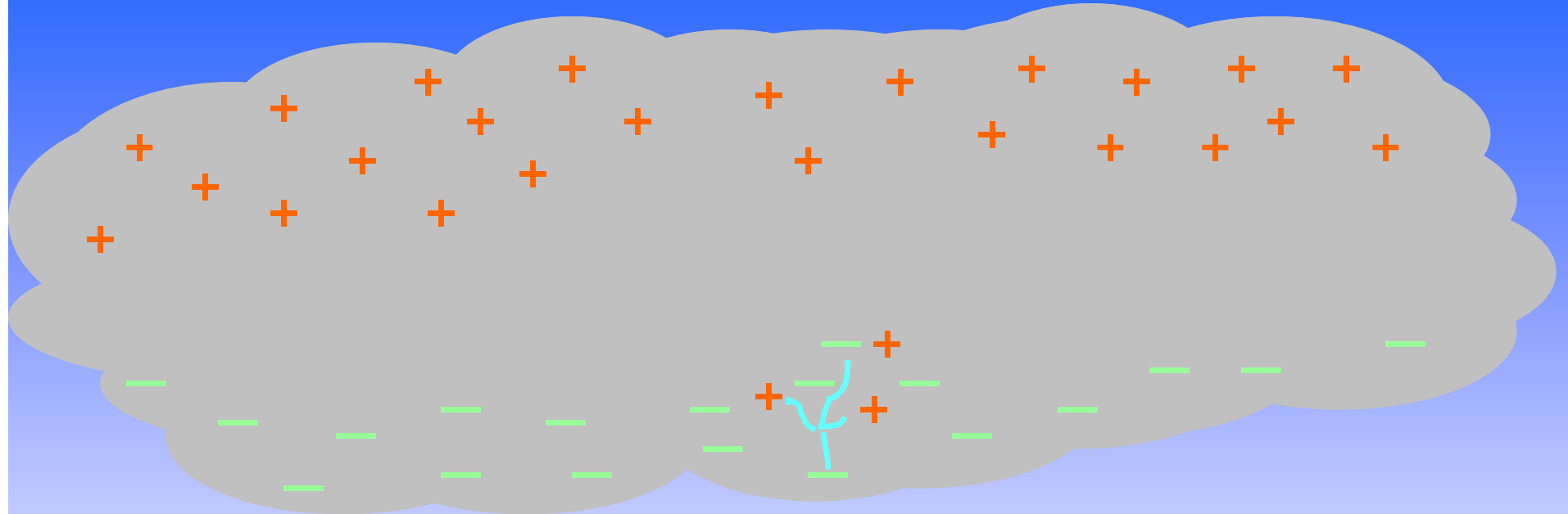
*Dr. Hélio Eiji Sueta*

# *Descarga Negativa Nuvem-Terra*

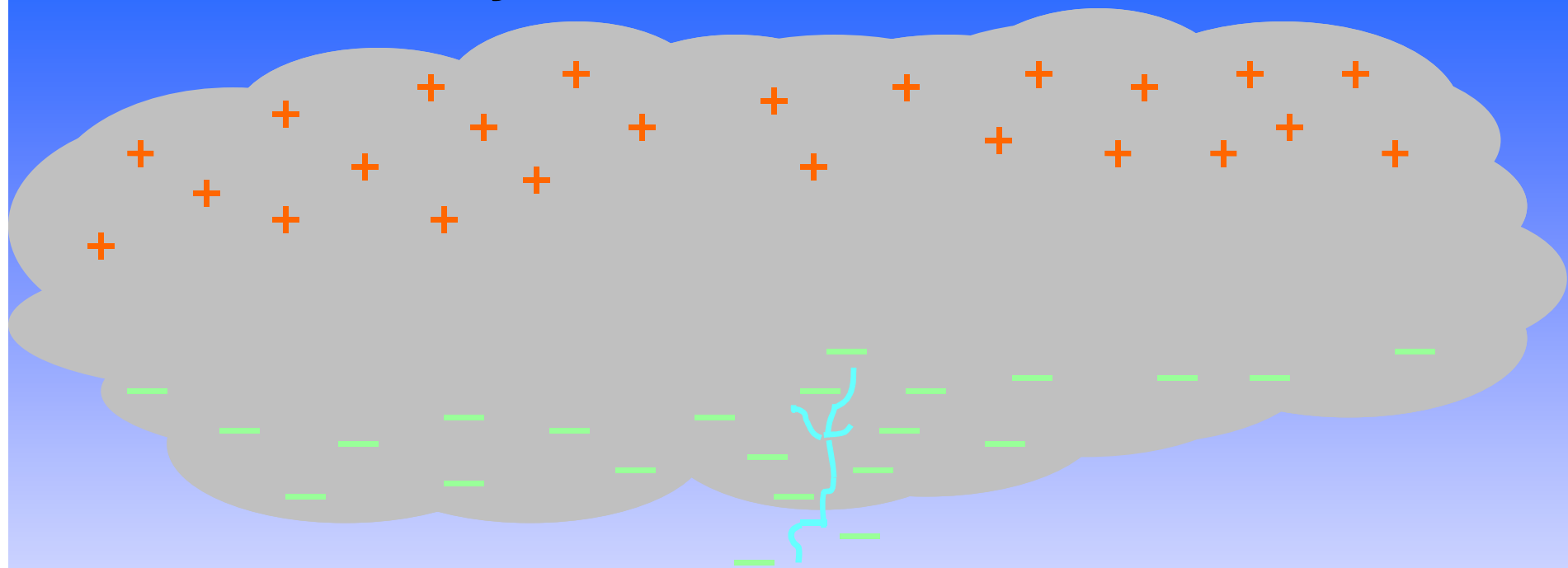


Desenho: A. Piantini

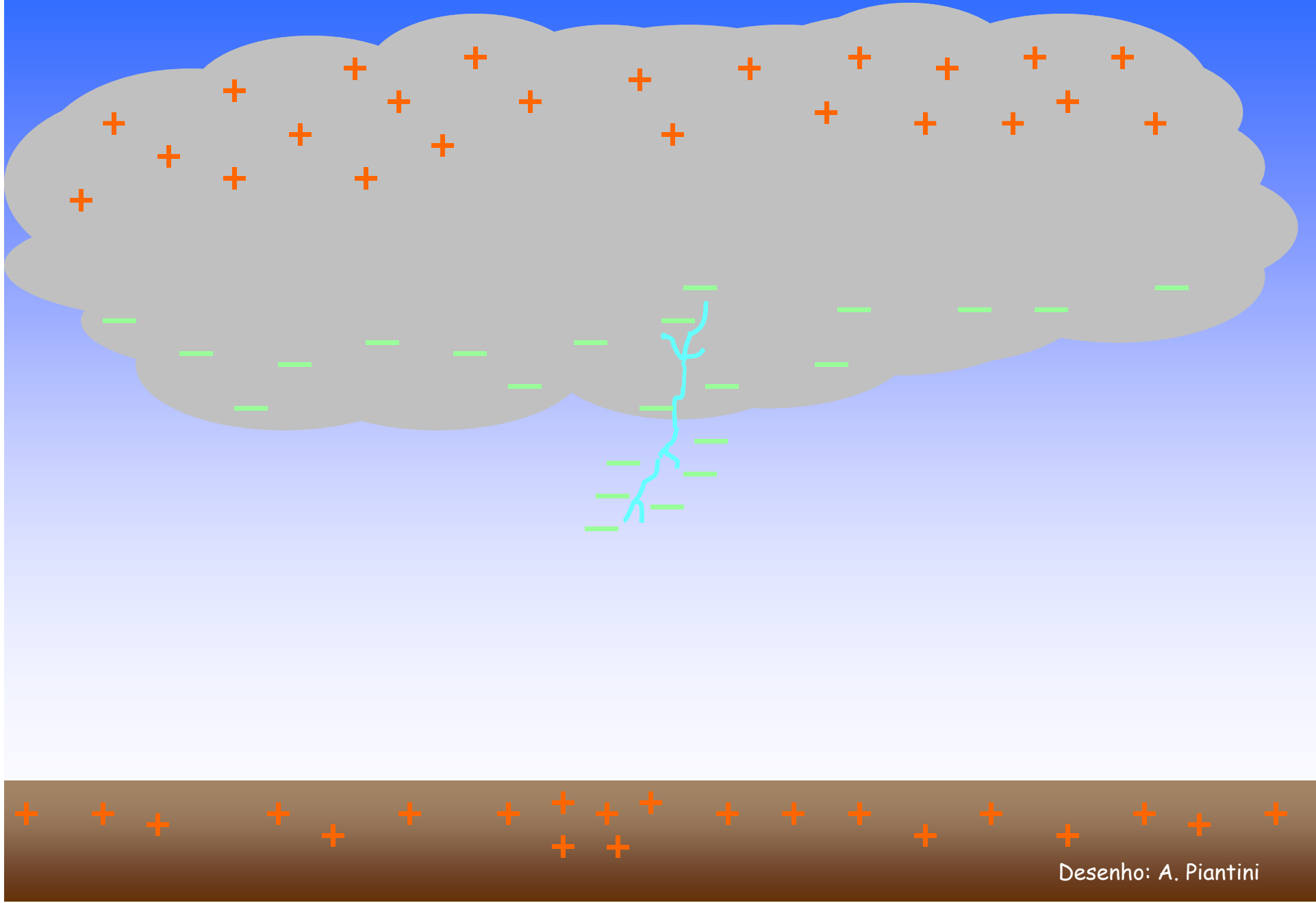
# Descarga Preliminar



## Formação do Líder (Stepped leader)

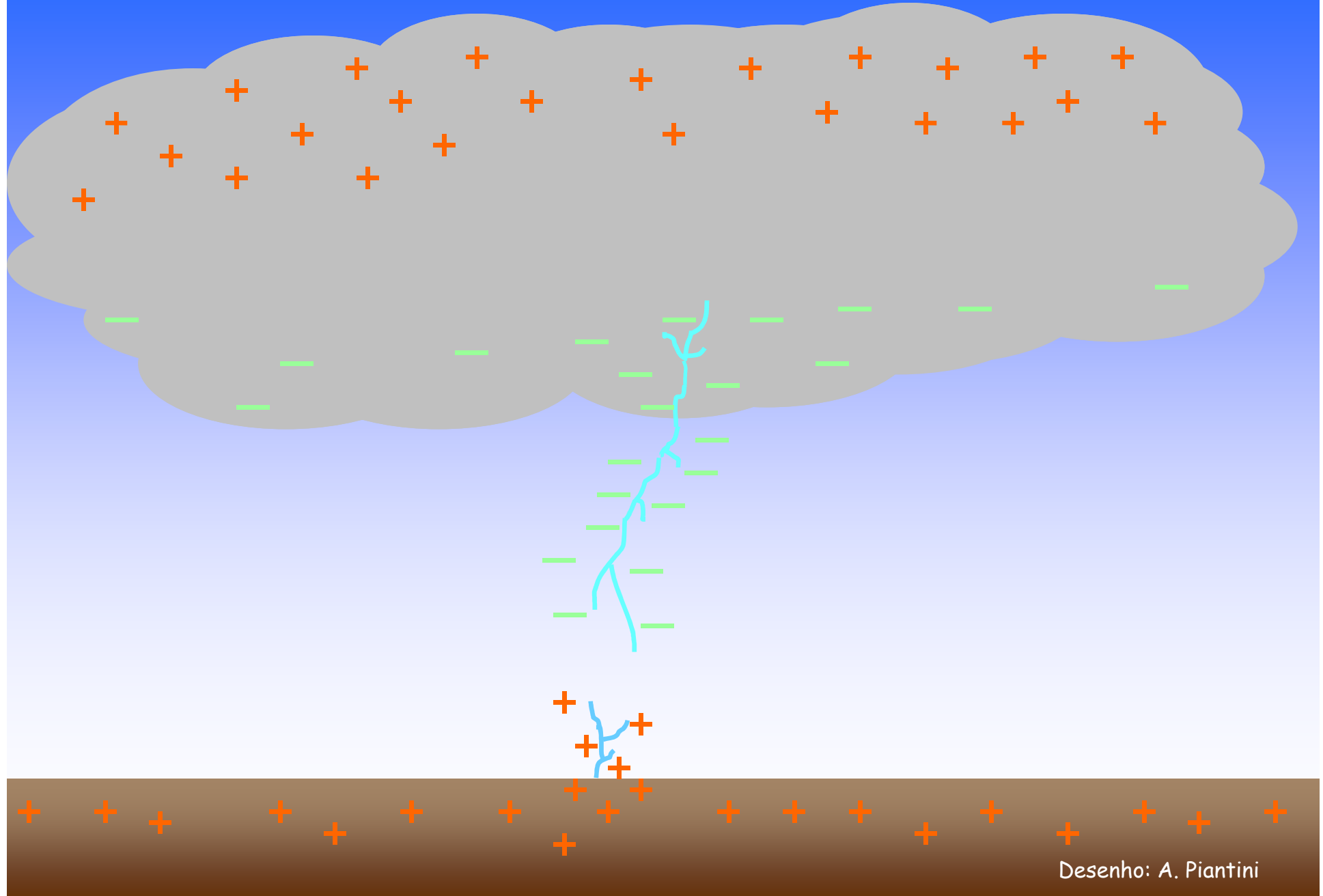


# Formação do líder



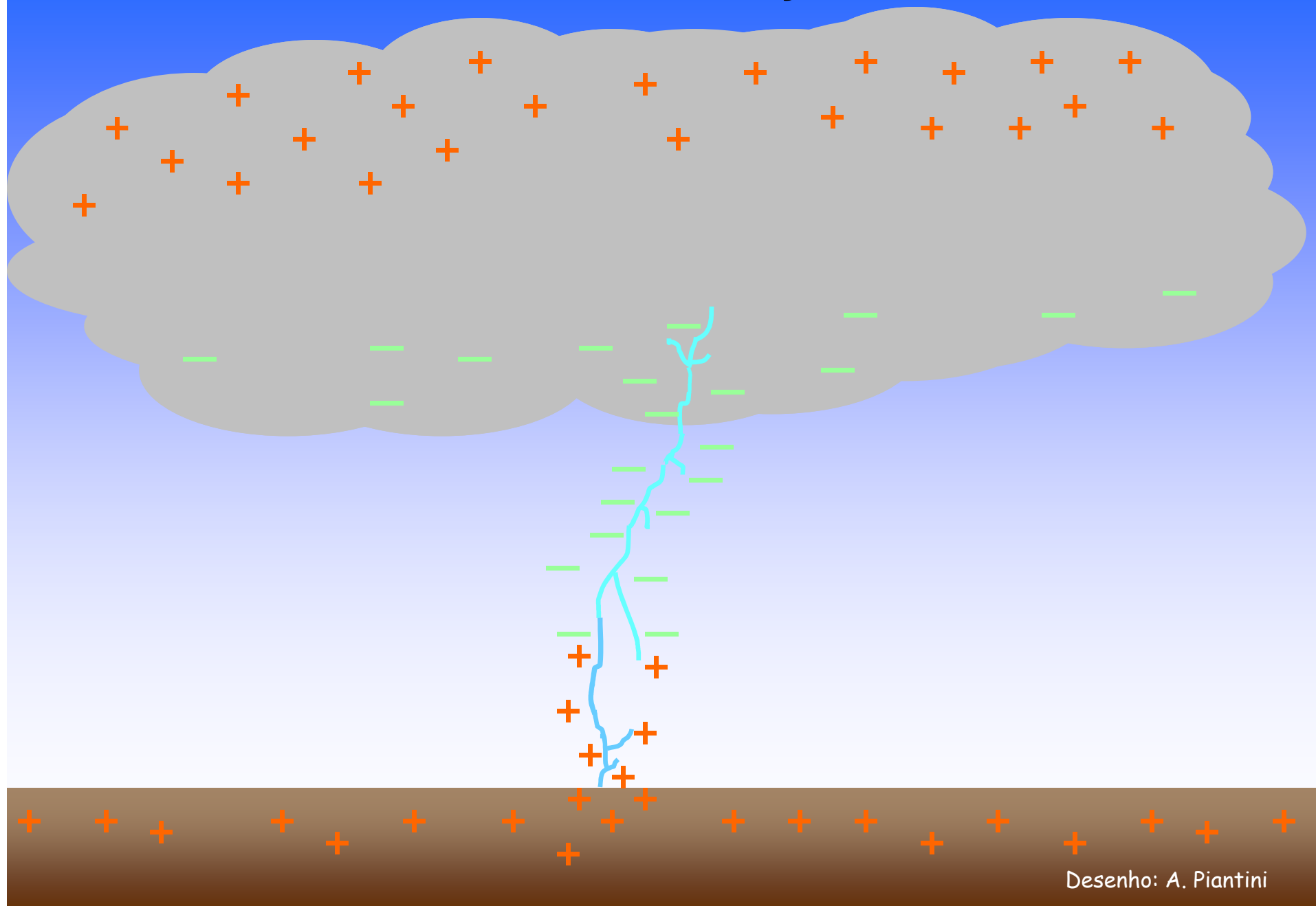
Desenho: A. Piantini

# Líder ascendente



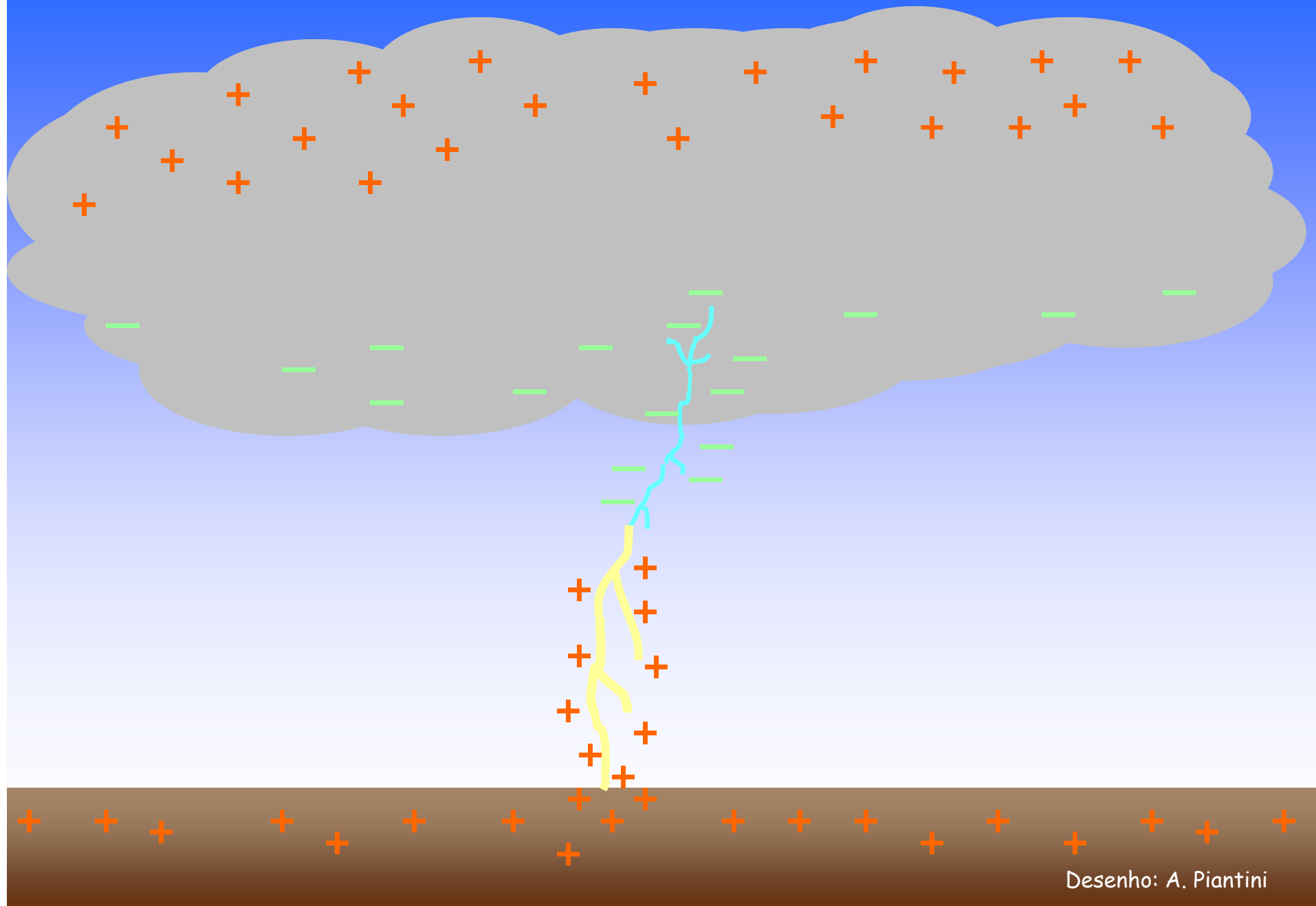
Desenho: A. Piantini

# Processo de Junção



Desenho: A. Piantini

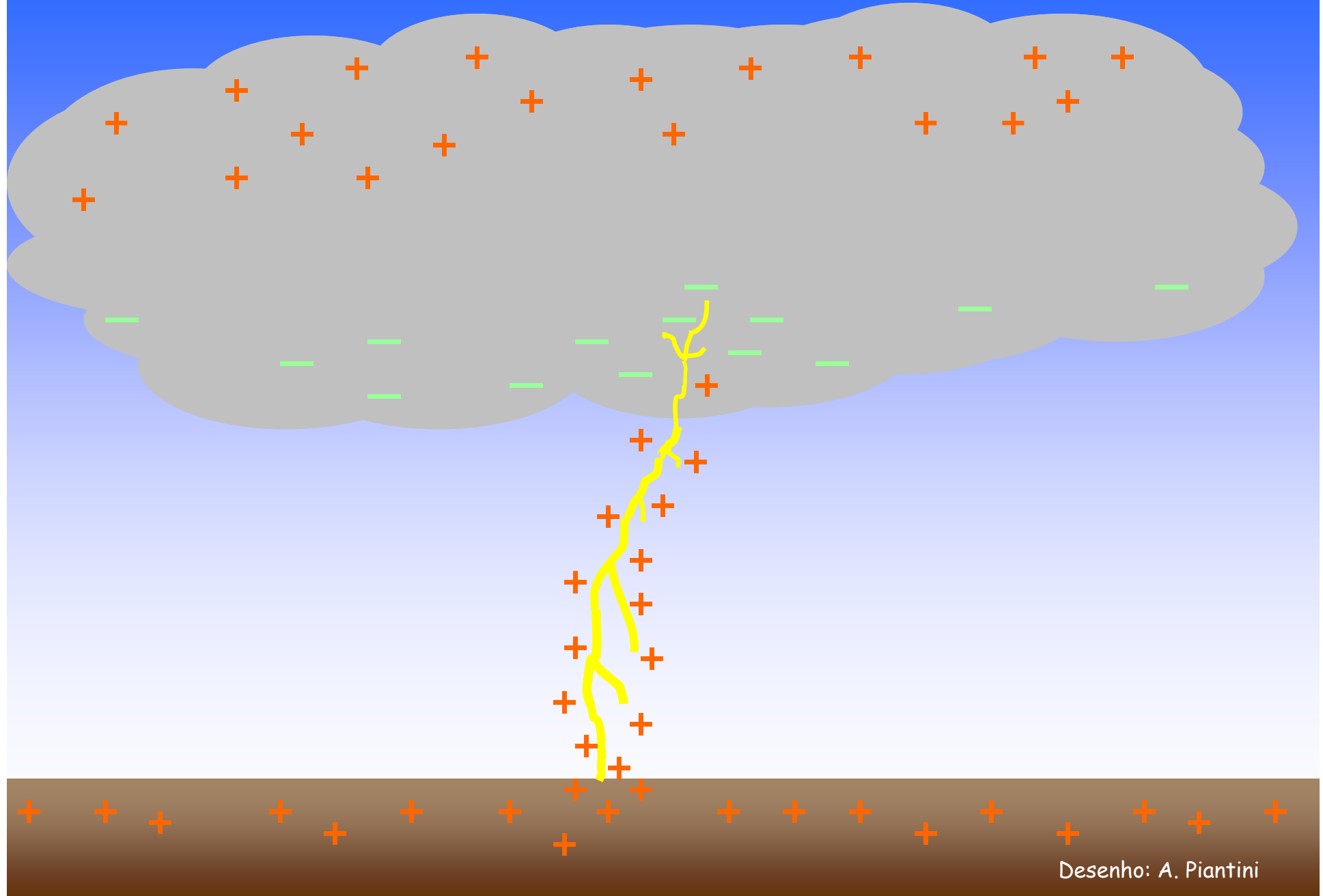
# *Primeira Descarga de retorno (First return stroke)*



Desenho: A. Piantini

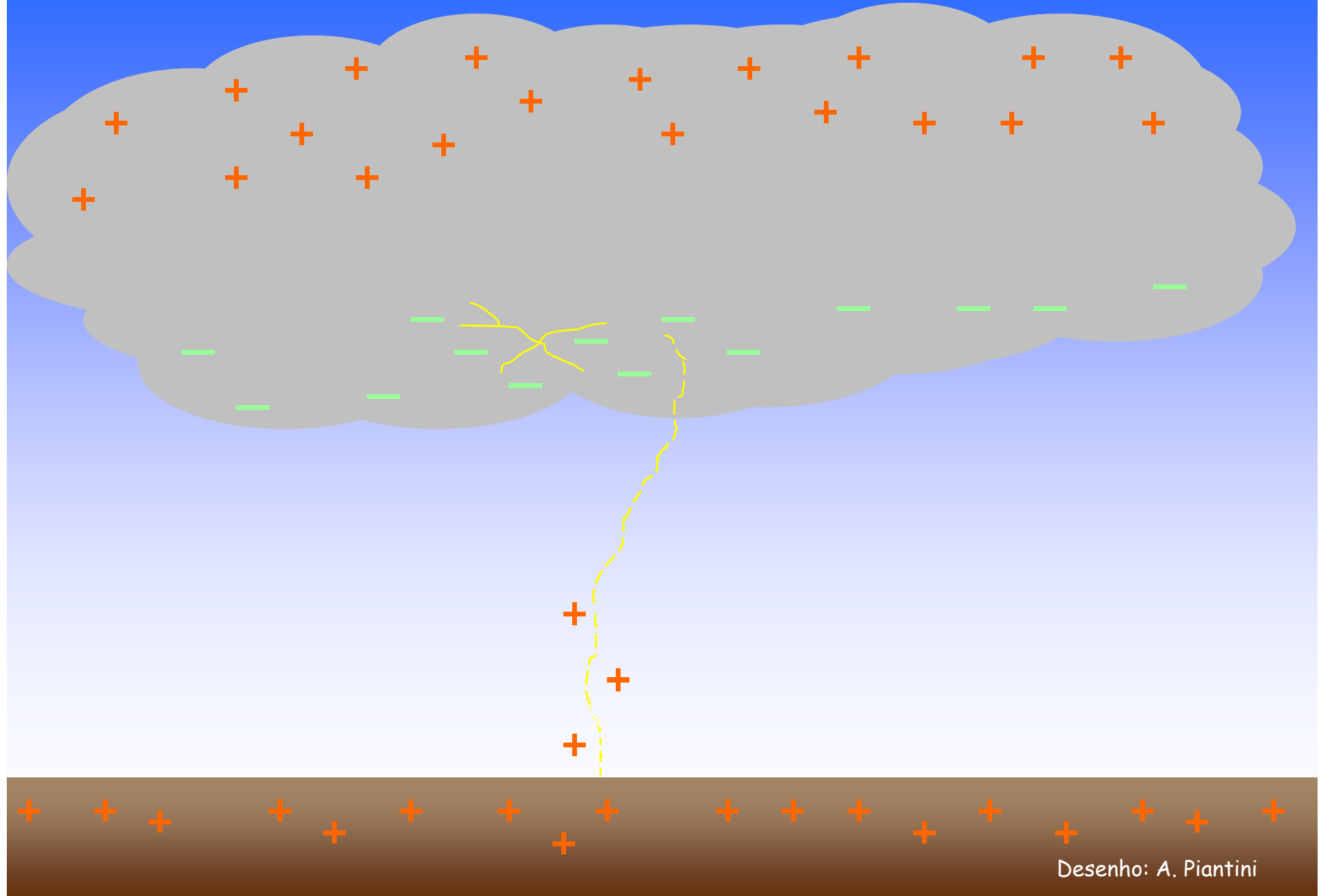


## *Primeira Descarga de retorno (First return stroke)*

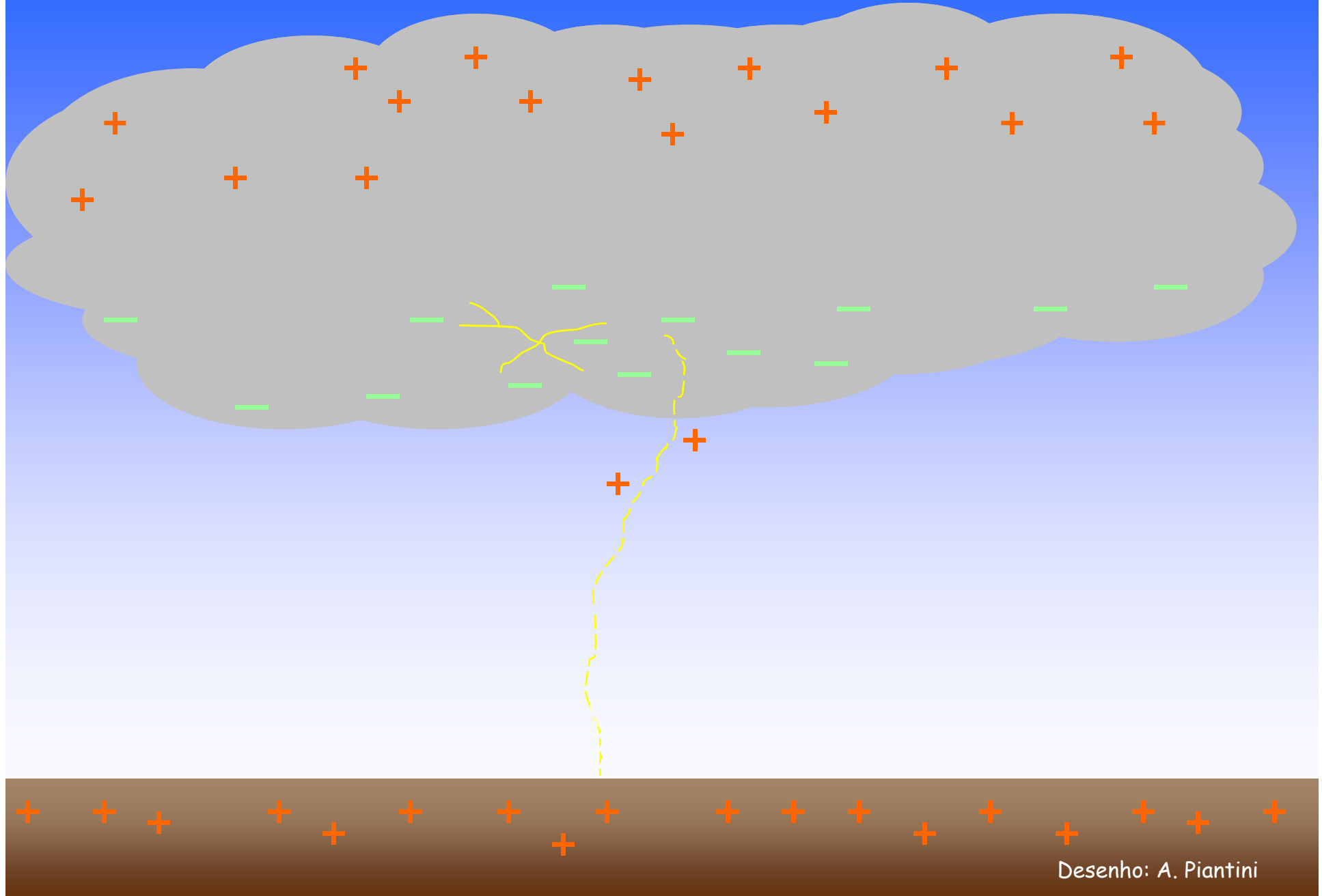


Desenho: A. Piantini

# Processos K e J

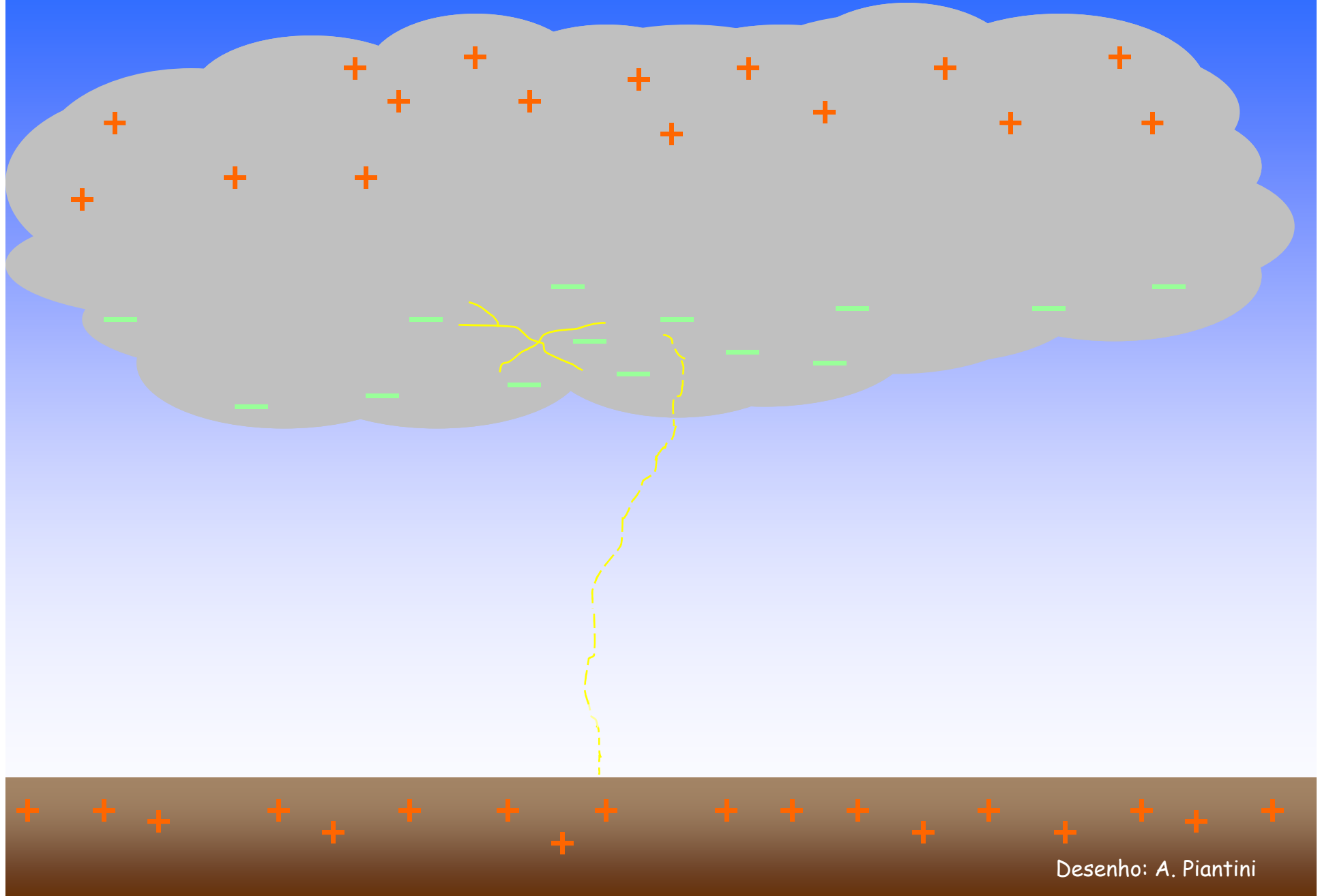


# Processos K e J



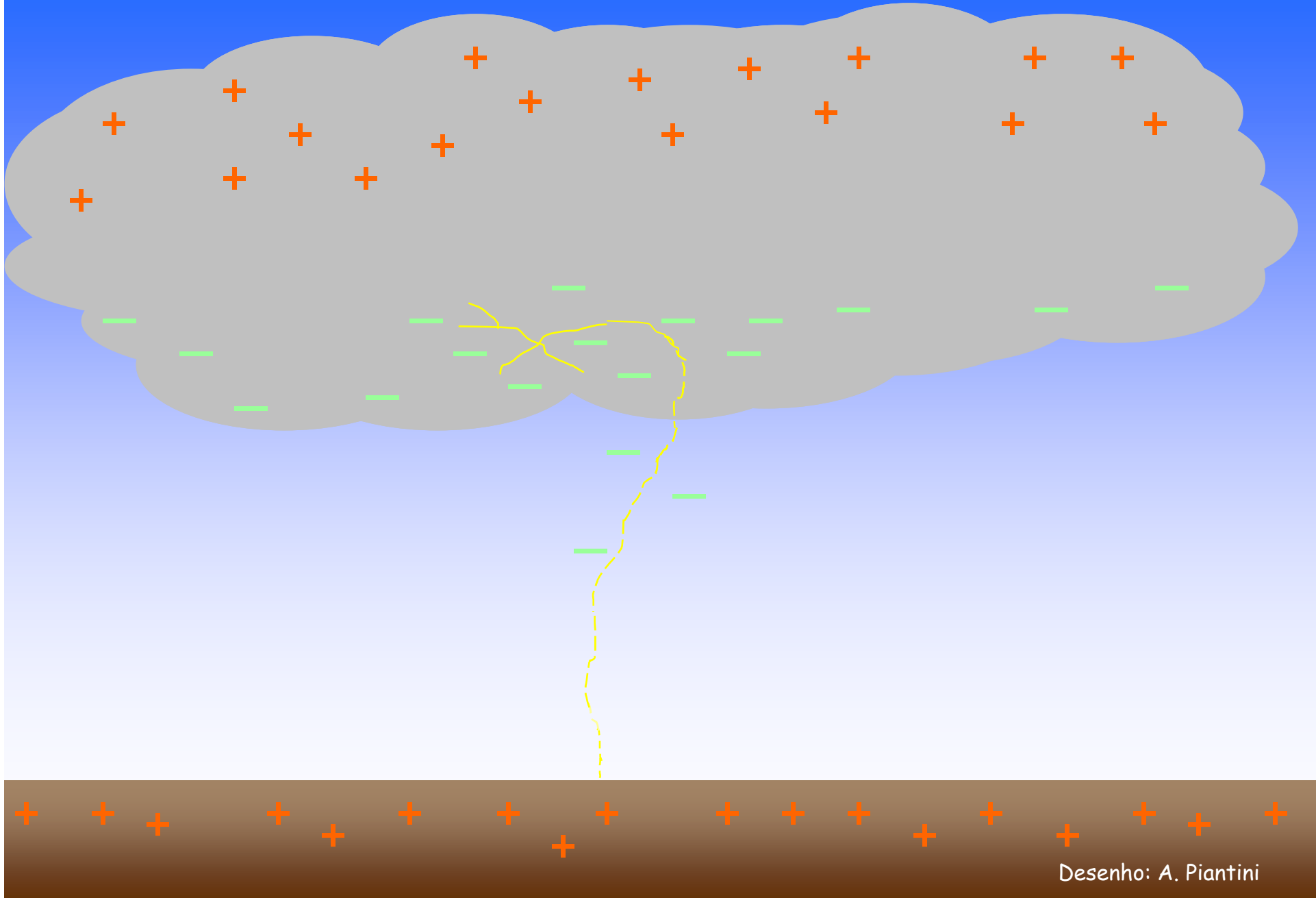
Desenho: A. Piantini

# Processos K e J



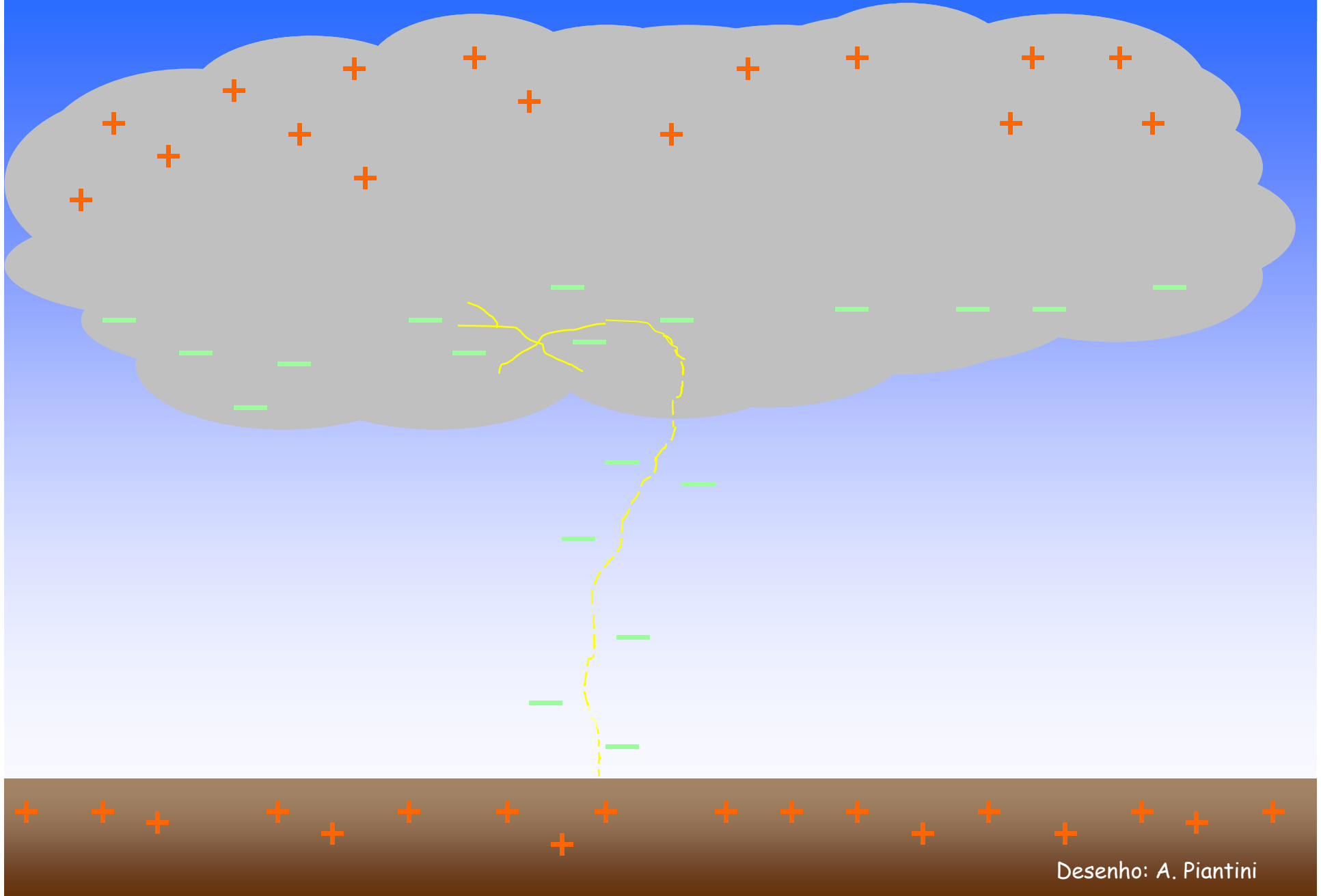
Desenho: A. Piantini

# *Dart leader*



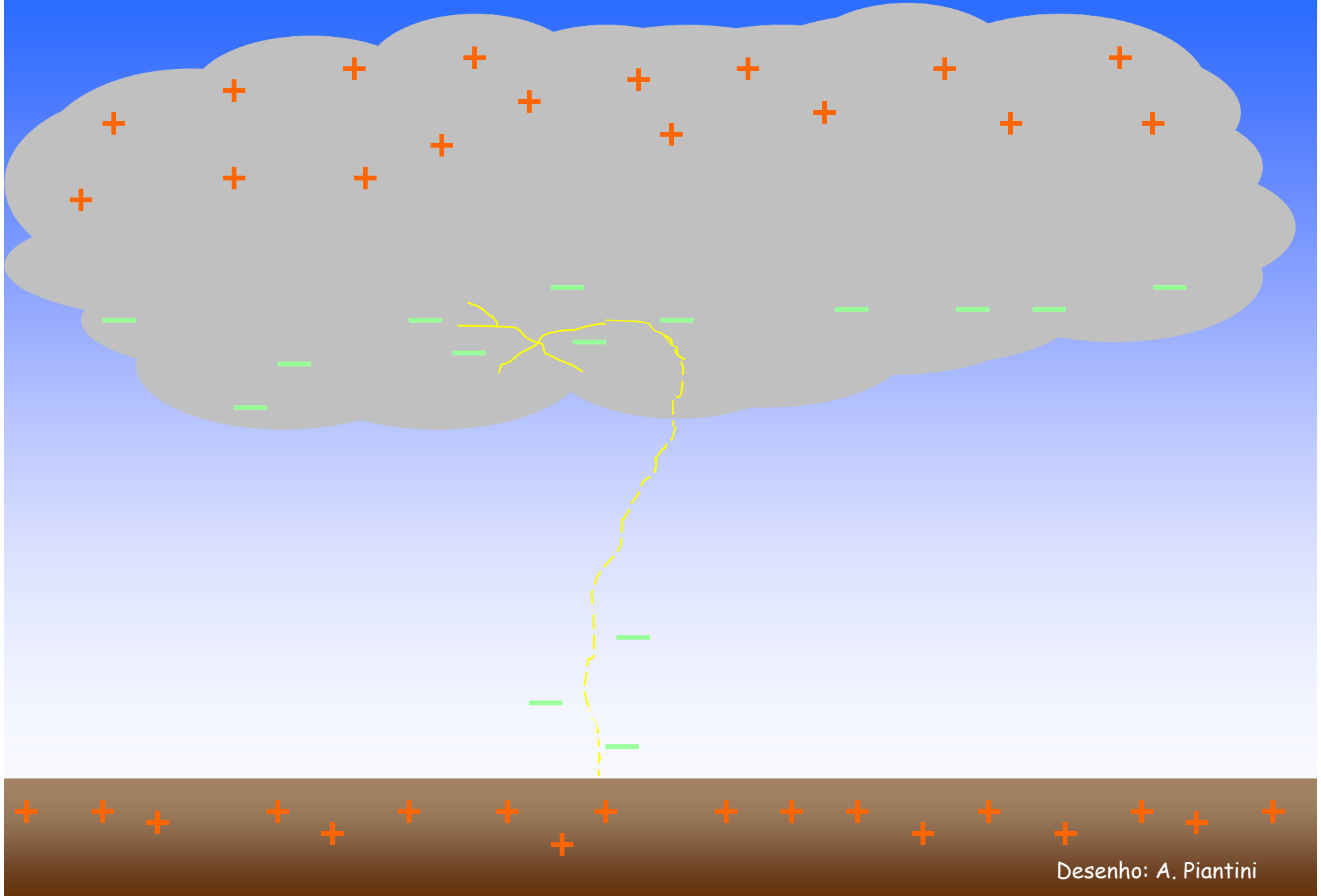
Desenho: A. Piantini

# *Dart leader*



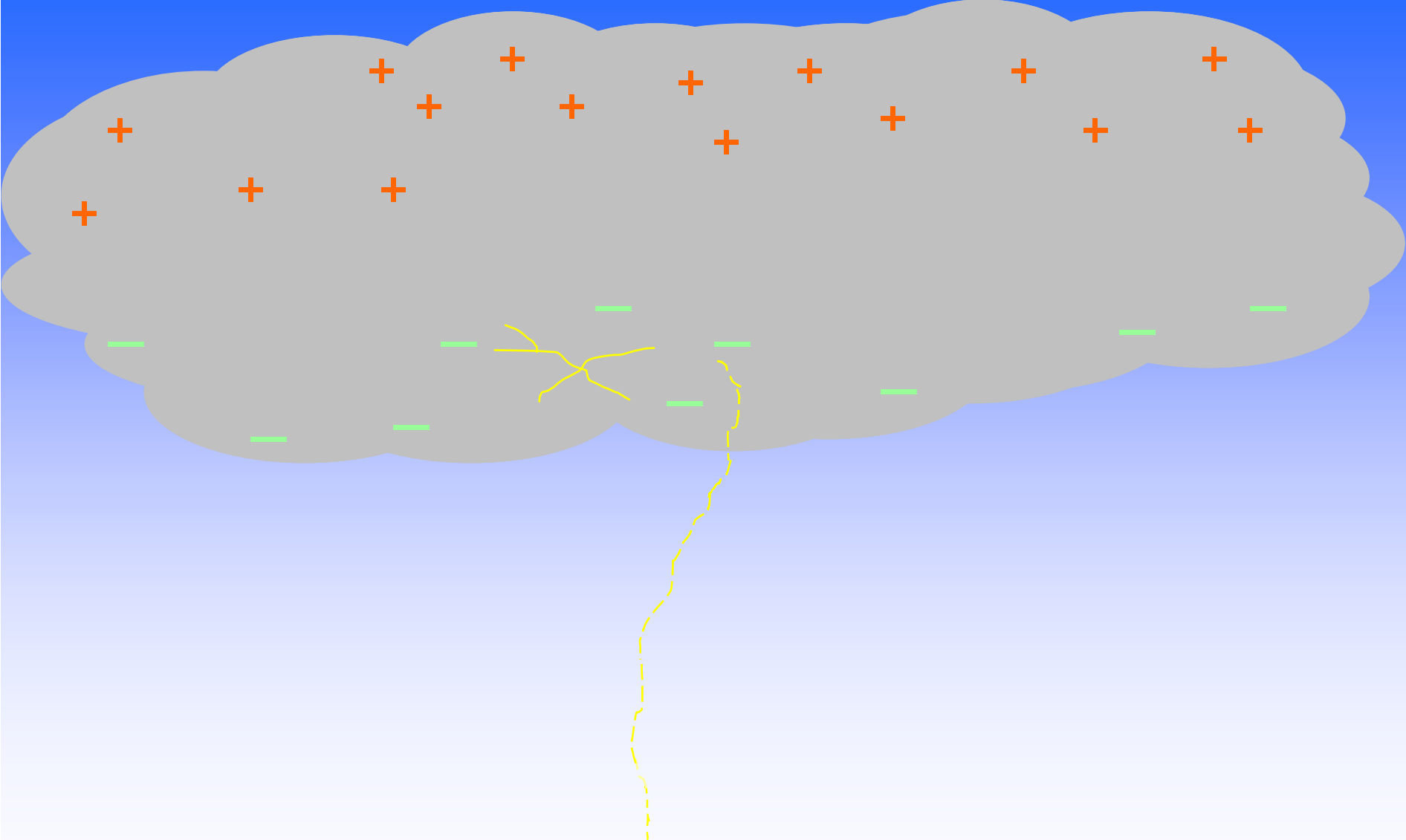
Desenho: A. Piantini

# *Dart leader*



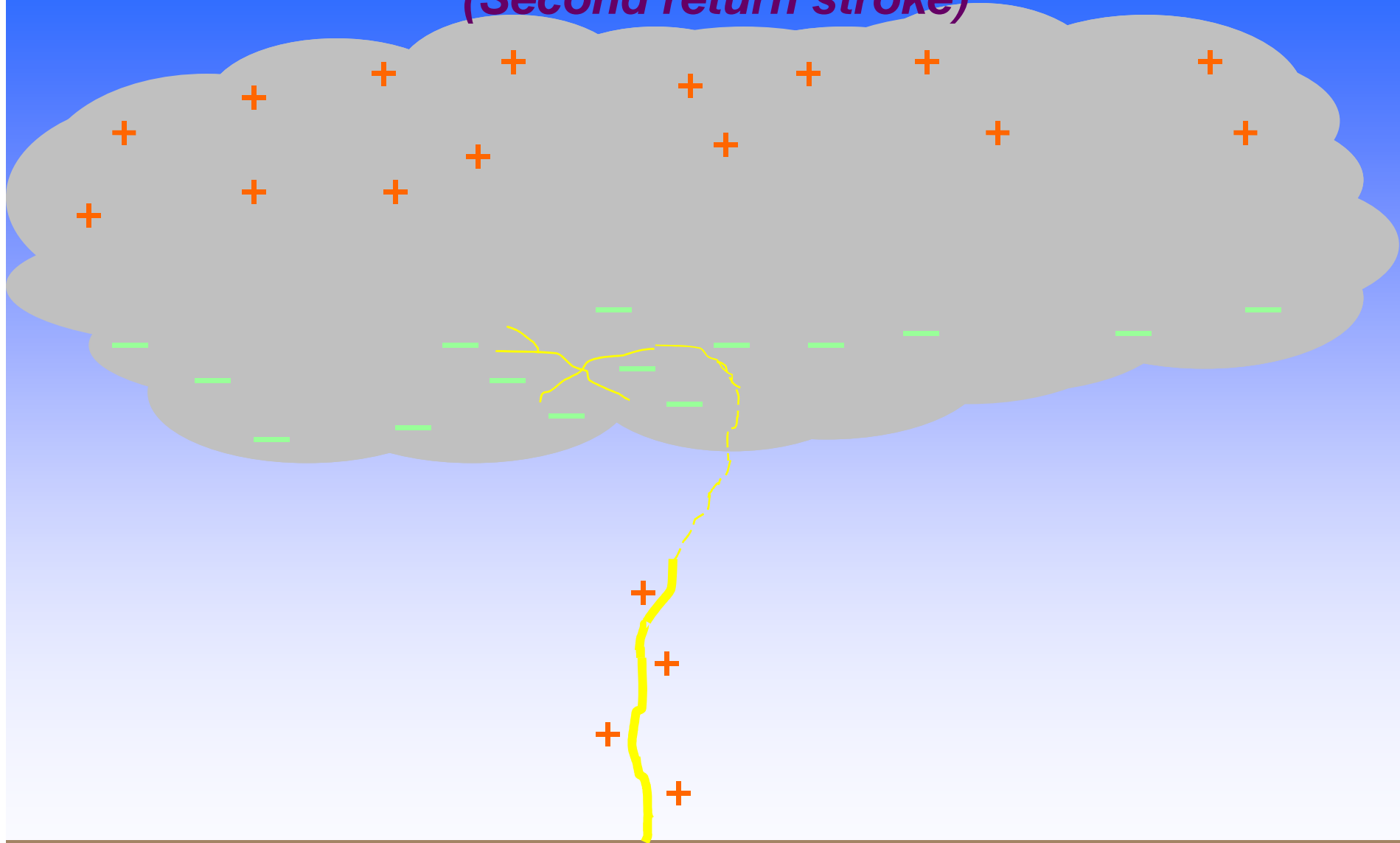
Desenho: A. Piantini

# Dart leader

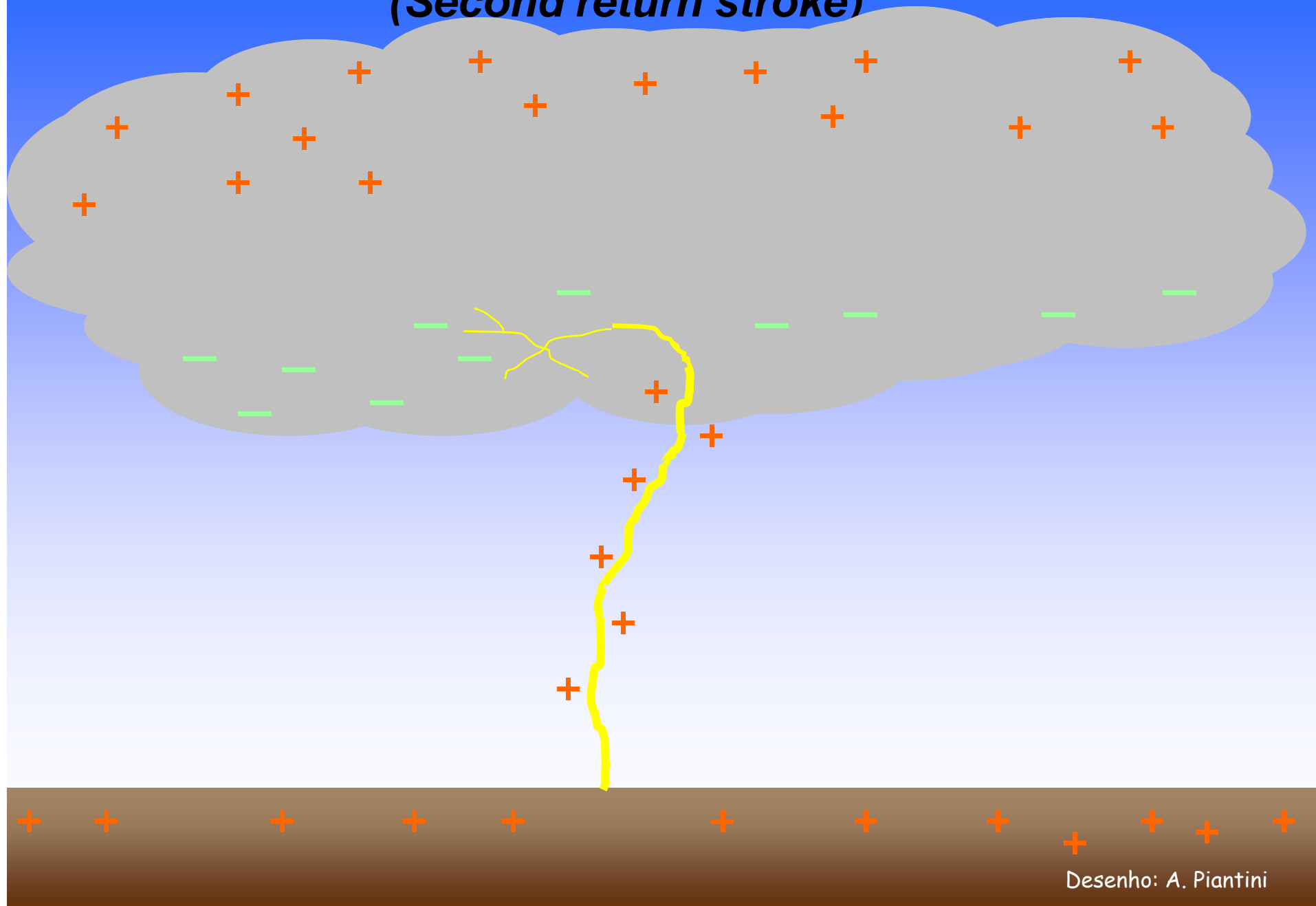




# Segunda descarga de retorno (Second return stroke)

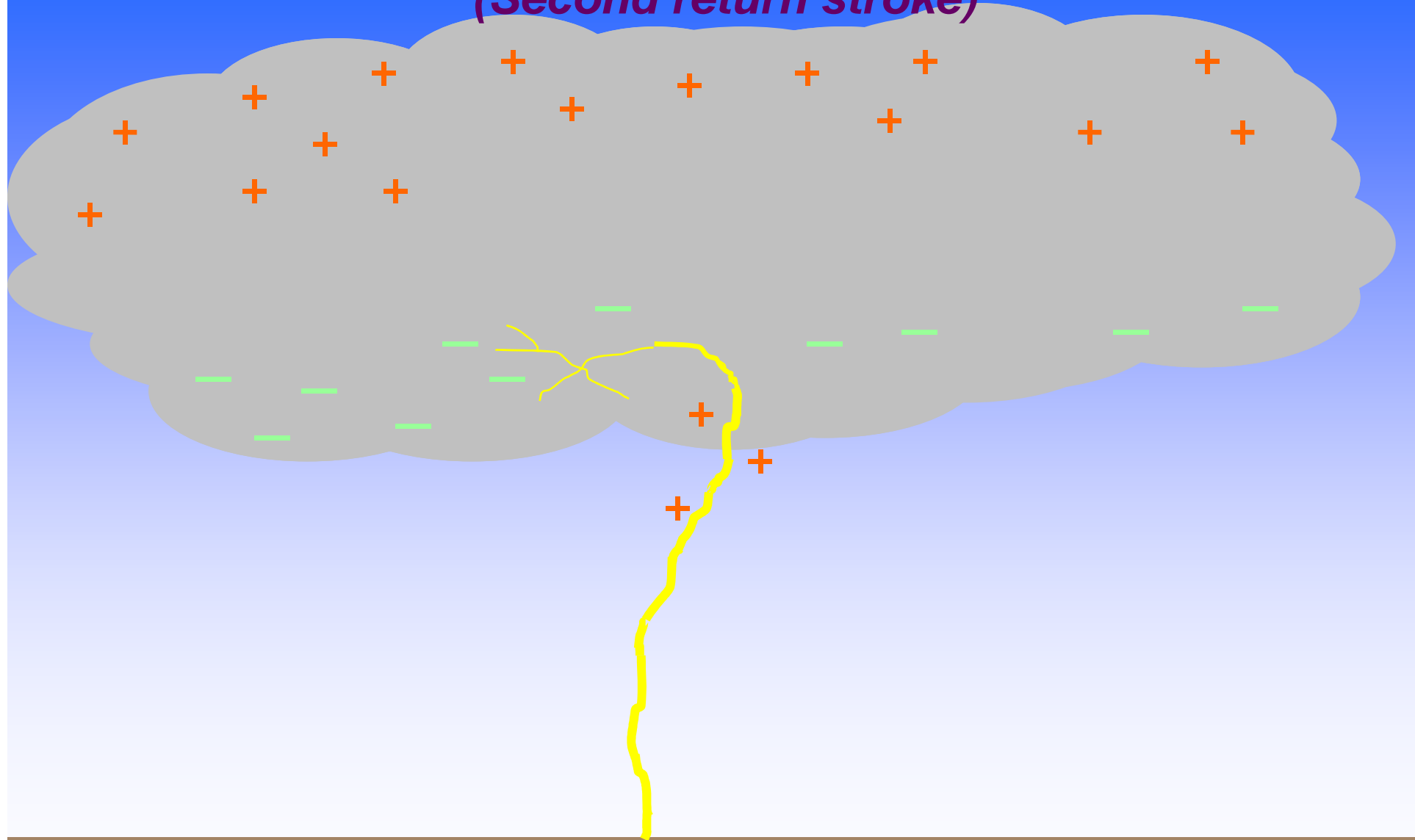


# *Segunda descarga de retorno* *(Second return stroke)*



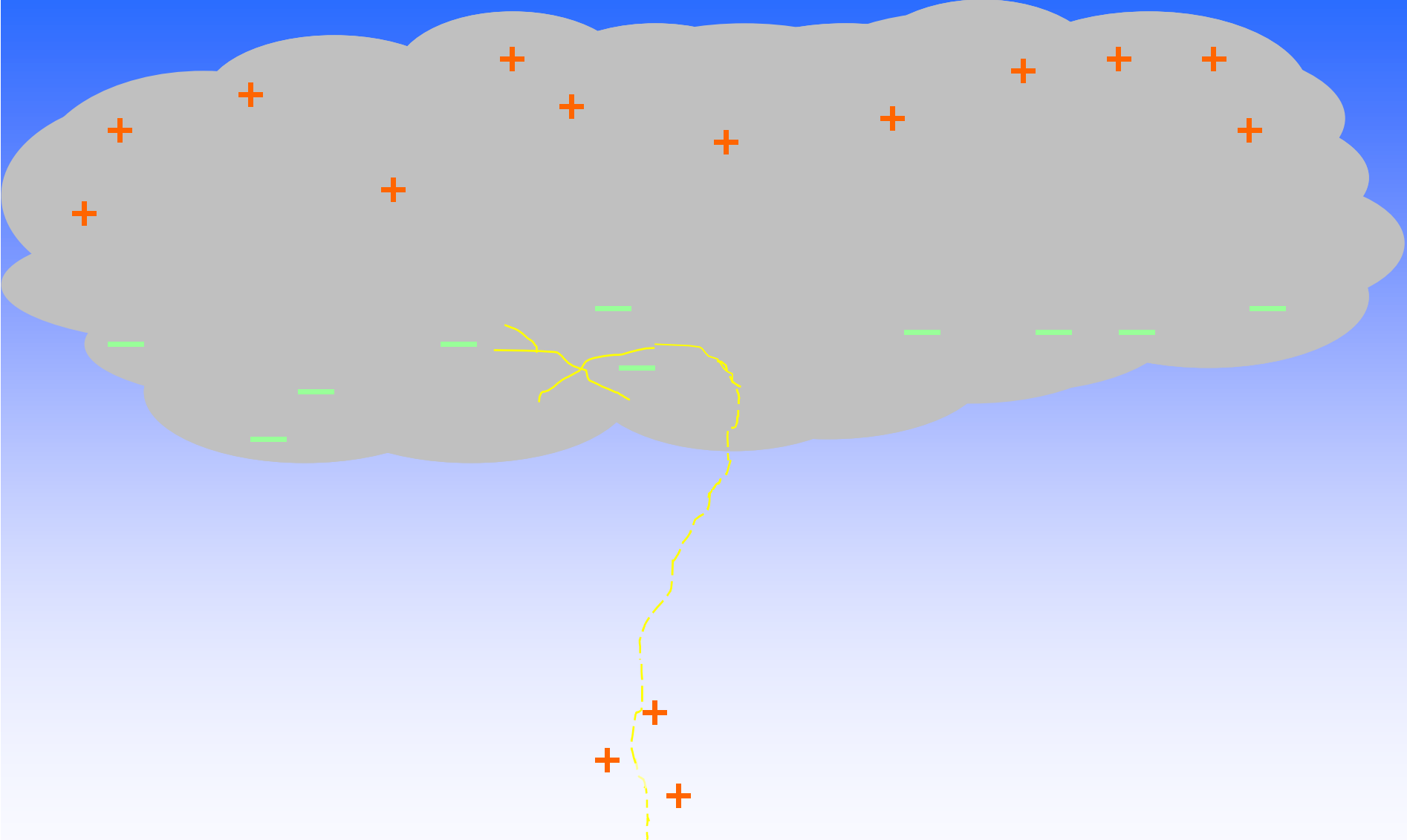
Desenho: A. Piantini

# Segunda descarga de retorno (Second return stroke)

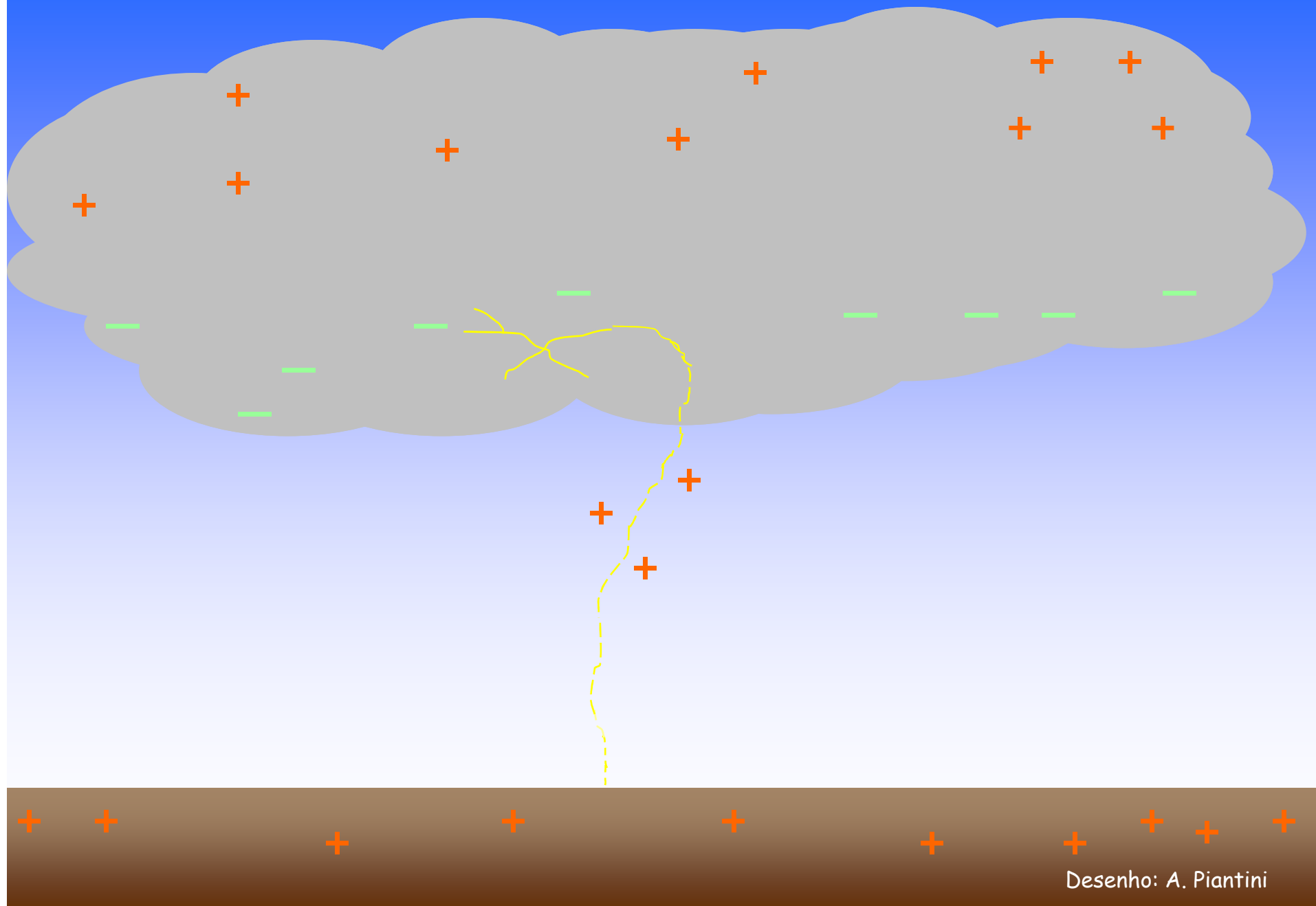


Desenho: A. Piantini

# *J and K processes*

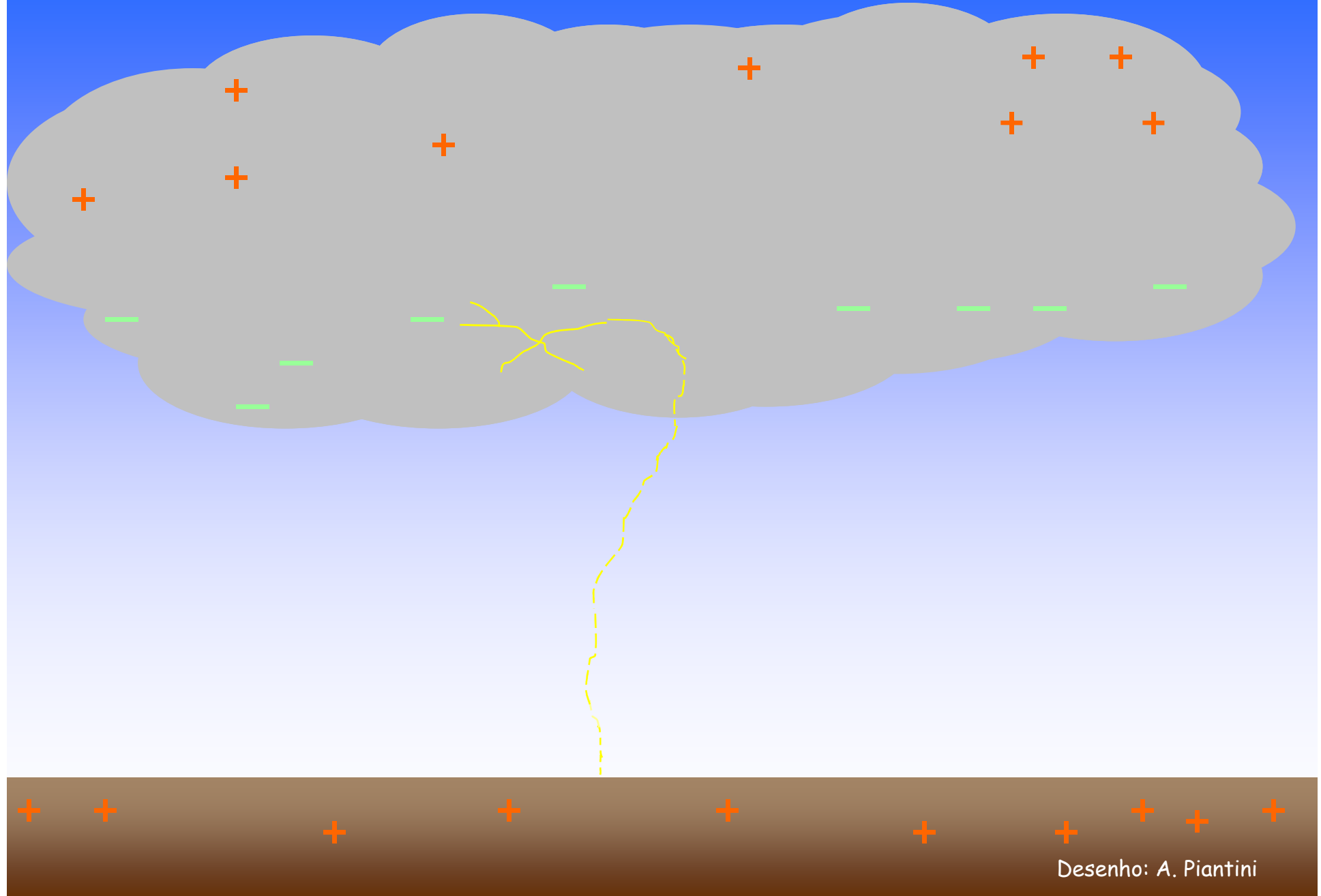


# Processos J e K

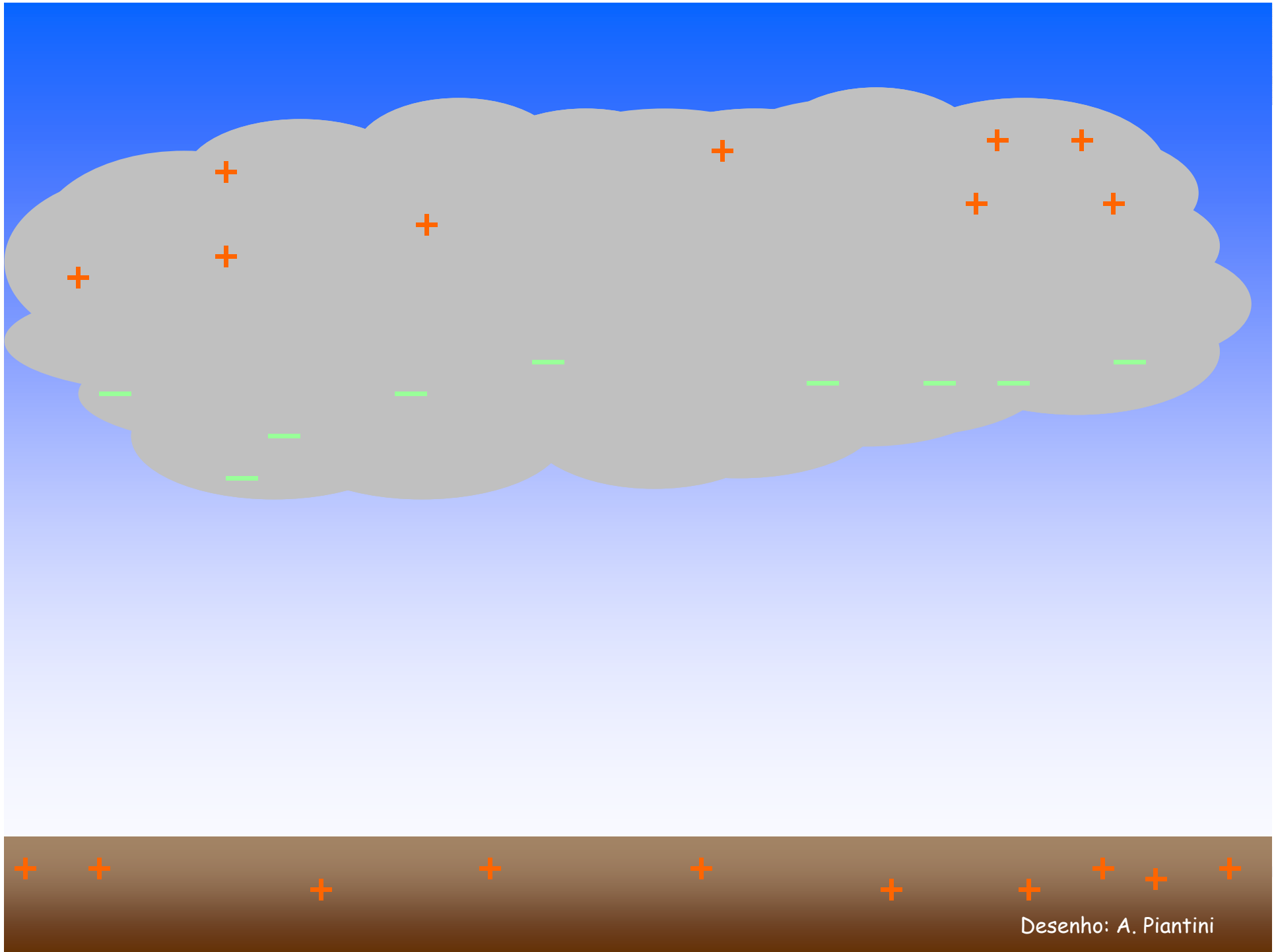


Desenho: A. Piantini

# Processos J e K




Desenho: A. Piantini



Desenho: A. Piantini



## Métodos de Proteção: Subsistema de Captores


- Método do Ângulo de proteção (Franklin)
  - Modelo Eletrogeométrico (Esfera Rolante ou fictícia)
  - Condutores em Malha ou gaiola (Método Faraday)
- 





## Métodos de Proteção: Subsistema de Captores


### Modelo Eletrogeométrico

- Ferramenta moderna;
  - Baseados em estudos a partir de registros fotográficos;
  - Medições de parâmetros do raio;
  - Ensaio em laboratórios de alta tensão;
  - Surgiu para proteção de linhas de transmissão e depois simplificado para edificações.
- 



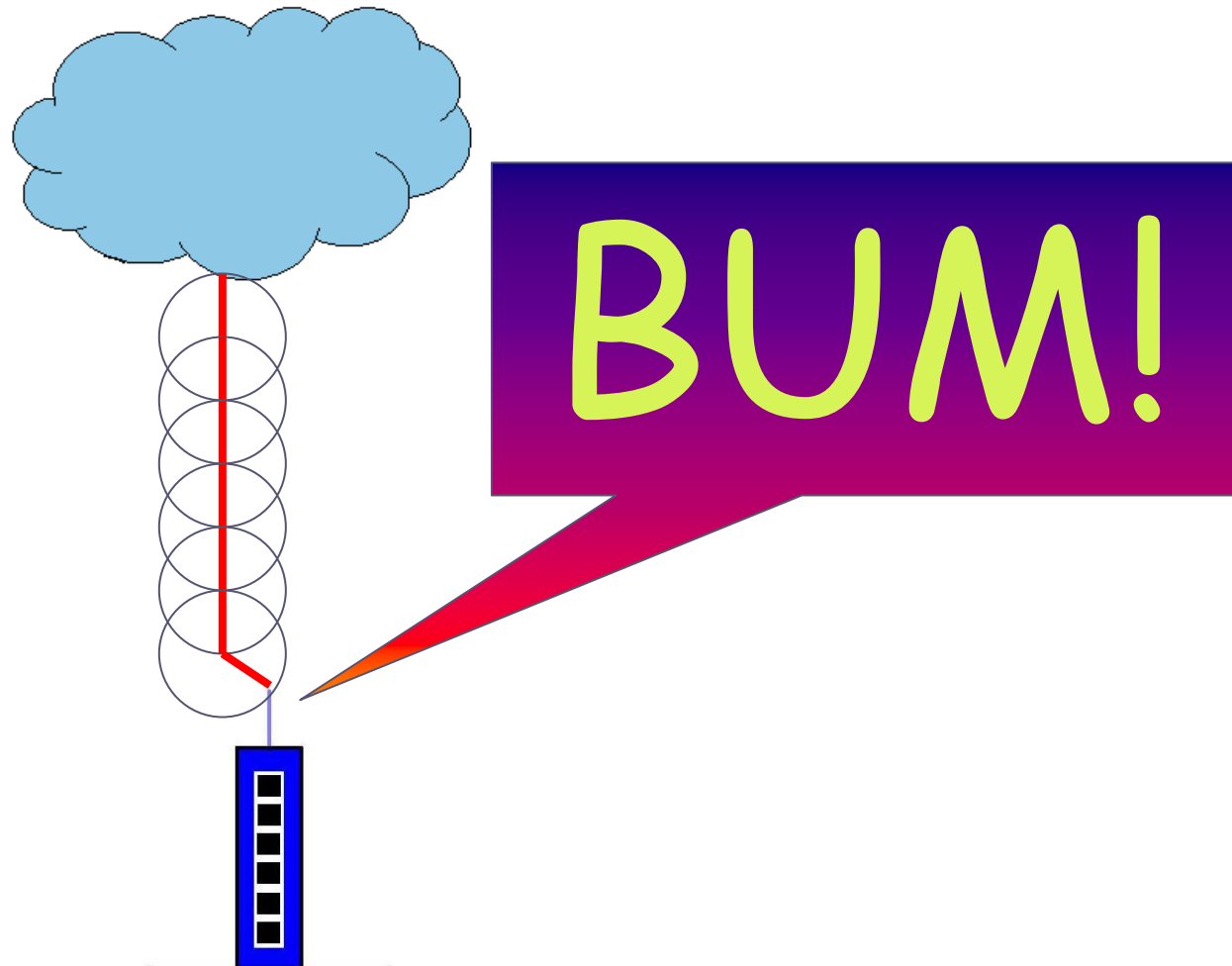
## **Métodos de Proteção**

### **Modelo Eletrogeométrico**

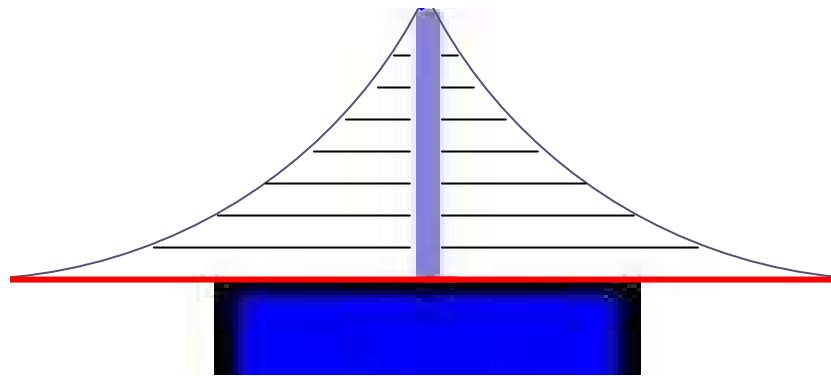
- somente são consideradas as descargas negativas iniciadas nas nuvens;
  - o líder descendente é vertical e sem ramificações;
  - as descargas se dão em uma esfera de raio igual à distância de atração;
  - a descarga final se dá para o objeto aterrado mais próximo, independente de sua massa ou condições de aterramento;
  - as hastes verticais e os condutores horizontais têm o mesmo poder de atração;
  - a probabilidade de ser atingida a terra ou uma estrutura aterrada é a mesma.
- 

# Métodos de Proteção

## Modelo Eletrogeométrico



# Modelo Eletrogeométrico



Desenho: Mario Ramos

# Métodos de Proteção

## Modelo Eletrogeométrico

ABNT NBR 5419 = IEC 62305-3

### RAIO DA ESFERA FICTÍCIA EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÇÃO

NÍVEL	I	II	III	IV
Raio da esfera [m]	20	30	45	60

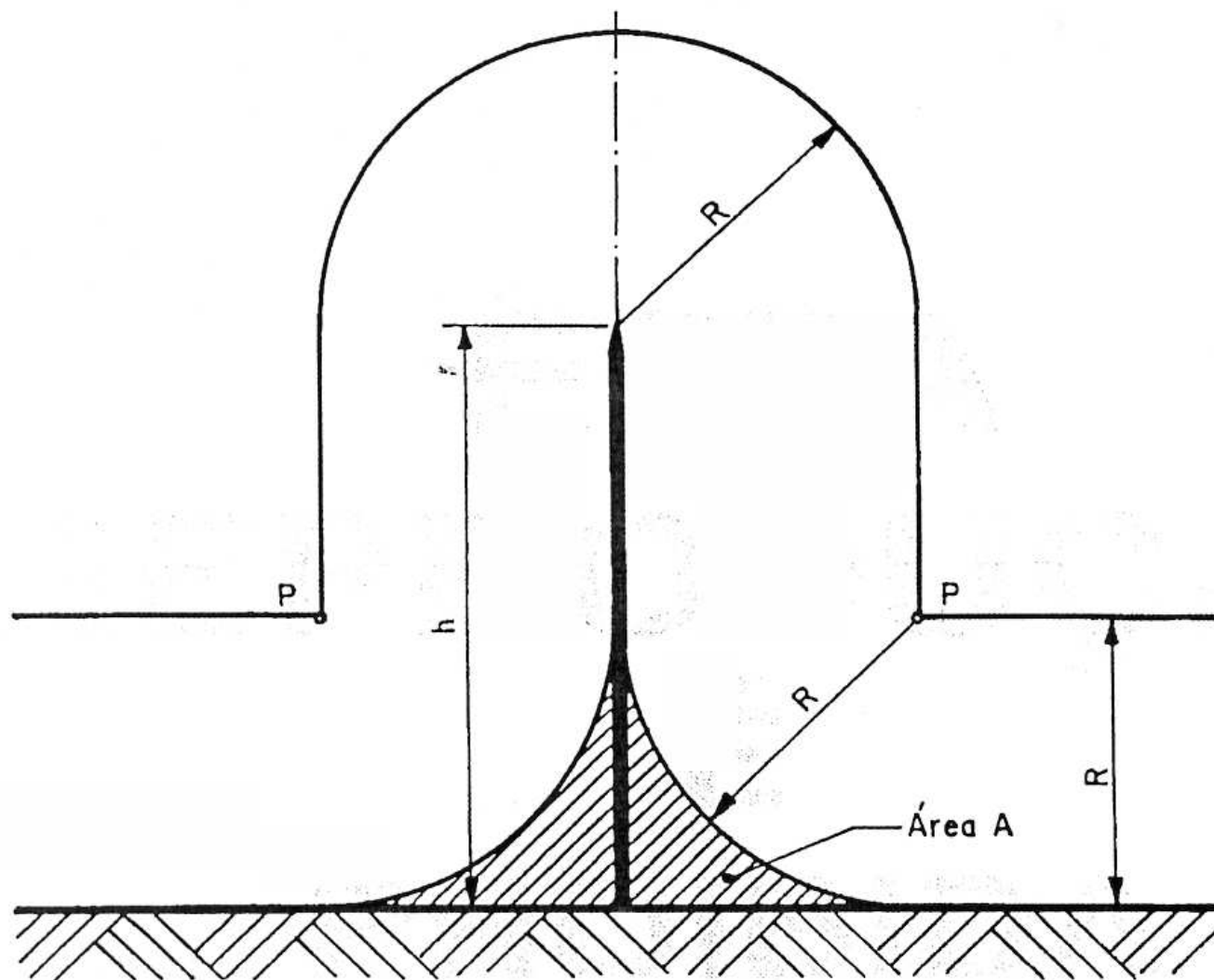
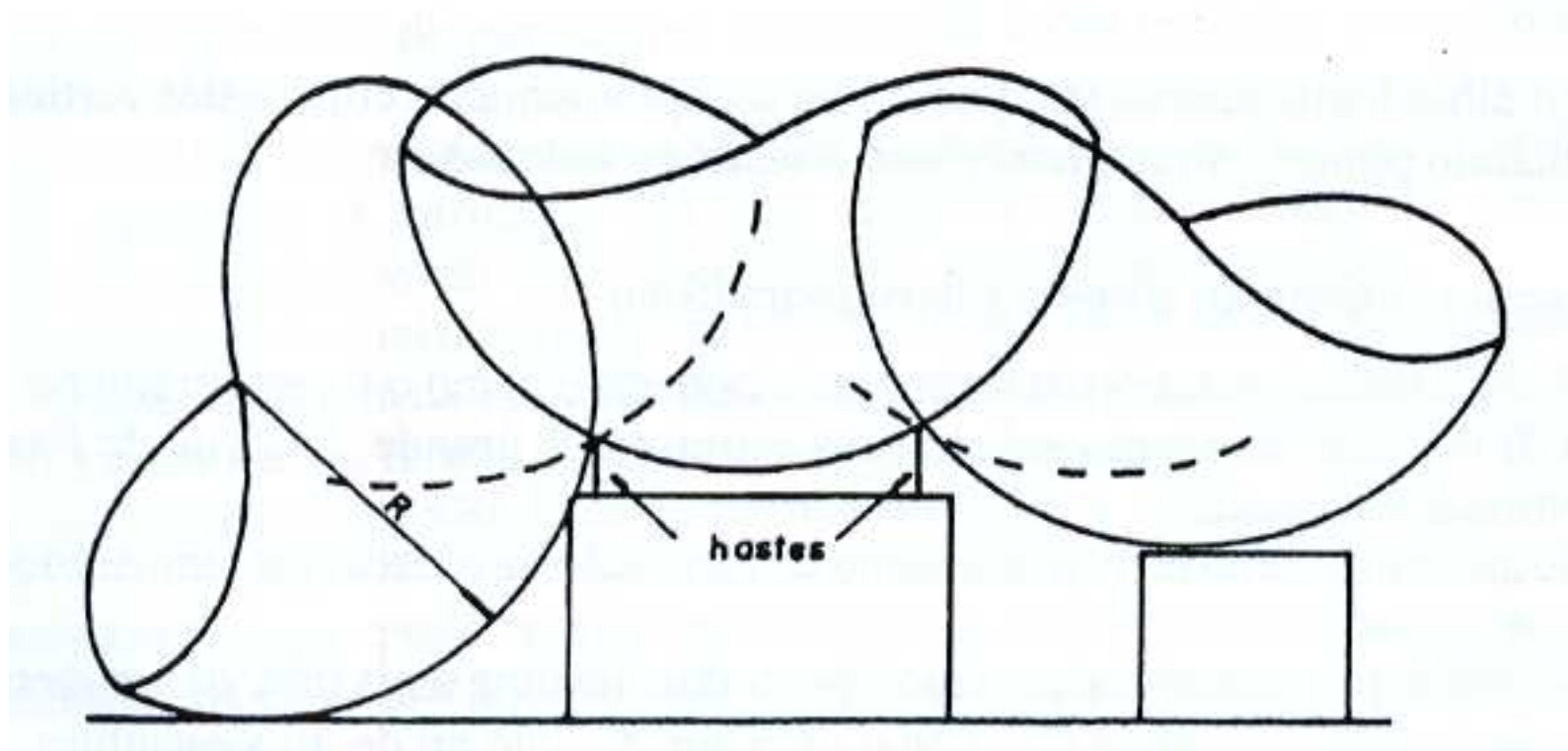
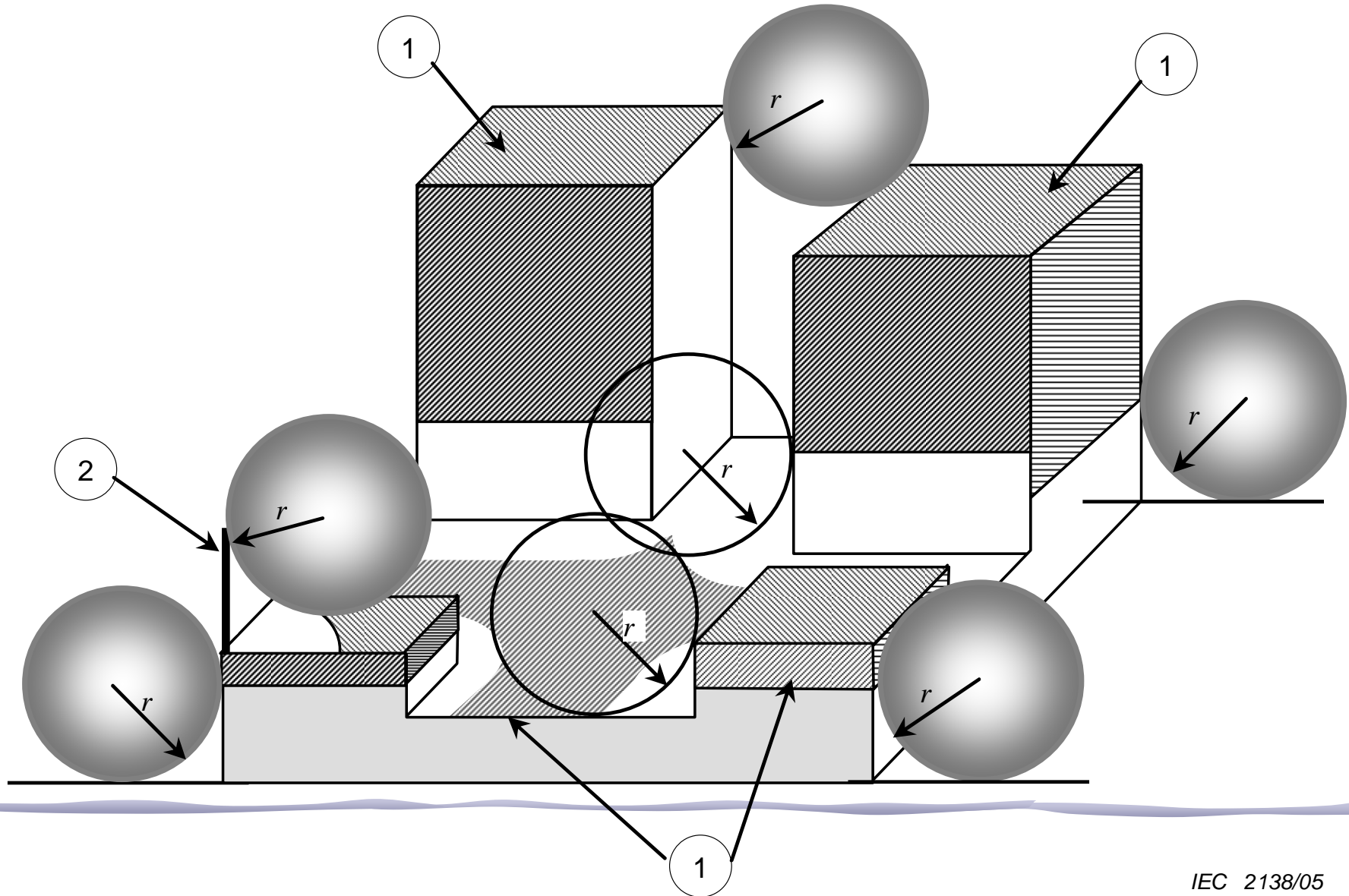


Figura C.3 — Volume de proteção do captor com  $h > R$

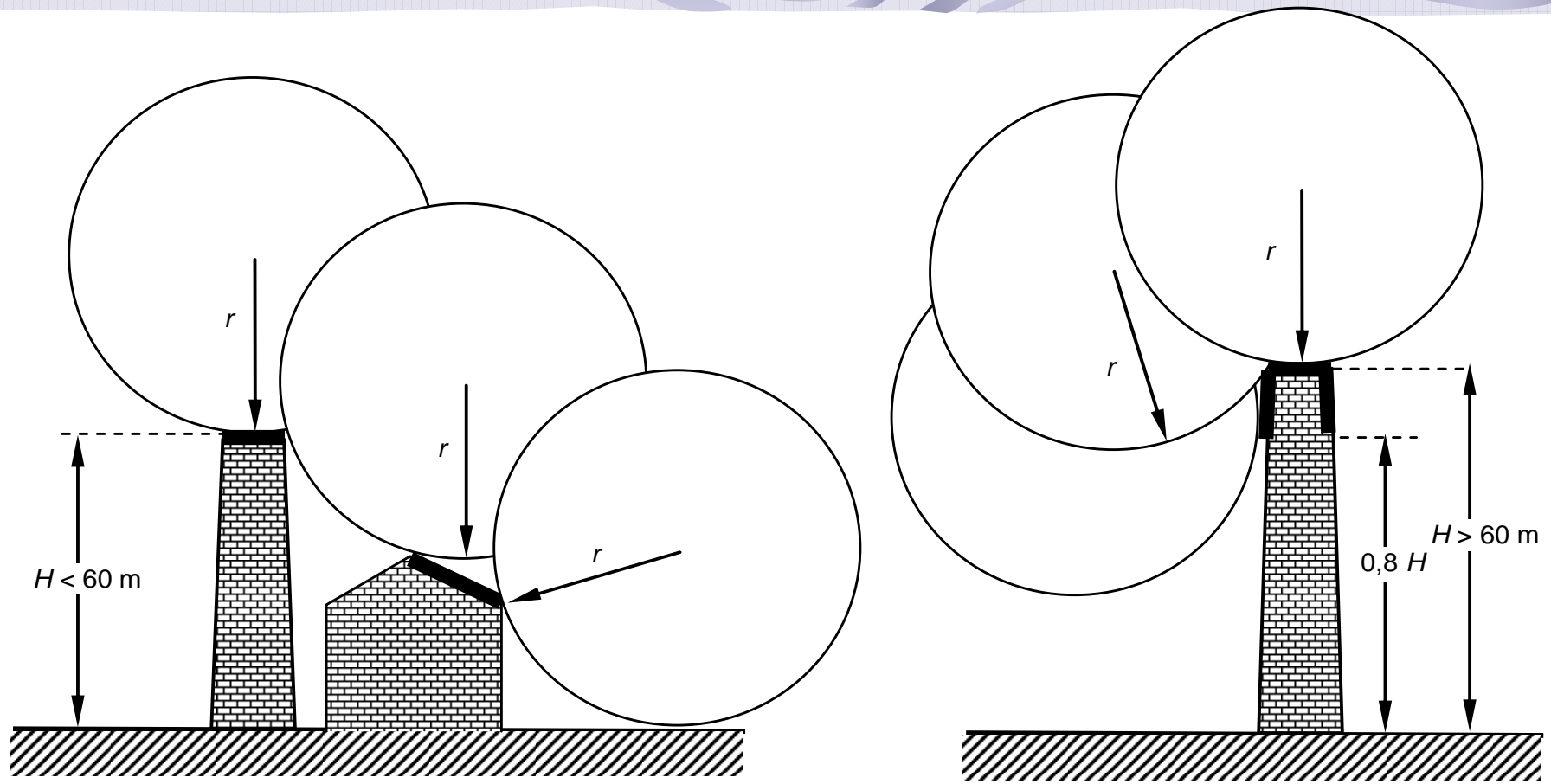
# Esfera Rolante





# Esfera Rolante



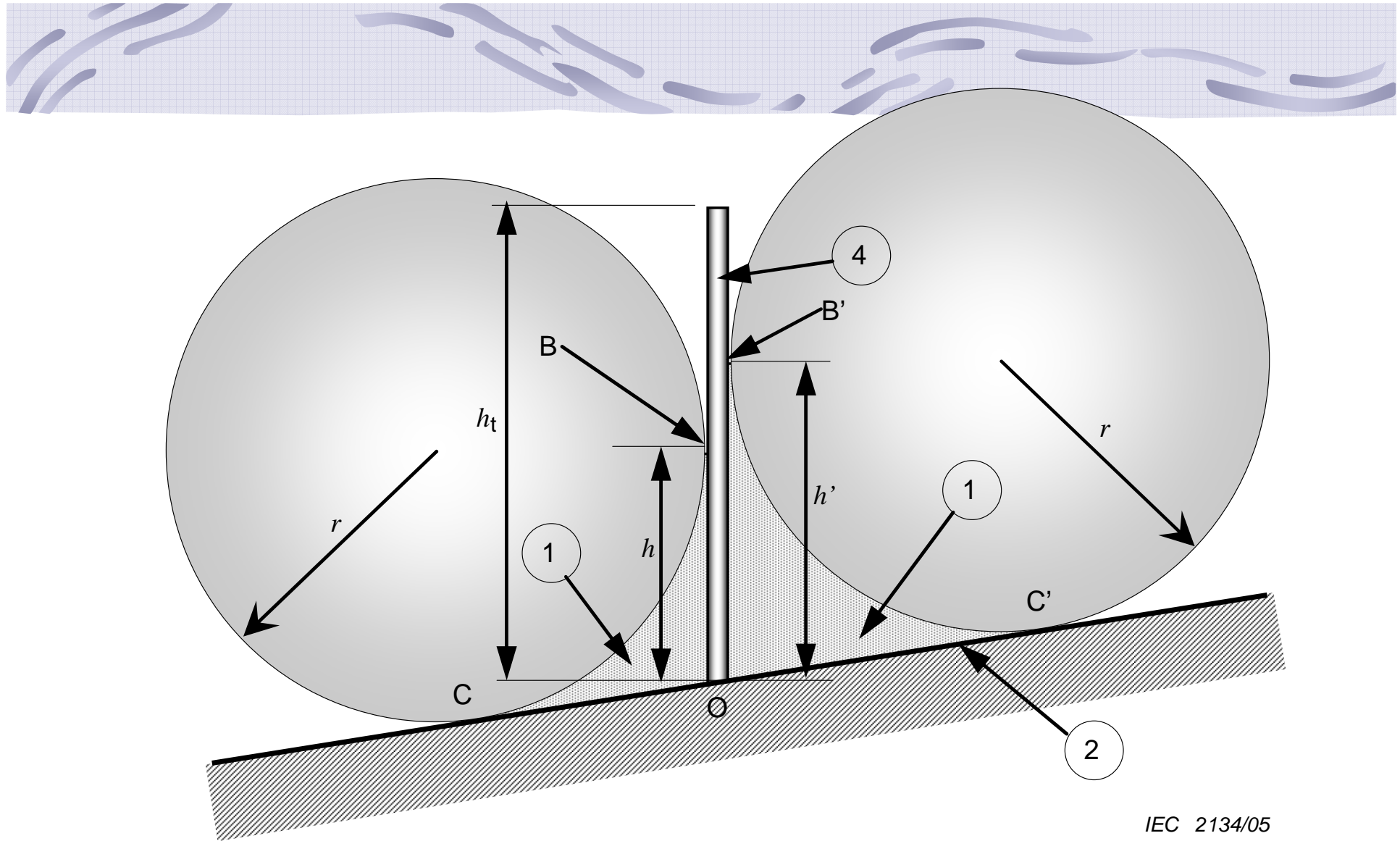




 Air termination system  
 Radius of rolling sphere

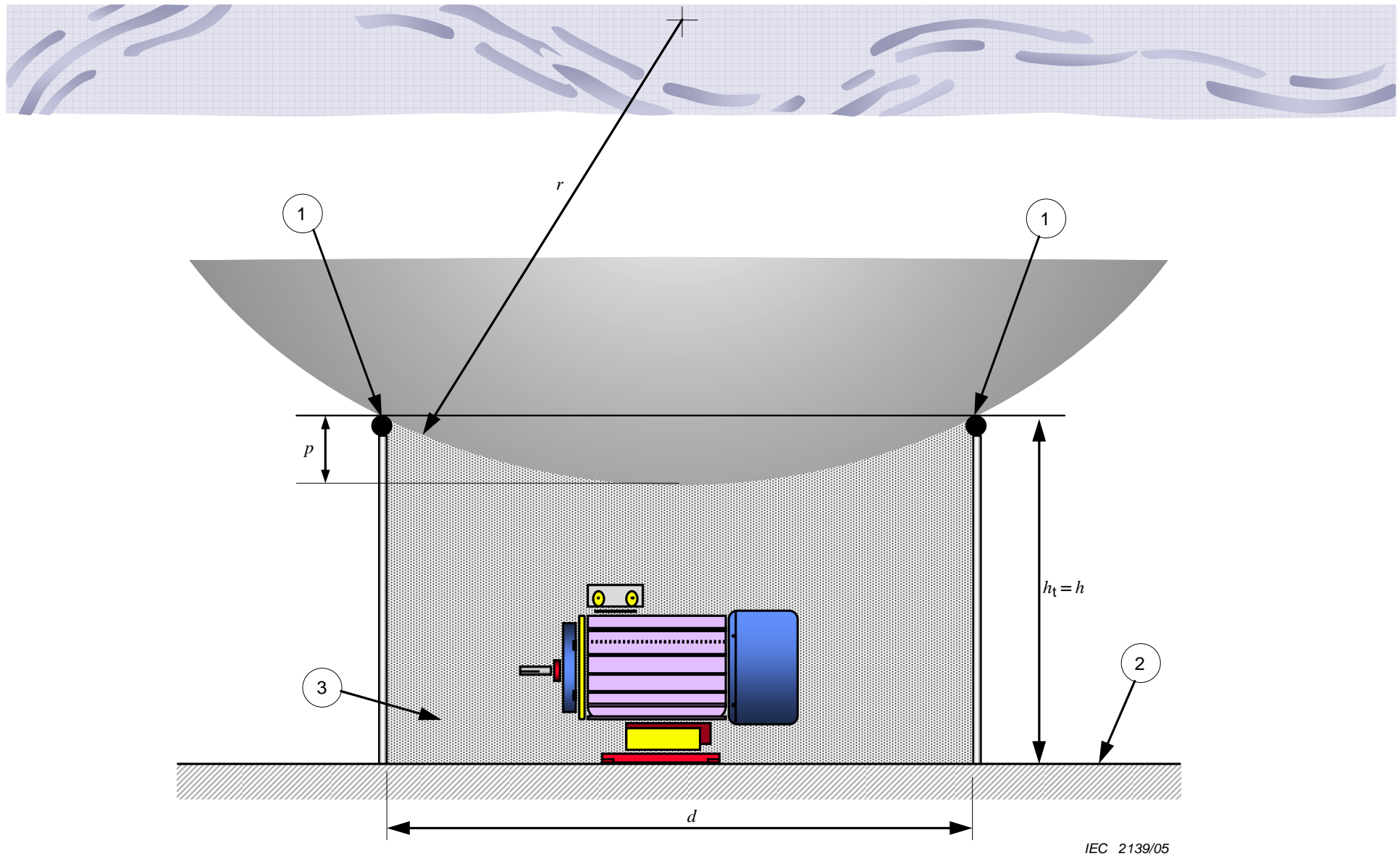
IEC 2654/10

Desenho: IEC 62305



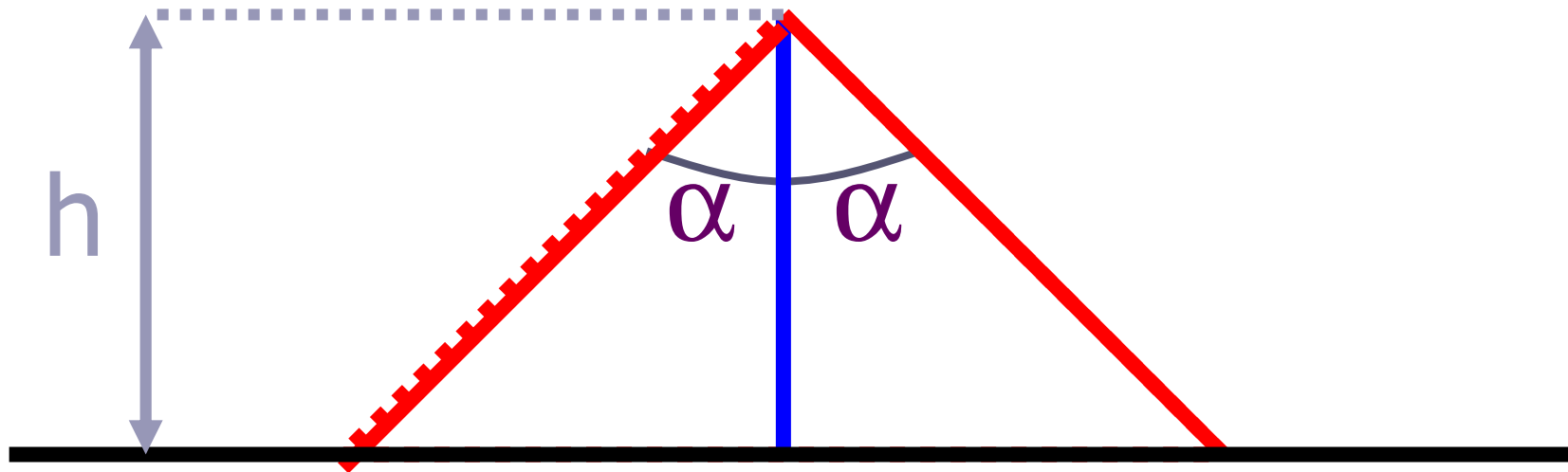
IEC 2134/05

Volume de proteção de um poste em uma superfície inclinada utilizando o cálculo pelo método da esfera rolante ( $h_t > r$ )



Quatro postes ou mastros verticais, com mesma altura  $h$ , colocados nos cantos de um quadrado

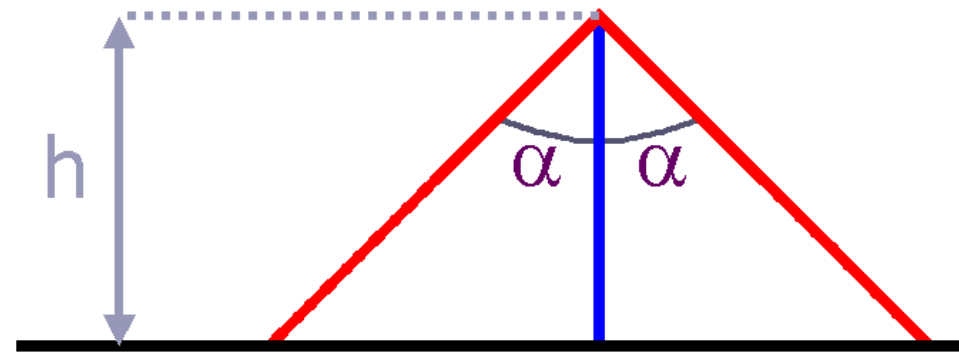
# Métodos de Proteção: Subsistema de Captores Franklin



## Métodos de Proteção

Ângulo de proteção

ABNT NBR 5419

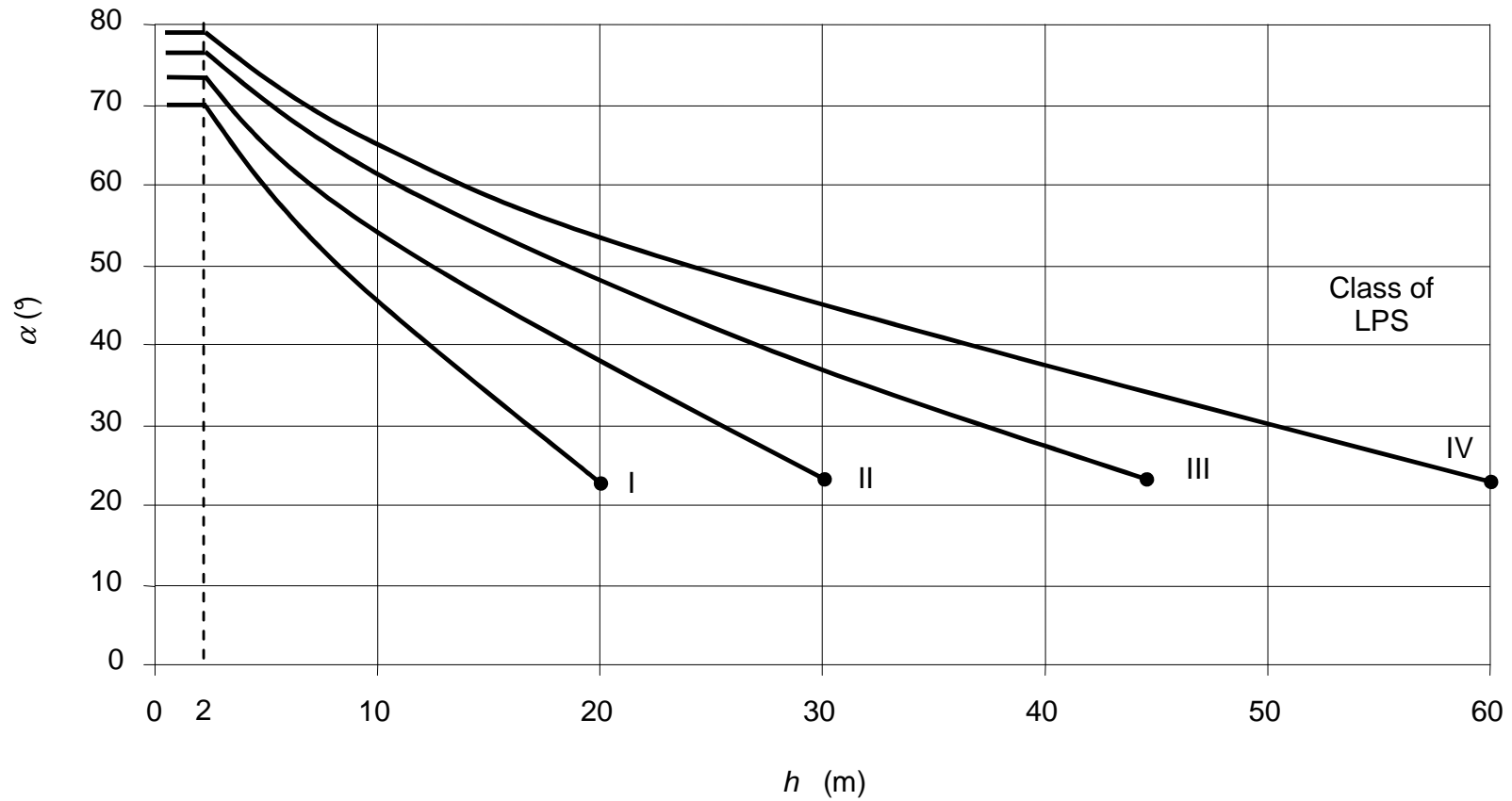


NÍVEL DE PROTEÇÃO	0-20 m	21-30 m	31-45 m	46-60 m	> 60 m
I	25°	(1)	(1)	(1)	(2)
II	35°	25°	(1)	(1)	(2)
III	45°	35°	25°	(1)	(2)
IV	55°	45°	35°	25°	(2)

(1) - APLICAR SOMENTE OS MÉTODOS ELETROGEOMÉTRICO OU GAIOLA DE FARADAY

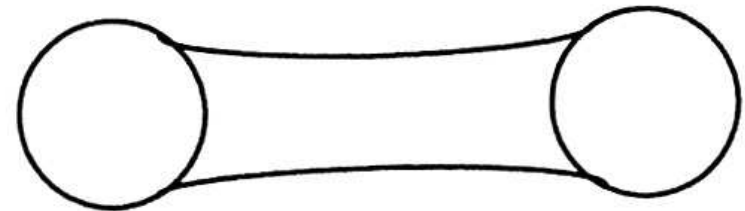
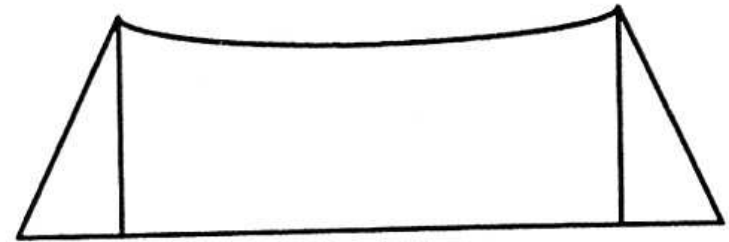
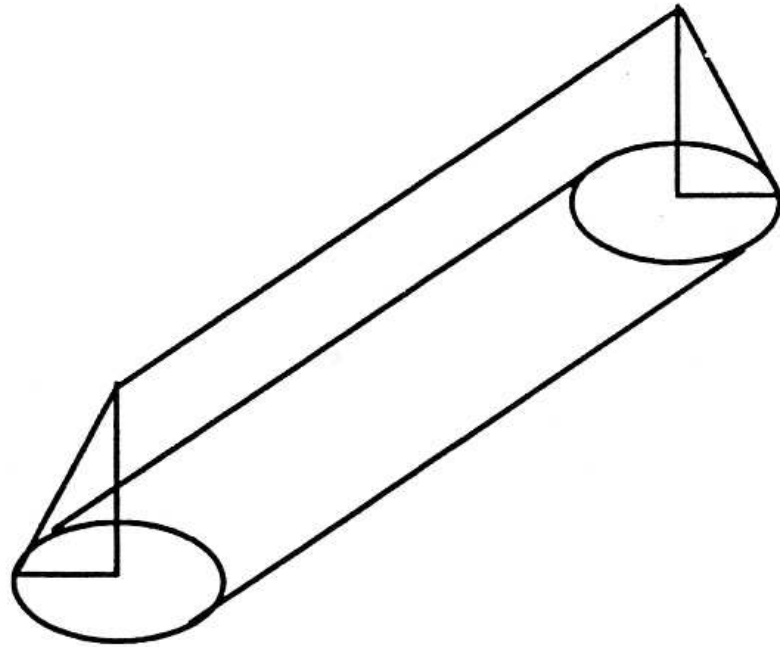
(2) - APLICAR SOMENTE O MÉTODO GAIOLA DE FARADAY

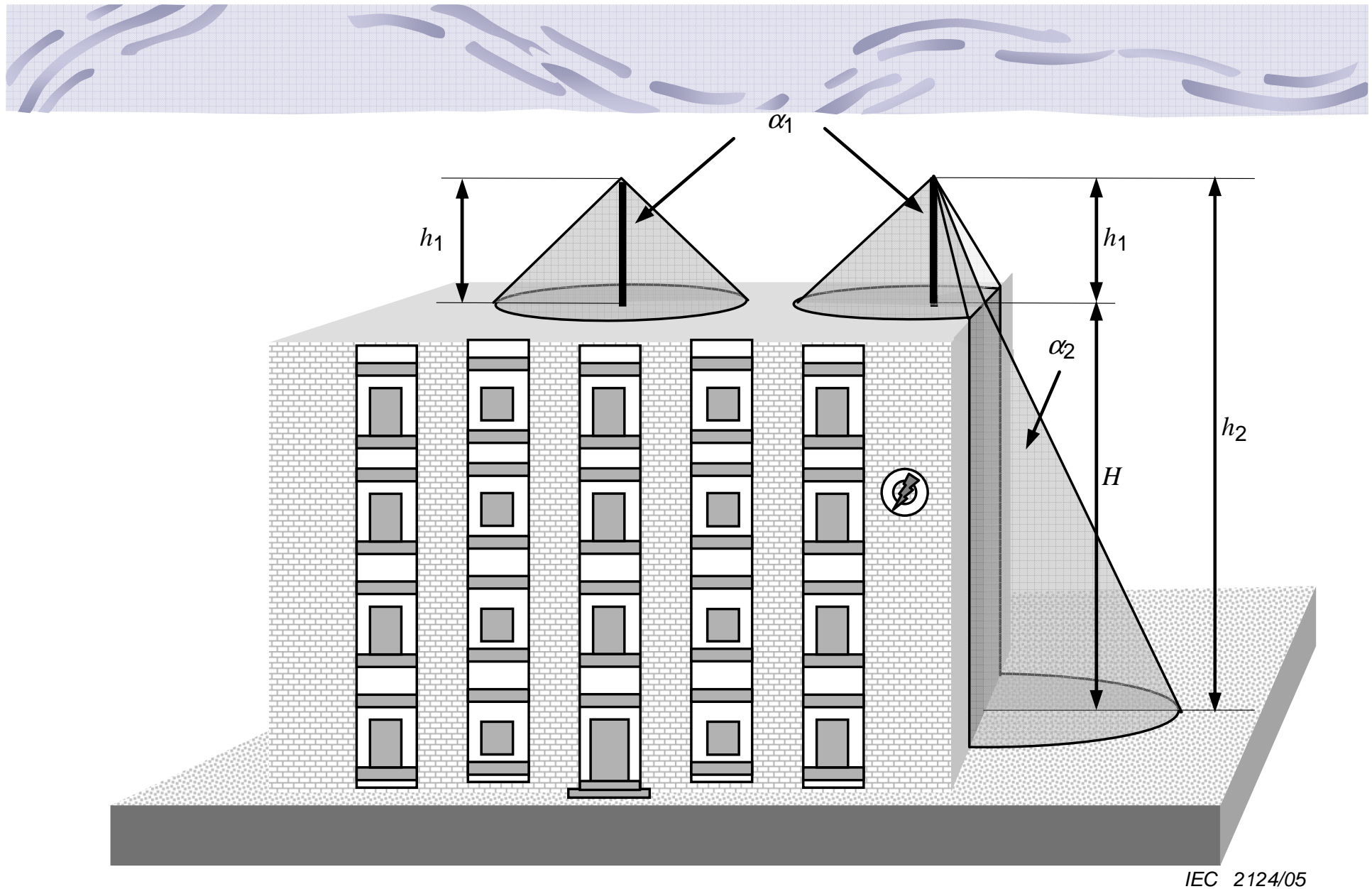
# ÂNGULO DE PROTEÇÃO - IEC 62305-3



# Métodos de Proteção

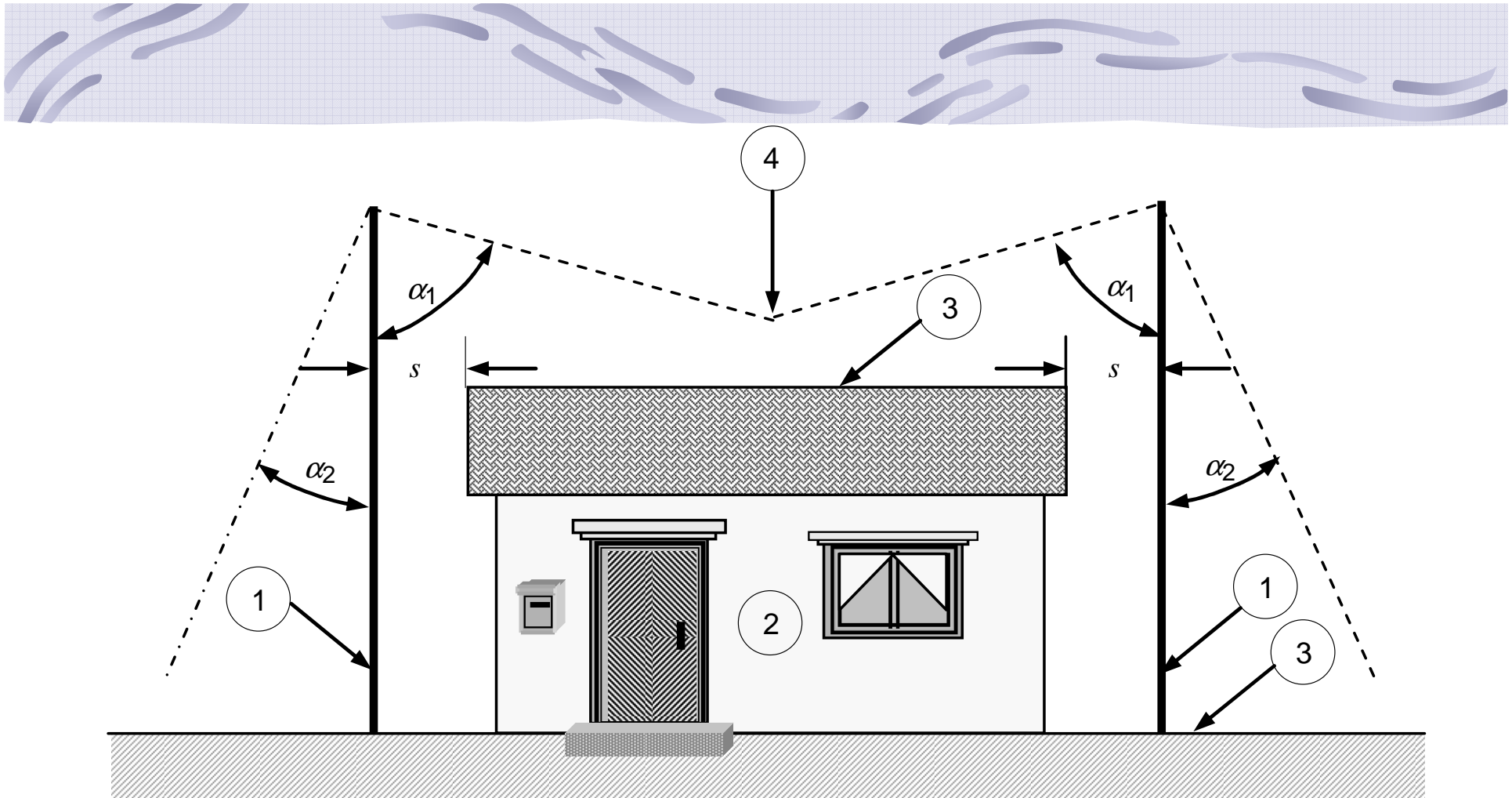
## Ângulo de proteção





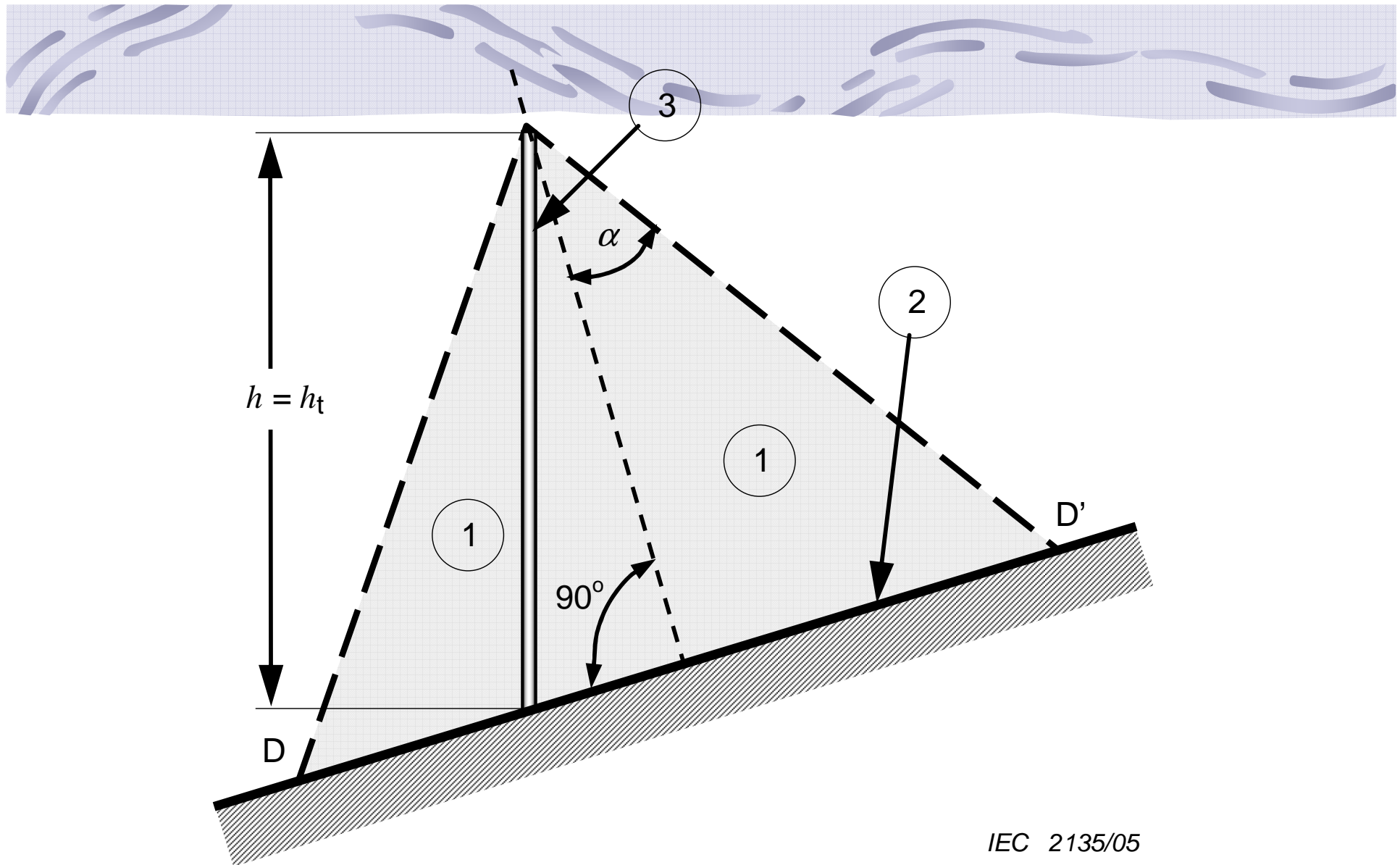
**Projeto do subsistema de captação pelo método do ângulo de proteção para alturas diferentes**





IEC 2125/05

SPDA externo, isolado utilizando dois mastros ou postes captadores posicionados conforme o método do ângulo de proteção

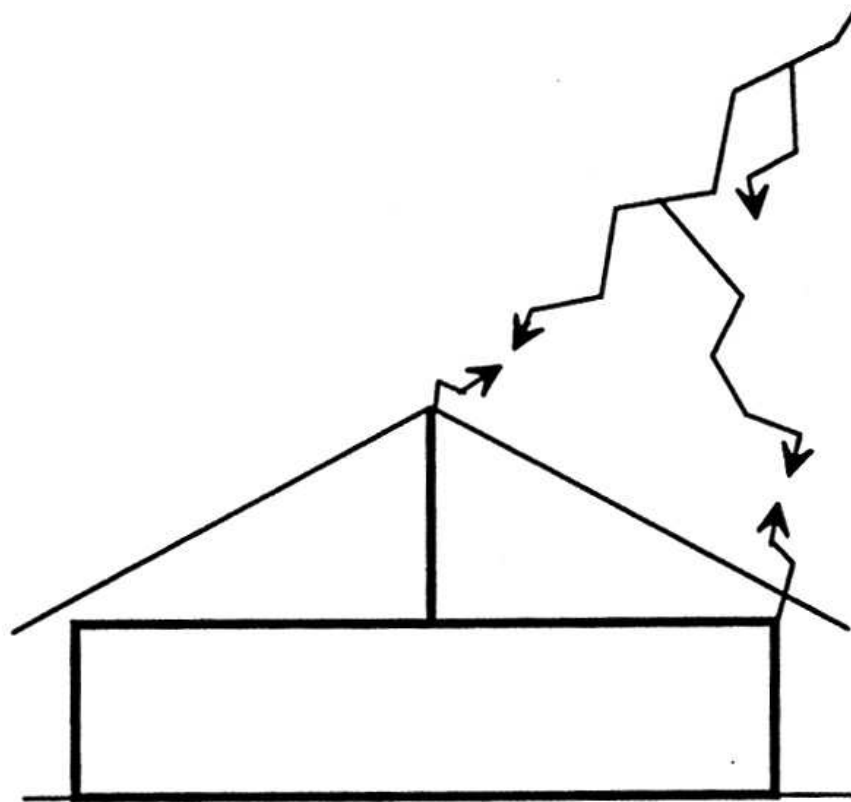


IEC 2135/05

Volume de proteção de um poste em uma superfície inclinada utilizando o cálculo pelo método do ângulo de proteção

## Métodos de Proteção

Ângulo de proteção - possibilidade de falha



## Métodos de Proteção: Subsistema de Captores

### Gaiola de Faraday

- ✚ Teoria de Faraday → campo no interior de uma gaiola é nulo;
- ✚ Prática → campo nulo somente no centro da gaiola;
- ✚ Corrente não se distribui uniformemente por toda a superfície;
- ✚ Utiliza-se captores formados por condutores horizontais;

## Métodos de Proteção

### Gaiola de Faraday - Nível de Proteção

#### ABNT NBR 5419/2005

NÍVEL DE PROTEÇÃO	LARGURA MÁXIMA DA MALHA [m] - a	COMPRIMENTO DA MALHA [m] - b
<b>I</b>	5	$\leq 10 (\leq 2a)$
<b>II</b>	10	$\leq 20 (\leq 2a)$
<b>III</b>	10	$\leq 20 (\leq 2a)$
<b>IV</b>	20	$\leq 40 (\leq 2a)$

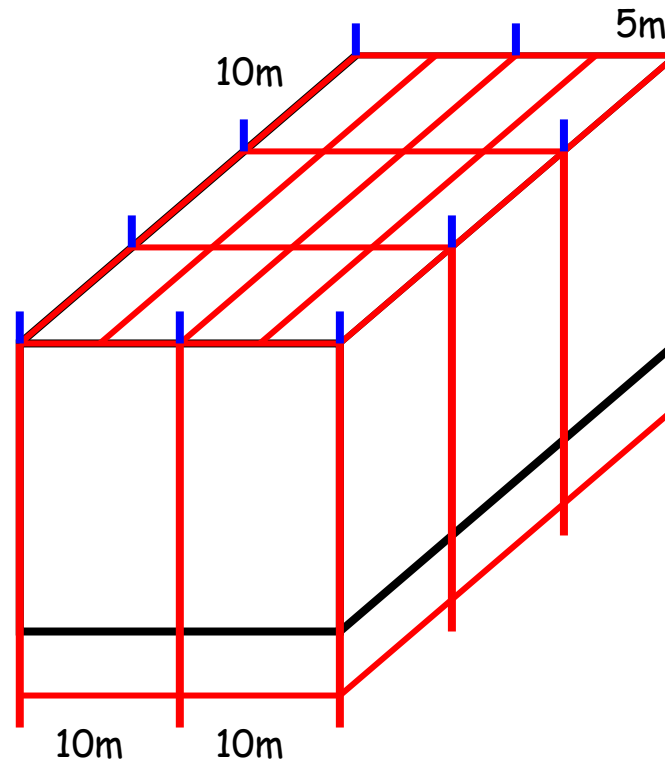
Tabela 2 – Valores máximos dos raios da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção correspondentes a classe do SPDA

IEC 62305-3

Classe do SPDA	Raio da esfera rolante - R m	Método de proteção	
		Máximo afastamento dos condutores da malha m	Ângulo de proteção $\alpha^\circ$
I	20	5 × 5	Veja figura
II	30	10 × 10	
III	45	15 × 15	
IV	60	20 × 20	

# Métodos de Proteção

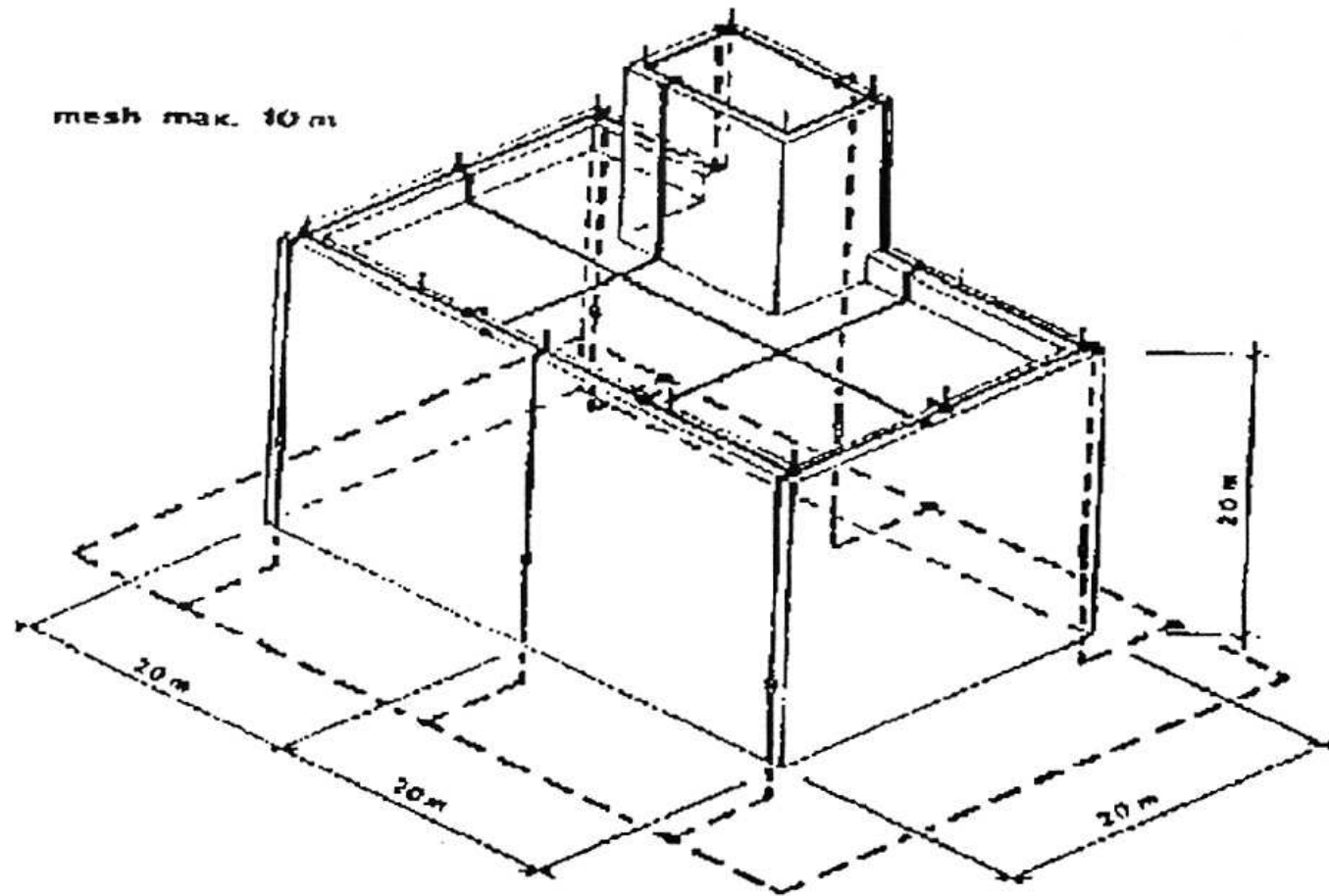
## Gaiola de Faraday



NÍVEL DE PROTEÇÃO	LARGURA MÁXIMA DA MALHA [m]	COMPRIMENTO DA MALHA [m]
I	5	$\leq 10$

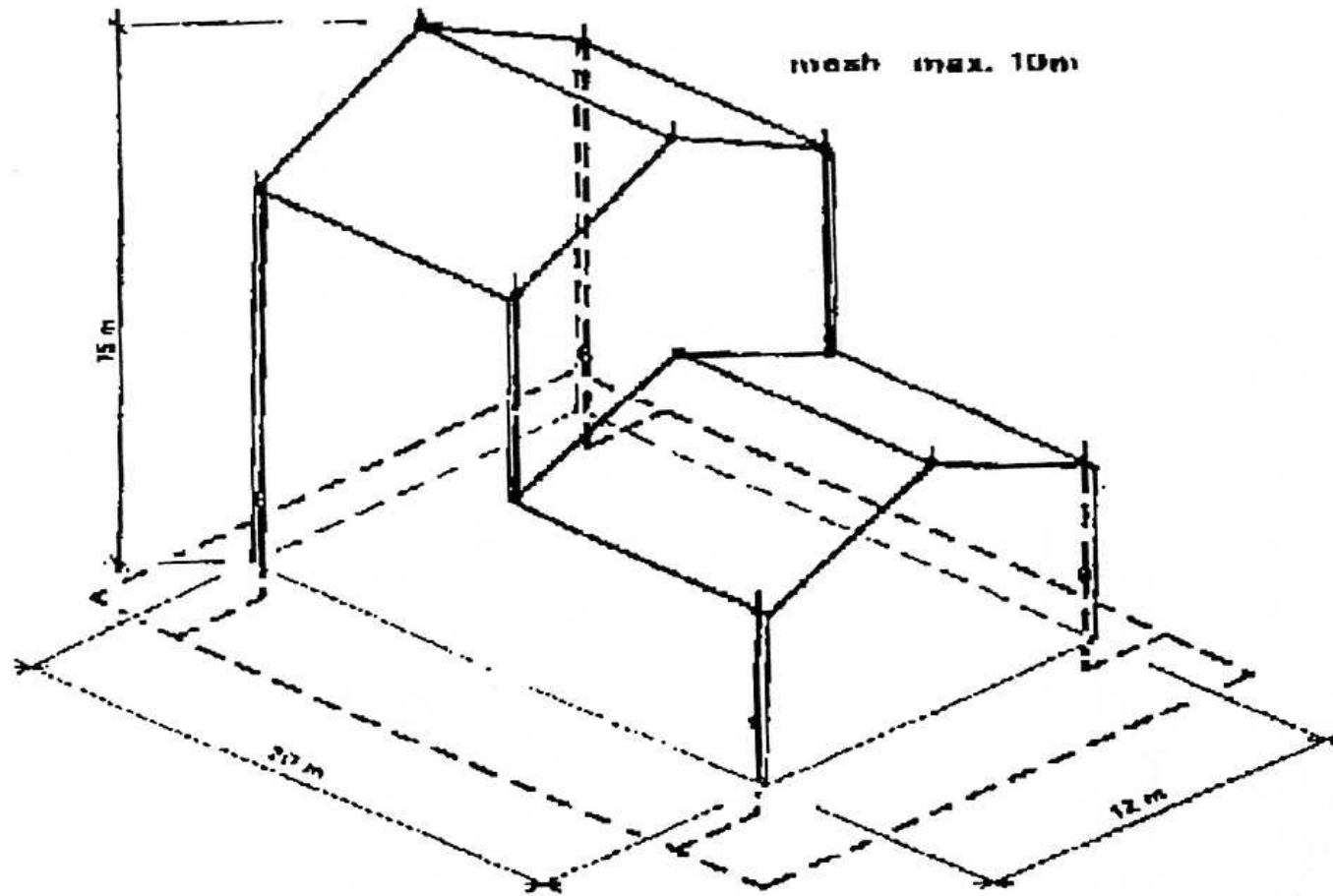
# Métodos de Proteção

## Gaiola de Faraday

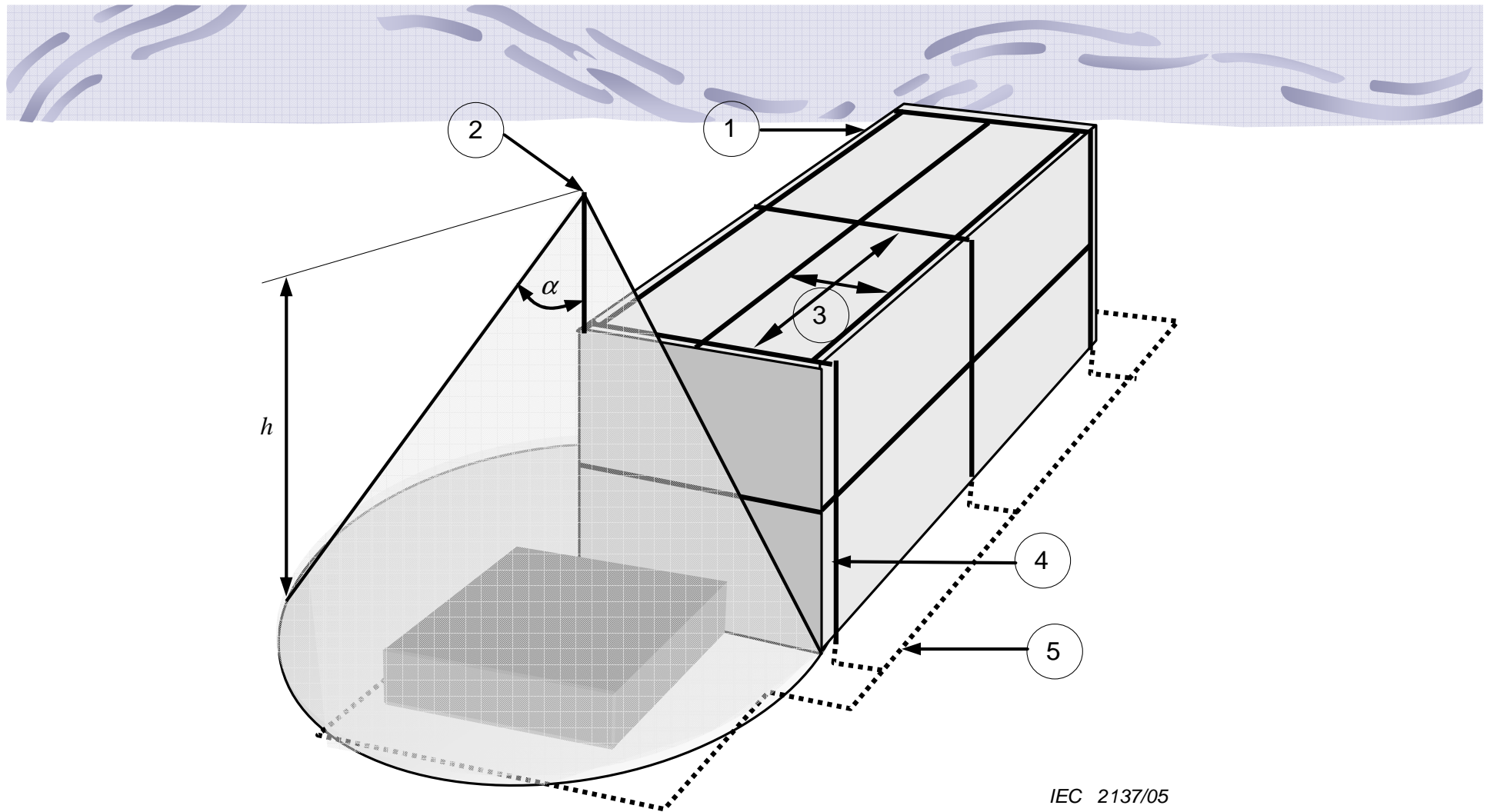


# Métodos de Proteção

## Gaiola de Faraday

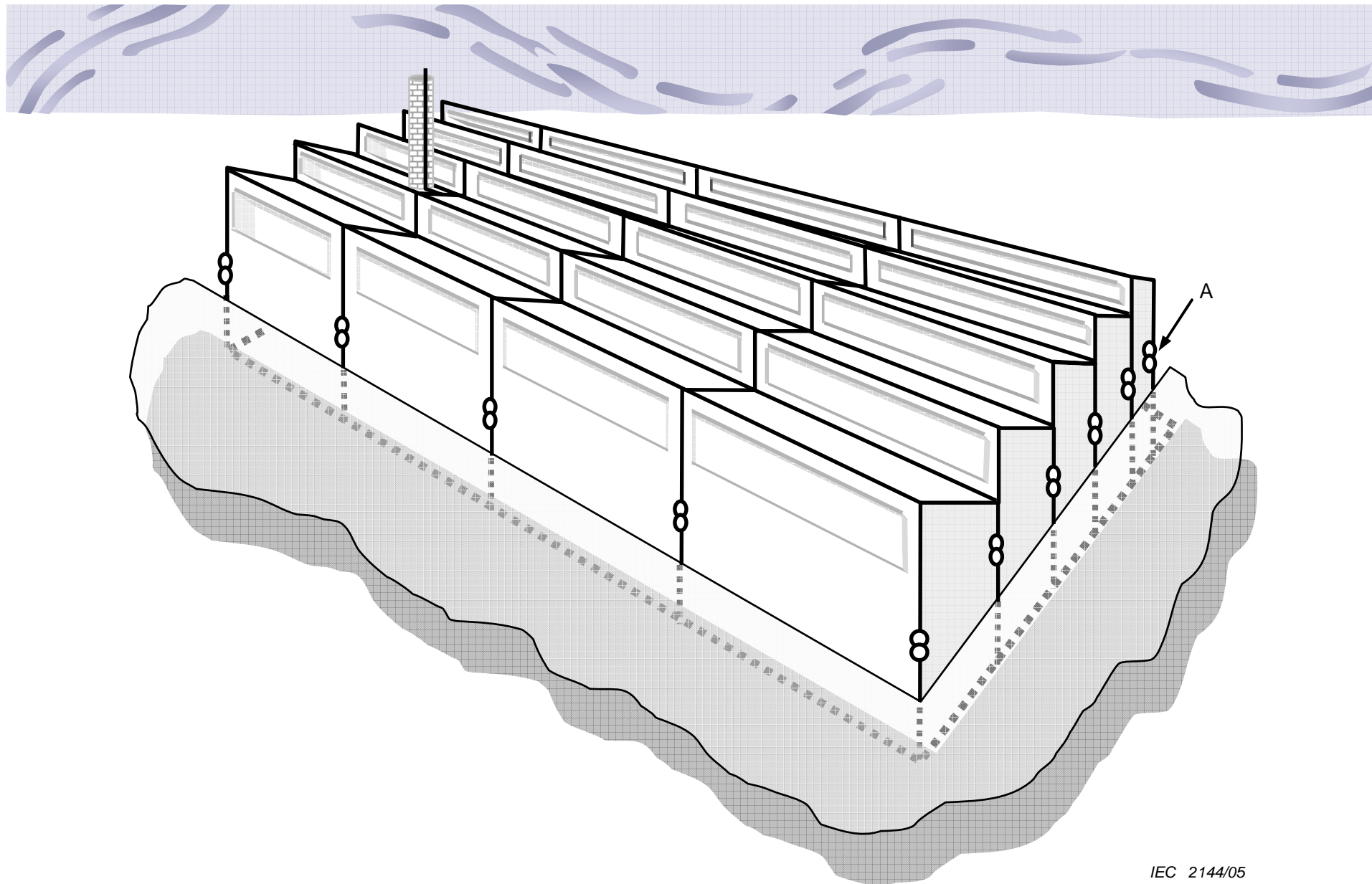






IEC 2137/05

Projeto de um subsistema de captação do SPDA, de acordo com o método das esferas rolantes, método do ângulo de proteção, método das malhas. Disposição geral dos elementos do subsistema de captação



IEC 2144/05

Exemplo de projeto de subsistema de captação para SPDA não isolado conforme o método das malhas



## SPDA

### Captoreis Naturais

Qualquer elemento condutor exposto, que possa ser atingido por uma DA.

- coberturas metálicas sobre o volume a ser protegido;
- mastros ou outros elementos salientes nas coberturas;
- calhas de recolhimento de águas pluviais;
- estruturas metálicas de suporte de envidraçados;
- tanques metálicos;
- tubulações metálicas, exceto gás;
- armaduras de aço interligadas das estruturas de concreto armado.

**obs: espessura do material não deve ser menor do que 0,5mm**




# SUBSISTEMA DE DESCIDAS





## SPDA


### Descidas

- suportar térmica e mecanicamente as correntes e os respectivos esforços dinâmicos;
  - não haja descargas laterais;
  - não haja risco para as pessoas que estejam nas proximidades;
  - resistir as intempéries e a corrosão.
- 



## SPDA

### Condutores de descida

- distância dos condutores de descida e as instalações metálicas não deve ser inferior a 2m;
  - condutores de descida não naturais devem ser interligados através de condutores horizontais formando anéis;
  - devem ser instalados a uma distância mínima de 0,5m de portas, janelas e outras aberturas;
  - devem ser fixados a cada metro de percurso.
- 

## SPDA

### Condutores de descida

- paredes de material não inflamável → d=0 ou embutidos;
- paredes de material inflamável → d=10cm;
- não é permitido nenhum tipo de emenda;
- devem possuir proteção mecânica de 2,5m acima do nível do solo;
- construções com concreto protendido → Cabos não podem fazer parte do SPDA;
- construções em concreto armado → armaduras podem ser utilizadas como descidas, desde que apresentem valores inferiores a  $1\Omega$ .

## SPDA

### Condutores de descida - ABNT NBR 5419/2005

#### ESPAÇAMENTO MÉDIO DOS CONDUTORES DE DESCIDA NÃO NATURAIS CONFORME O NÍVEL DE PROTEÇÃO

NÍVEL DE PROTEÇÃO	ESPAÇAMENTO MÉDIO [m]
I	10
II	15
III	20
IV	25

Tabela 4 – Valores típicos de distância entre os condutores de descida de acordo com a classe de SPDA - IEC 62305-3


Classe do SPDA	Distâncias m
I	10
II	10
III	15
IV	20





## SPDA


### Eletrodos naturais

- armaduras de aço → 50% de seus cruzamentos amarrados com arame recozido ou soldados;
  - construções em alvenaria → barras de aço com diâmetro mínimo de 8mm;
  - as armaduras das fundações devem ser interligadas com as armaduras dos pilares das estruturas.
- 



## SPDA

### Conexões

- devem ser as mínimas possíveis;
  - soldas exotérmicas ou elétricas, conectores de pressão ou parafusos;
  - devem ser compatíveis com esforços térmicos e mecânicos;
  - conexões embutidas no solo devem ser protegidas contra corrosão através da instalação de caixa de inspeção;
- 

## Construções

### Concreto Pré-moldado

- ✓ Aço das armaduras bem amarradas → garantem boa distribuição da corrente;
- ✓ se comporta como estrutura auto protegida → apresenta blindagem razoável para equipamentos em seu interior;
- ✓ fabricantes fornecem peças com chapas metálicas nas pontas que irão se encaixar em outras peças.



# NBR 5419/2005

**Tabela 3 — Seções mínimas dos materiais do SPDA**

Material	Captor e anéis intermediários mm <sup>2</sup>	Descidas (para estruturas de altura até 20 m) mm <sup>2</sup>	Descidas (para estruturas de altura superior a 20 m) mm <sup>2</sup>	Eletrodo de aterramento mm <sup>2</sup>
Cobre	35	16	35	50
Alumínio	70	25	70	-
Aço galvanizado a quente ou embutido em concreto	50	50	50	80

**Tabela 4 — Espessuras mínimas dos componentes do SPDA**

**Dimensões em milímetros**

Material	Captadores			Descidas	Aterramento
	NPQ	NPF	PPF		
Aço galvanizado a quente	4	2,5	0,5	0,5	4
Cobre	5	2,5	0,5	0,5	0,5
Alumínio	7	2,5	0,5	0,5	—
Aço Inox	4	2,5	0,5	0,5	5

NPQ - não gera ponto quente;  
 NPF - não perfura;  
 PPF - pode perfurar.

Material	Configuração	Área da seção mínima mm <sup>2</sup>	Comentários <sup>4)</sup>
<b>Cobre</b>	Fita Maciça	35	Espessura 1,75mm
	Arredondado Maciço <sup>4)</sup>	35	Diâmetro 6mm
	Encordado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5mm
	Arredondado Maciço <sup>2)</sup>	200	Diâmetro 16mm
<b>Alumínio</b>	Fita Maciça	70	Espessura 3mm
	Arredondado Maciço	70	Diâmetro 9,5mm
	Encordado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5mm
	Arredondado Maciço <sup>2)</sup>	200	Diâmetro 16mm
<b>Aço cobreado IACS 30% <sup>6)</sup></b>	Arredondado Maciço	50	Diâmetro 8mm
	Encordado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3mm
<b>Alumínio cobreado IACS 64%</b>	Arredondado Maciço	50	Diâmetro 8mm
	Encordado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,6mm
<b>Aço galvanizado a quente <sup>1)</sup></b>	Fita Maciça	50	Espessura mínima 2,5mm
	Arredondado Maciço	50	Diâmetro 8mm
	Encordado	50	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7mm
	Arredondado Maciço <sup>2)</sup>	200	Diâmetro 16mm
<b>Aço inoxidável <sup>3)</sup></b>	Fita Maciça	50	Espessura 2mm
	Arredondado Maciço	50	Diâmetro 8mm
	Encordado	70	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7mm
	Arredondado Maciço <sup>2)</sup>	200	Diâmetro 16mm

**50 na IEC**

**Tabela 7 – Material, configuração e dimensões mínimas de eletrodo de aterramento**

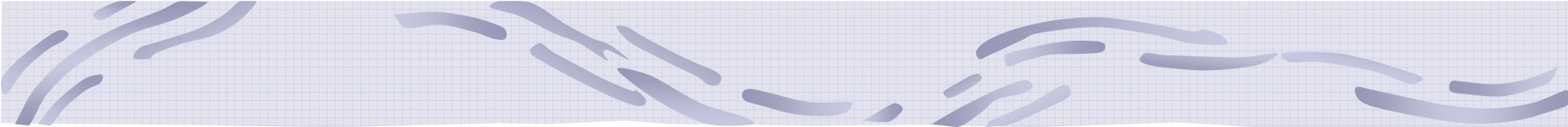
Material	Configuração	Dimensões Mínimas <sup>6)</sup>		Comentários <sup>6)</sup>
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordado <sup>3)</sup>	-	50mm <sup>2</sup>	Diâmetro de cada fio cordoalha 3mm
	Arredondado Maciço <sup>3)</sup>	-	50mm <sup>2</sup>	Diâmetro 8mm
	Fita Maciça <sup>3)</sup>	-	50mm <sup>2</sup>	Espessura 2 mm
	Arredondado Maciço	15mm	-	
	Tubo	20mm	-	Espessura da parede 2mm
Aço galvanizado à quente	Arredondado Maciço <sup>1) 2)</sup>	16mm	Diâmetro 10mm	-
	Tubo <sup>1) 2)</sup>	25mm	-	Espessura da parede 2mm
	Fita Maciça <sup>1)</sup>	-	90mm <sup>2</sup>	Espessura 3mm
	Encordado	-	70mm <sup>2</sup>	-
Aço cobreado	Arredondado Maciço <sup>4)</sup> Encordado <sup>7)</sup>	14mm	50mm <sup>2</sup>	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3mm
Aço inoxidável <sup>5)</sup>	Arredondado Maciço Fita Maciça	15mm	Diâmetro 10 mm 100 mm <sup>2</sup>	Espessura min.2 mm

**Tabela 3 – Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistemas de captores**

Classe do SPDA	Material	Espessura <sup>a</sup> t mm	Espessura <sup>b</sup> t' mm
I a IV	Chumbo	–	2,0
	Aço (inoxidável, galvanizado a quente)	4	0,5
	Titanio	4	0,5
	Cobre	5	0,5
	Alumínio	7	0,65
	Zinco	–	0,7


<sup>a</sup> t previne perfuração, pontos quentes ou ignição.

<sup>b</sup> t' somente para chapas metálicas se não for importante prevenir a perfuração, pontos quentes ou problemas com ignição.

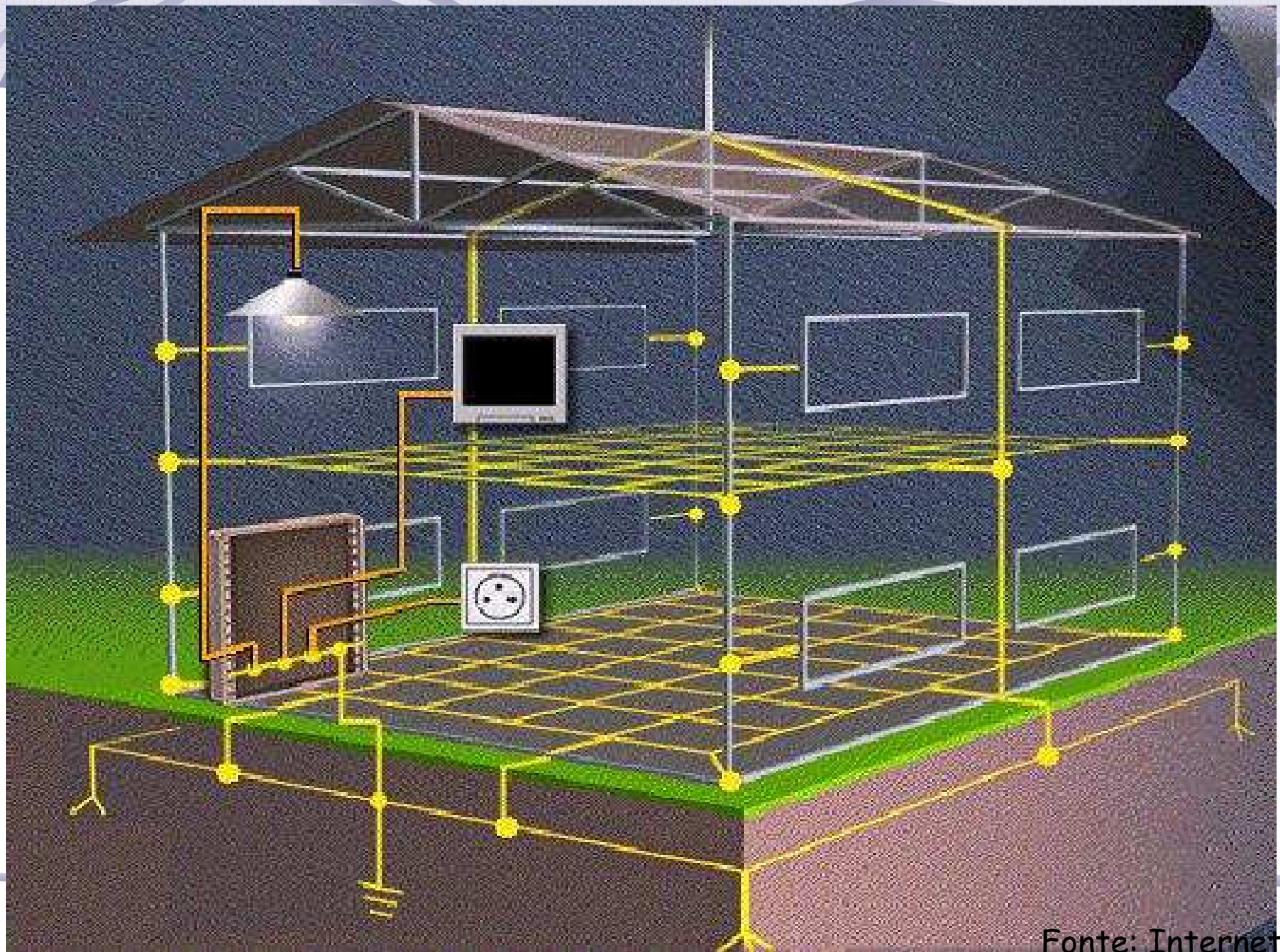


**SPDA - Sistema interno de proteção**  
Equalização de Potencial

MEDIDA NECESSÁRIA PARA A REDUÇÃO DE RISCOS DE INCÊNDIOS, EXPLOSÕES E CHOQUES ELÉTRICOS, DENTRO DO VOLUME A SER PROTEGIDO.







Fonte: Internet

# LIGAÇÃO EQUIPOTENCIAL DAS INSTALAÇÕES METÁLICAS E DAS MASSAS (LEP/TAP)

- ☛ Uma ligação equipotencial deve ser efetuada:
    - SUBSOLO ou próximo ao QG de Entrada BT (condutores de lig. equipot devem ser conectados a uma barra de lig. equipot. principal – conectada ao subsistema de aterramento)
    - ACIMA DO NÍVEL DO SOLO (em intervalos não superiores a 20 m) – Barras secundárias de lig. equipotencial devem ser conectadas a armaduras do concreto ao nível correspondente
    - Distâncias de segurança não podem ser atendidas
-

# LIGAÇÃO EQUIPOTENCIAL

- Condutores de ligação equipotencial – onde a continuidade elétrica não for assegurada por ligações naturais (tab.6)
  - DPS – quando uma ligação equipot. direta não for permitida
-

**SPDA**

## Equalização de Potencial - ABNT NBR 5419/2005

**SEÇÕES MÍNIMAS DOS CONDUTORES DE LIGAÇÃO EQUIPOTENCIAL PARA CONDUZIR  
PARTE SUBSTANCIAL DA CORRENTE DE DESCARGA ATMOSFÉRICA  
REDUZIDA**

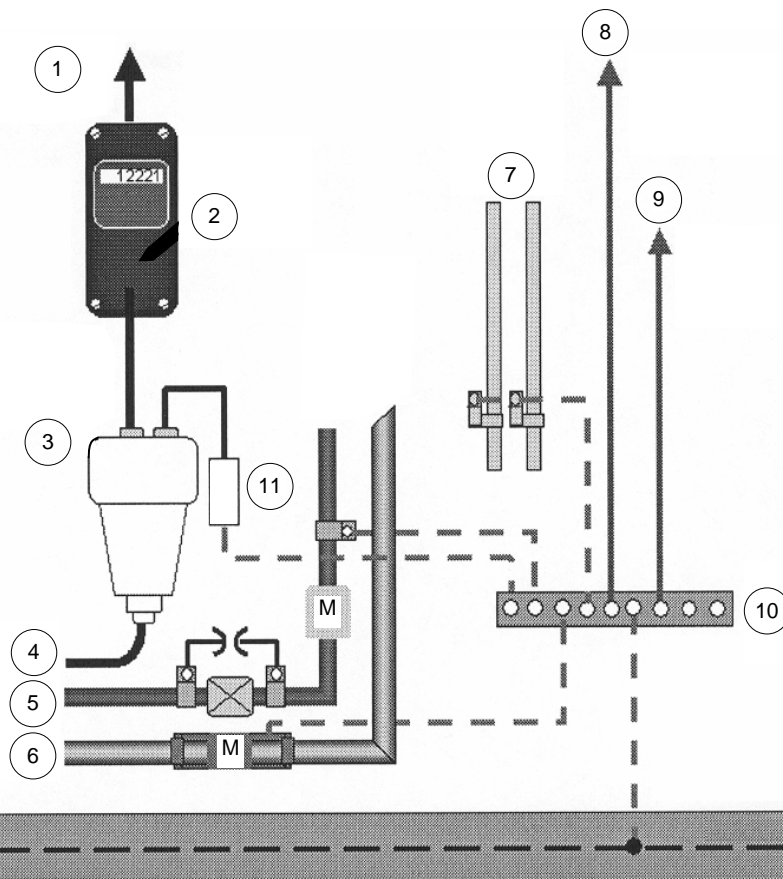
Nível de Proteção	Material	Seção [mm <sup>2</sup> ]	
I - IV	Cobre	16	6
	Alumínio	25	10
	Aço	50	16

**Tabela 8 - Dimensões mínimas dos condutores que interligam diferentes barras de ligação equipotencial (BEP ou BEL) ou que ligam essas barras ao sistema de aterramento- IEC 62305-3/2010**

Nível do SPDA	Modo de instalação	Material	Área da seção reta mm <sup>2</sup>
I a IV	Não enterrado	Cobre	16
		Alumínio	25
		Aço galvanizado a fogo	50
	Enterrado	Cobre	50
		Alumínio	Não aplicável
		Aço galvanizado a fogo	80

**Tabela 9 - Dimensões mínimas dos condutores que ligam as instalações metálicas internas à barra de ligação equipotencial (BEP ou BEL)**

Nível do SPDA	Material	Área da seção reta mm <sup>2</sup>
I a IV	Cobre	6
	Alumínio	16
	Aço galvanizado a fogo	22



### Legenda

- 1 Força - para o usuário
- 2 Medidor de energia
- 3 Conexão de energia
- 4 Cabos da concessionária
- 5 Gas
- 6 Água
- 7 Sistema de Aquecimento Central
- 8 Equipamentos eletrônicos
- 9 Blindagem do cabo da antena
- 10 BEP
- 11 DPS
- M Medidor de água

IEC 2183/05

Exemplo de uma barra de  
ligação equipotencial principal

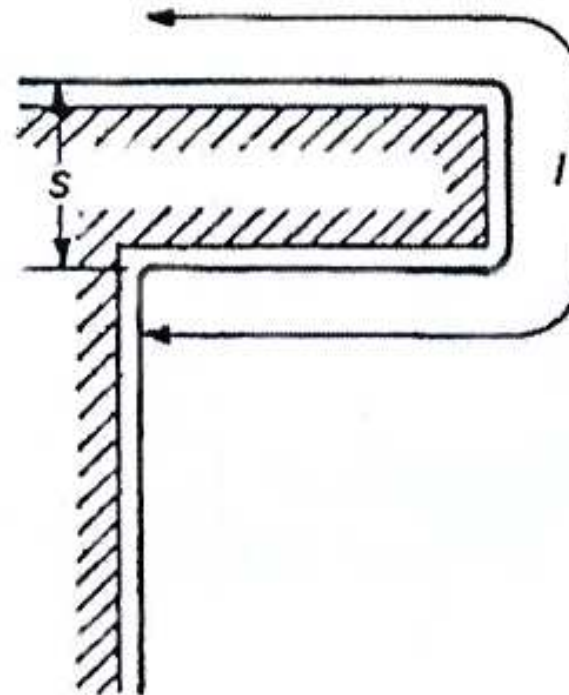
# Proximidade do SPDA com outras instalações

DISTÂNCIA DE SEPARAÇÃO "s" ENTRE OS CONDUTORES DO SPDA E AS INST. METÁLICAS, MASSAS E COND. SEP

DISTÂNCIA DE SEGURANÇA "d"

$$s \geq d$$

$$d = k_i \cdot (K_c / K_m) \cdot l(m)$$



$S$  = distância de separação

$l$  = comprimento do condutor

**Figura 3 — Laço formado por um condutor de descida**



# ABNT NBR 5419/2005

Tabela 8 — Proximidade do SPDA com as instalações - Valores do coeficiente  $k_i$

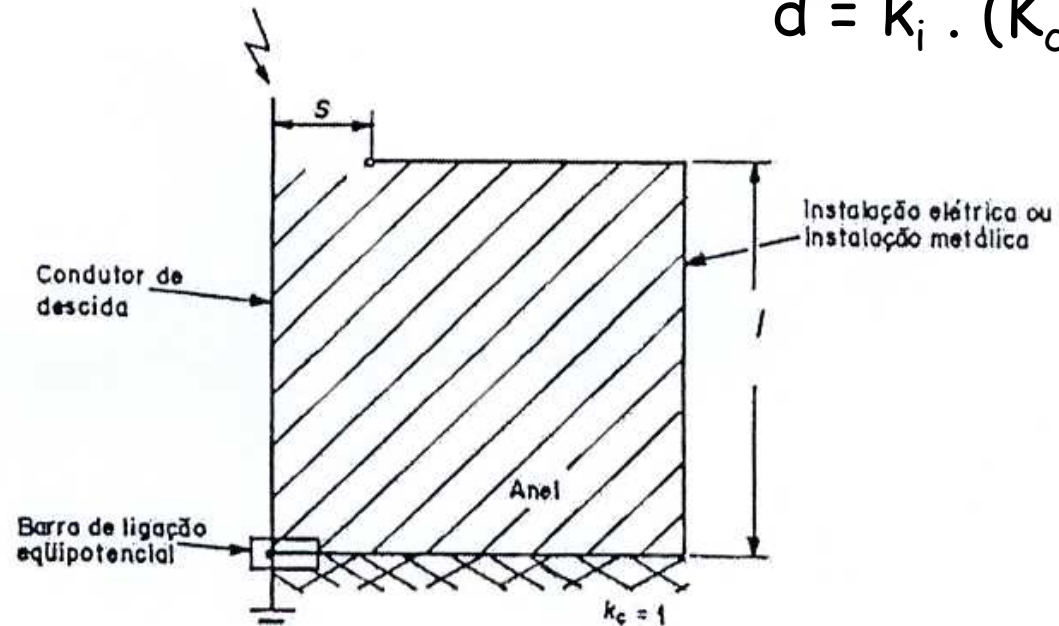
Nível de proteção	$k_i$
I	0,1
II	0,075
III - IV	0,05

$$d = k_i \cdot (K_c / K_m) \cdot l(m)$$

Tabela 9 — Proximidade do SPDA com as instalações - Valores do coeficiente  $k_m$

Material	$k_m$
Ar	1
Sólido	0,5

$$d = k_i \cdot (K_c / K_m) \cdot l(m)$$

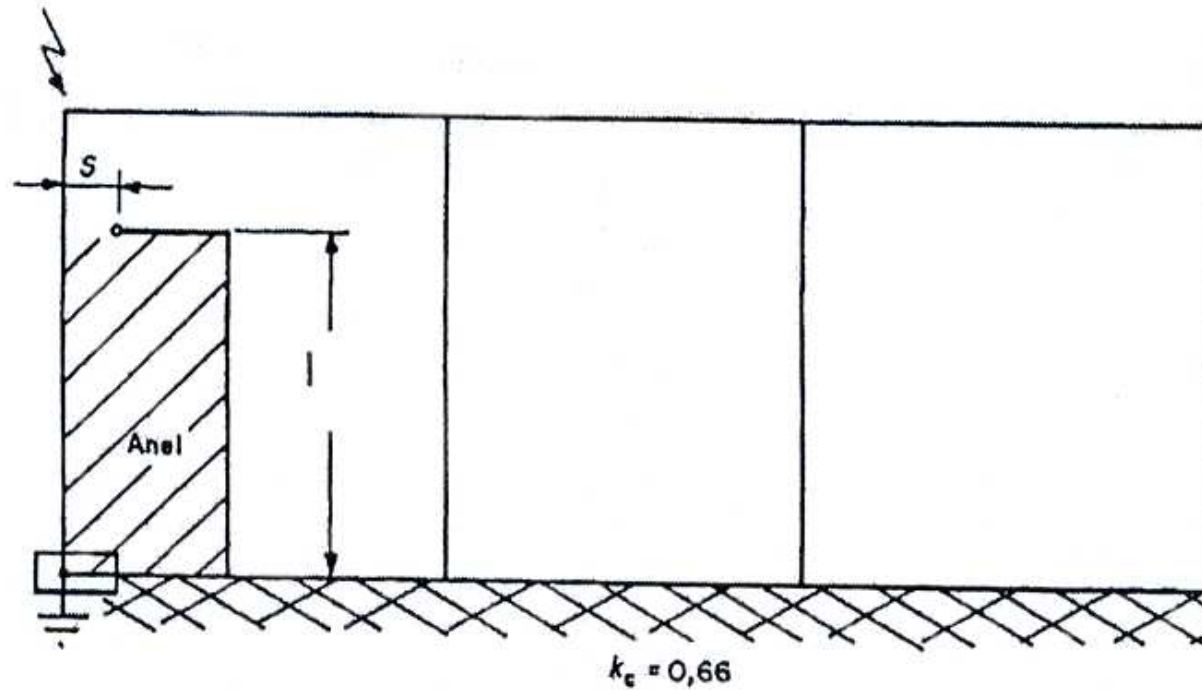


S = distância de separação

l = comprimento do condutor de descida

**Figura 4 — Proximidade do SPDA com instalações - Valor do coeficiente  $K_c$  numa configuração unidimensional (ver 5.2.2)**

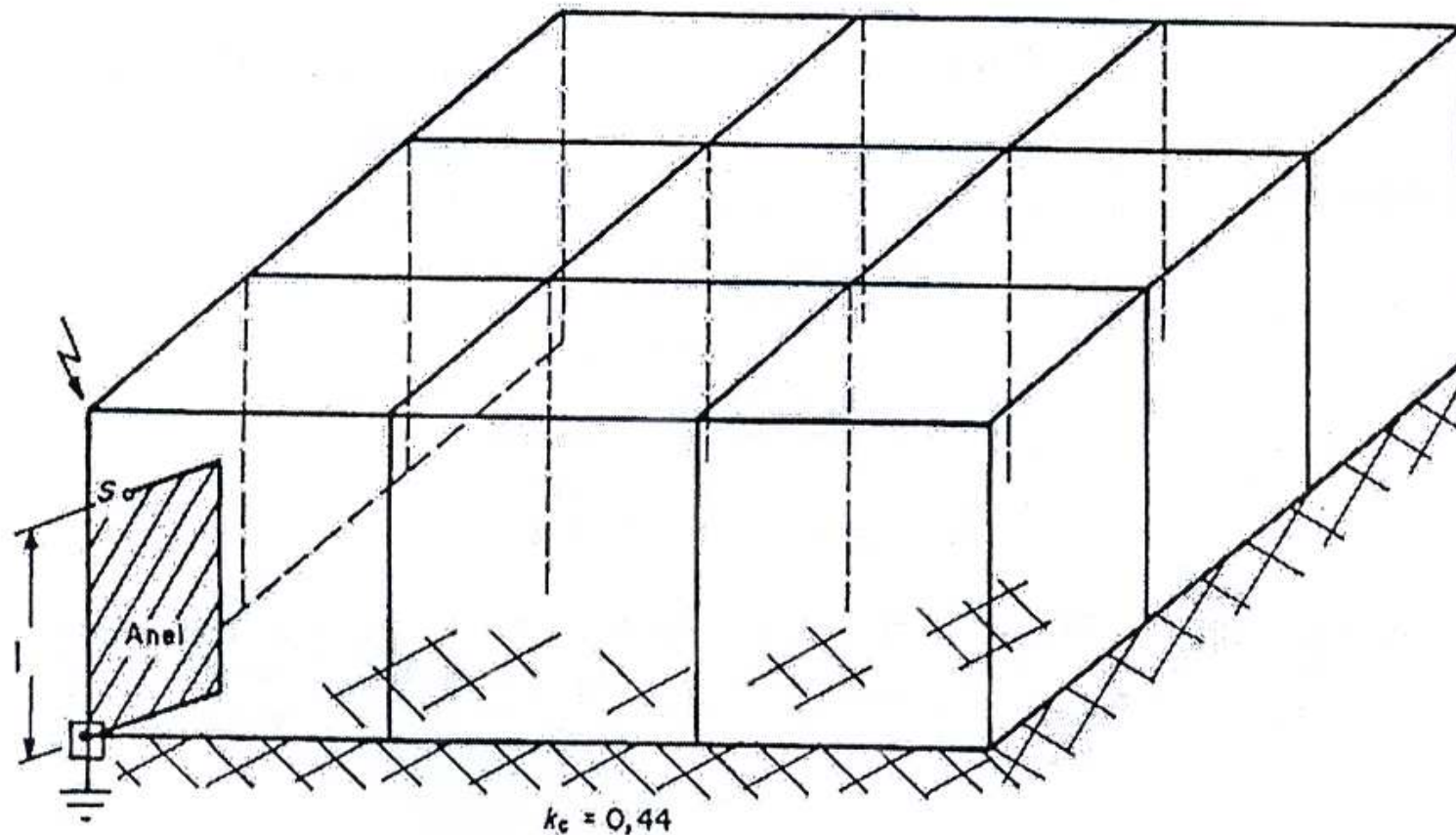
$$d = k_i \cdot (K_c / K_m) \cdot l(m)$$



S = distância de separação

l = comprimento do condutor de descida

**Figura 5 — Proximidade do SPDA com instalações - Valor do coeficiente  $K_c$  numa configuração bidimensional (ver 5.2.2)**



S = distância de separação

l = comprimento do condutor de descida

$$d = k_i \cdot (K_c / K_m) \cdot l(m)$$

Figura 6 — Proximidade do SPDA com as instalações - Valor do coeficiente Kc numa configuração tridimensional (ver 5.2.2)

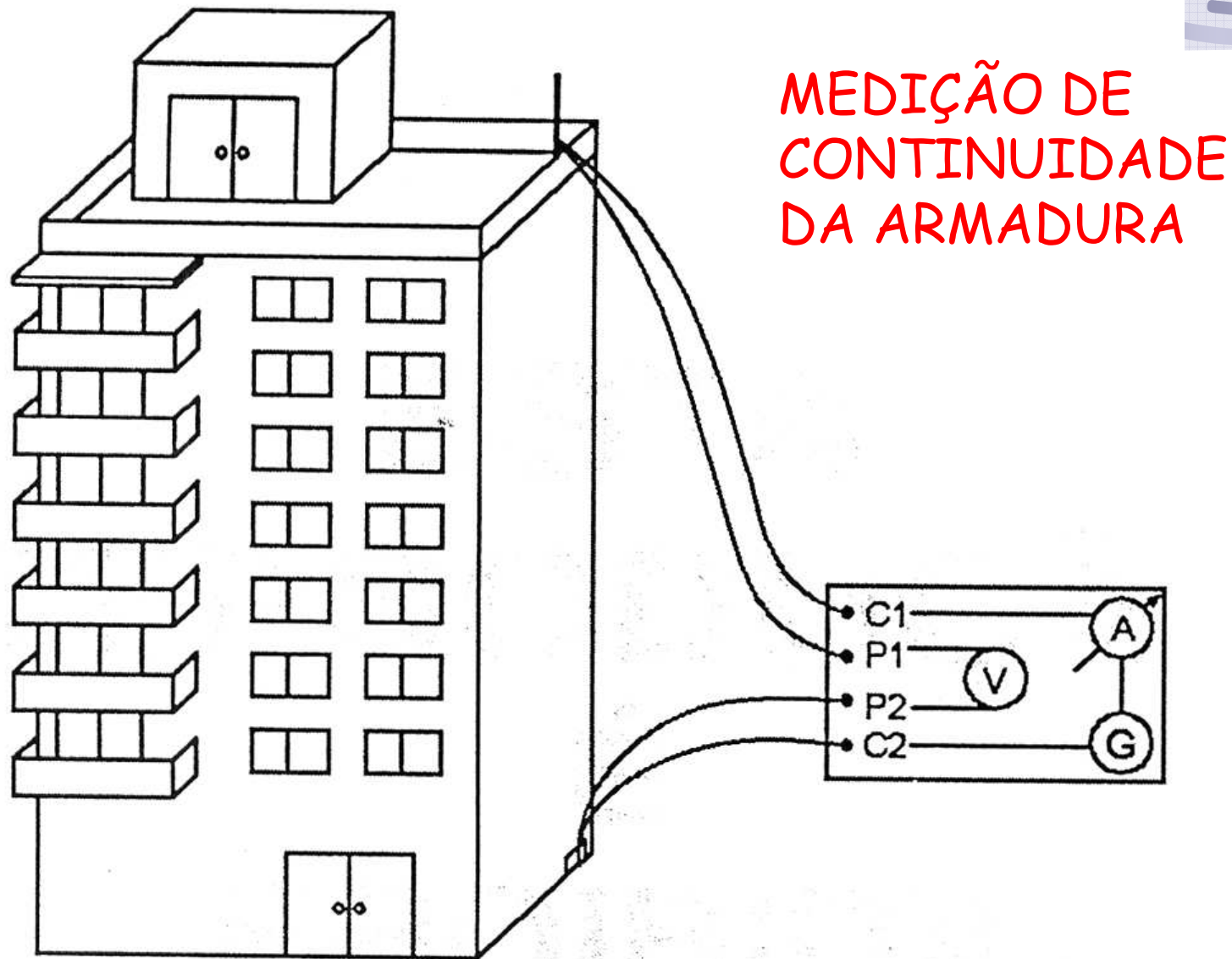
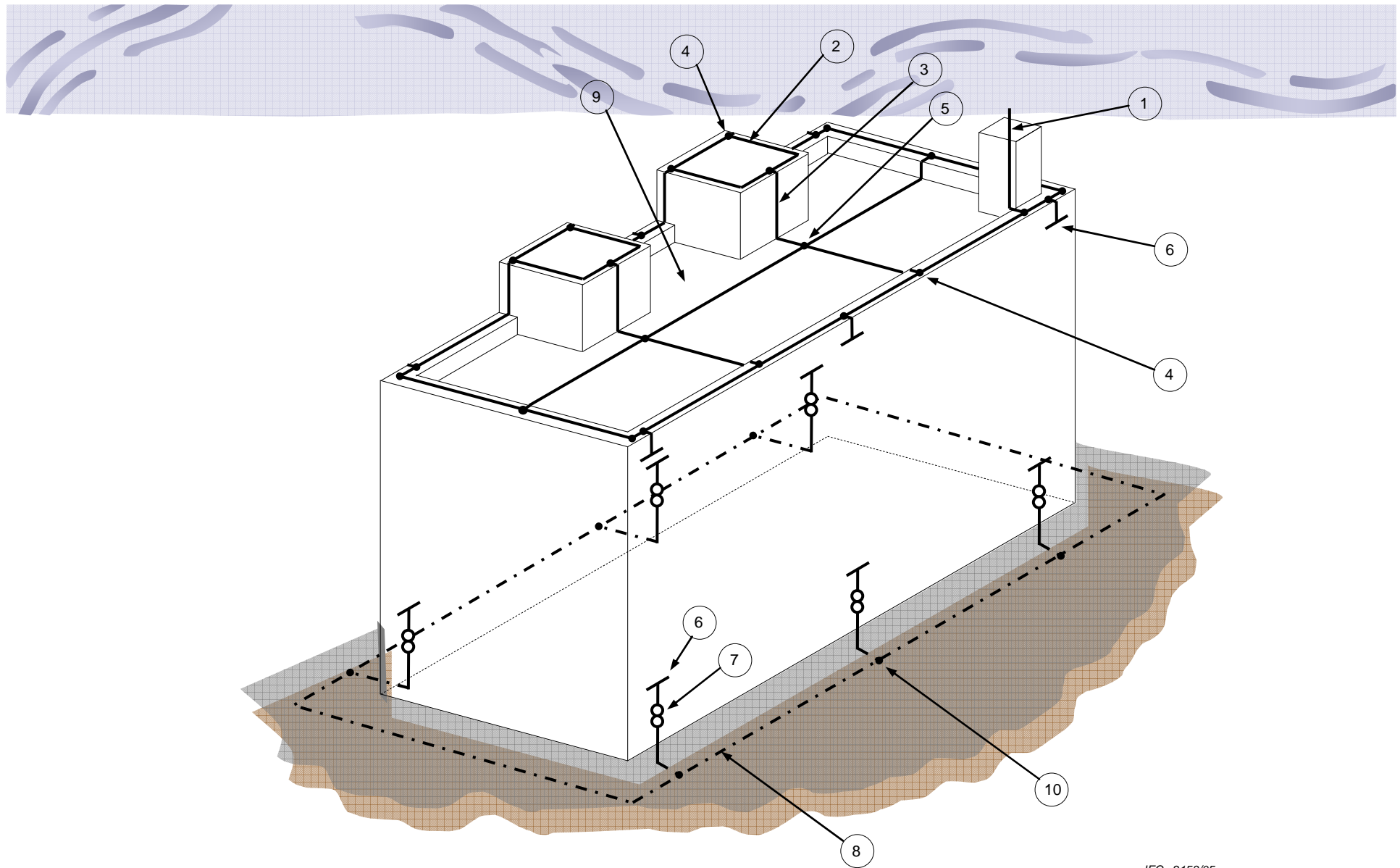


Figura E.1 — Método de medição

## Análise do Resultado

- NBR 5419/2005 - item 5.1.2.5.5;
- Resistências medidas: inferior a  $1 \Omega$ ;
- Norma Italiana CEI → exige  $0,1\Omega$  entre 2 pontos da estrutura;
- IEC → recomenda acompanhamento das amarrações - responsabilidade pela continuidade elétrica;
- Dificuldade em garantir continuidade elétrica → utilização de ferragens somente para o SPDA.
- IEC Inferior a  $0,2 \Omega$



IEC 2153/05

Construção de um SPDA externo em uma edificação de concreto armado utilizando a armação dos pilares como componentes naturais