

# Eletrificação de Tempestades

Nomes: Eric, Leonardo e Iuri



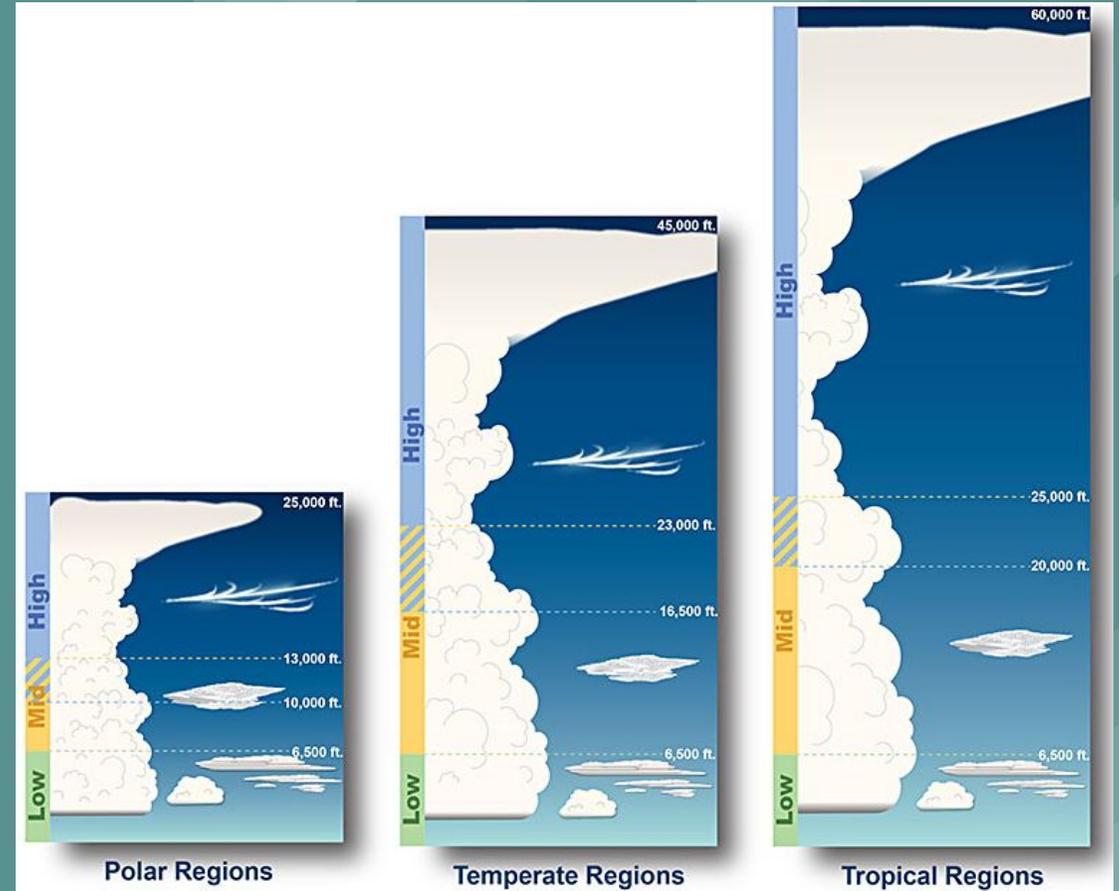
# Sumário

- Cumulonimbus
- O que são Tempestades?
- Características Gerais
- Teorias de Eletrificação
- Teoria da Convecção
  - Captura de Íons
  - Mecanismo Indutivo
- Teoria da Precipitação
- Como as descargas ocorrem
- Raios
- Tipos de relâmpagos



# Cumulonimbus

- Fontes primárias para formação de tempestades
- Correntes ascendentes de ar quente e úmido que atinge grandes altitudes
- Quando o poder de convecção diminui forma as bigornas devido aos ventos horizontais



# O que são Tempestades?

Definição Formal: Fenômeno Atmosférico marcado por ventos fortes, trovoadas, relâmpagos, granizo e chuva, tendo duração de dezenas de minutos.

# Características Gerais

- As cargas negativas usualmente se concentram na parte inferior das tempestades/nuvens, enquanto as cargas positivas no topo;
- Diferentes polaridades de carga podem existir ao longo de uma região;
- Perfis verticais de  $E_z$  podem indicar mais do que 3 regiões de cargas (modelo tripólo);
- Camadas de blindagem geralmente existem nas bordas das nuvens, em especial no topo;
- A maioria dos íons pequenos introduzidos pela base das tempestades são produzidos por pontos de descarga tais como: árvores, grama, antenas e etc;
- Em geral são formadas por nuvens do tipo Cumulonimbus.

# Teorias de Eletrificação

As teorias de eletrificação servem para tentar explicar o carregamento das tempestades. Atualmente se dividem atualmente em 2 tipos:

- Teoria da Convecção
- Teoria da Precipitação

# Teoria da Convecção

Correntes ascendentes de ar quente, carregadas positivamente transportem cargas positivas até o topo da nuvem. Onde atraem cargas negativas produzidas pelos raios cósmicos, logo formando uma camada negativa de blindagem.

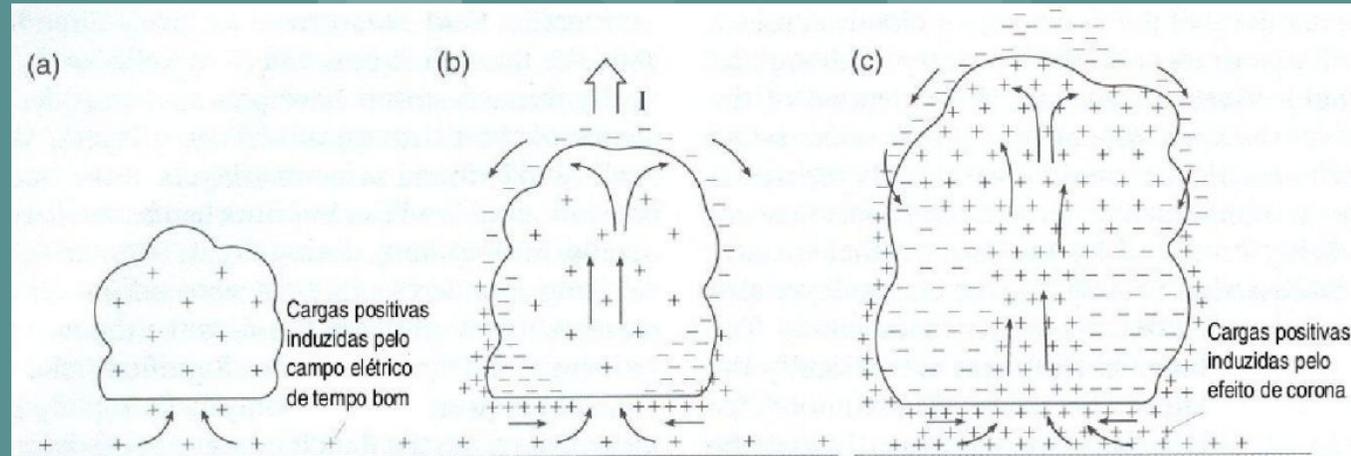


Figura: Funcionamento da teoria da convecção

Posteriormente as correntes descendentes transportam as cargas negativas para baixo.

# Teoria da Convecção

Como há influência de campos elétricos favorecemos 2 mecanismos de transporte de cargas:

- Mecanismo Indutivo
- Mecanismo de Captura de Íons



# Captura de Íons

Ação de ventos, Campo Elétrico pré-existente e Velocidade dos Íons são fatores determinantes neste processo

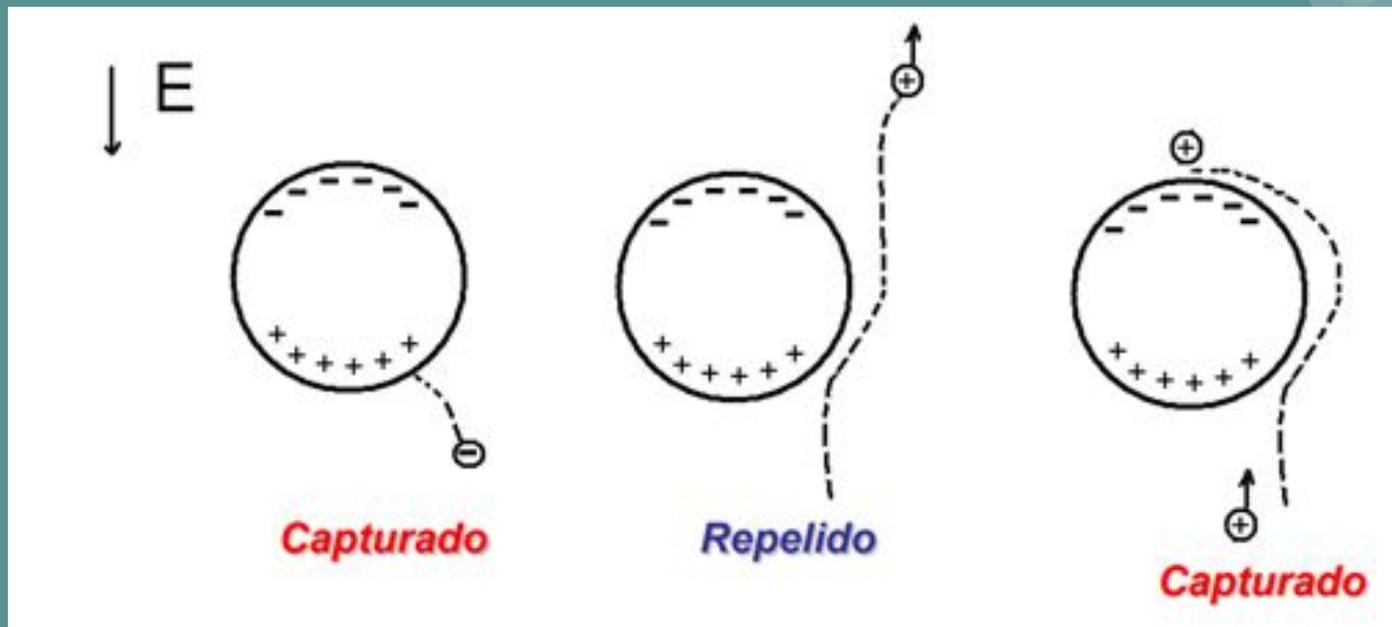


Figura: extrema esquerda e extrema direita - Íon capturado onde o Íon viaja com velocidade de deriva menor que a do hidrometeoro; Centro - Íon repelido pois tem velocidade maior que a do hidrometeoro além de ter mesmo sinal de carga da área de “encontro”.

# Captura de Íons

Nas camadas inferiores (região negativa) há captura de íons (-), aumentando a carga (-) nesta região, enquanto o contrário ocorre na região superior.

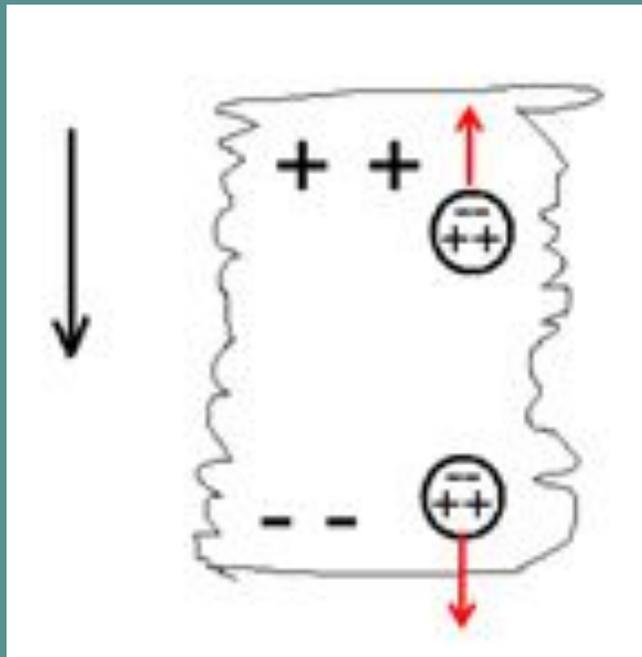


Figura: processo esquemático do processo, cargas (-) se acumulam na parte de baixo e cargas(+) na região superior, uma vez que são transportados para cima de acordo com a teoria.

# Captura de Íons

Nas Tempestades, a concentração de íons é insuficiente para uma captura “seletiva” de íons, portanto não contribui substancialmente para o desenvolvimento do Campo Elétrico.

Este mecanismo é observado em nuvens fracamente eletrificadas, logo se conclui que não devem produzir relâmpagos mas podem auxiliar na sustentação.

# Mecanismo Indutivo

Este processo baseia-se em um grau de polarização prévia devido a existência de um Campo Elétrico e também à priori na colisão de partículas.

# Mecanismo Indutivo

Nestas ocasiões temos que o carregamento destas partículas se dá por:

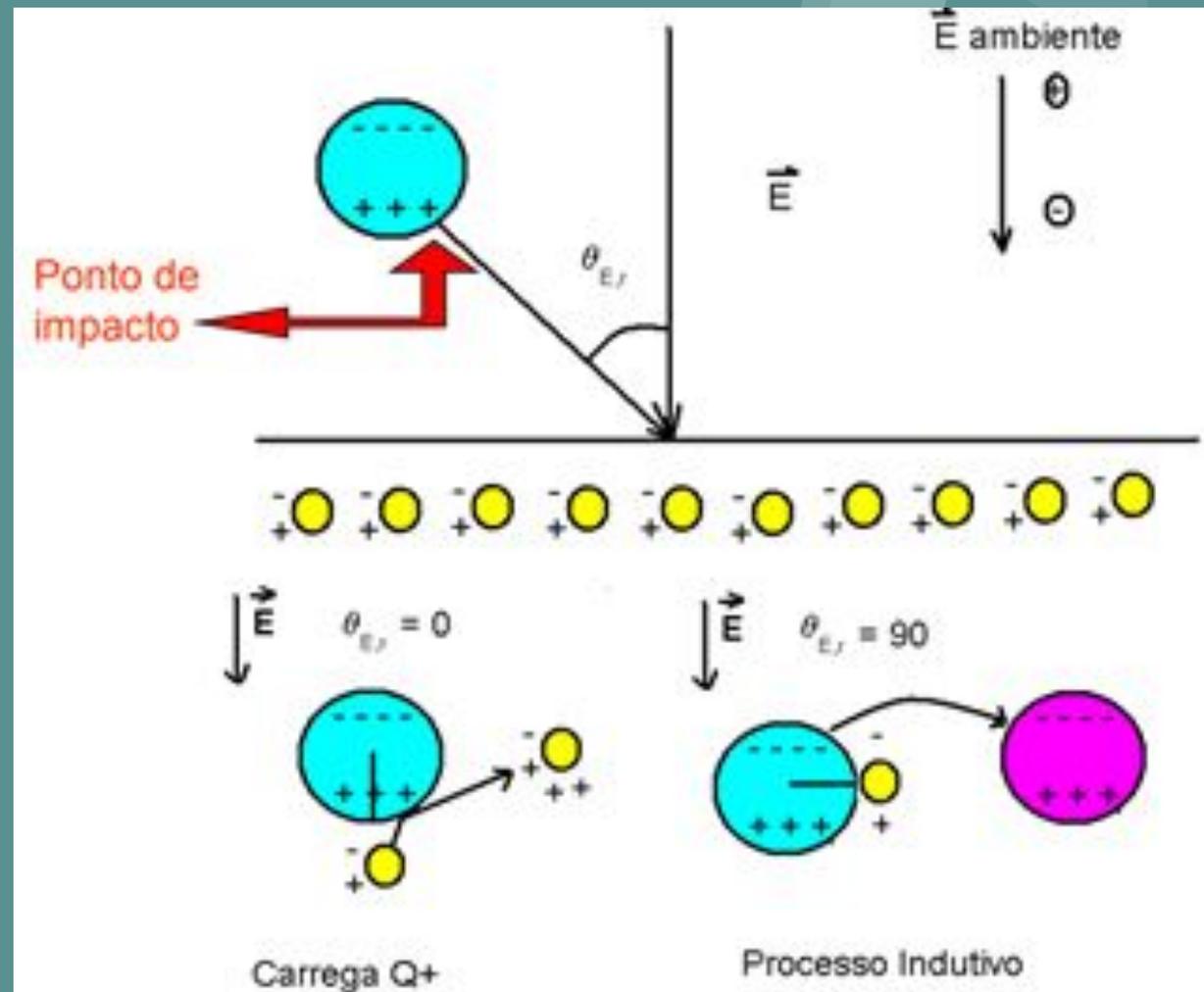
$$dq = 4\pi\epsilon\gamma \left| \vec{E} \right| R_{peq}^2 \cos \theta_{E,R} + \underbrace{AQ_{grande} - BQ_{pequeno}}_{\text{Termo Indutivo}}$$

$\left| \vec{E} \right|$  = Magnitude do Campo Elétrico Ambiente

$\theta_{E,R}$  = Ângulo formado entre o vetor do “E” e o ponto de impacto na superfície da partícula grande

A, B e  $\gamma$  são parâmetros de escala.

# Mecanismo Indutivo



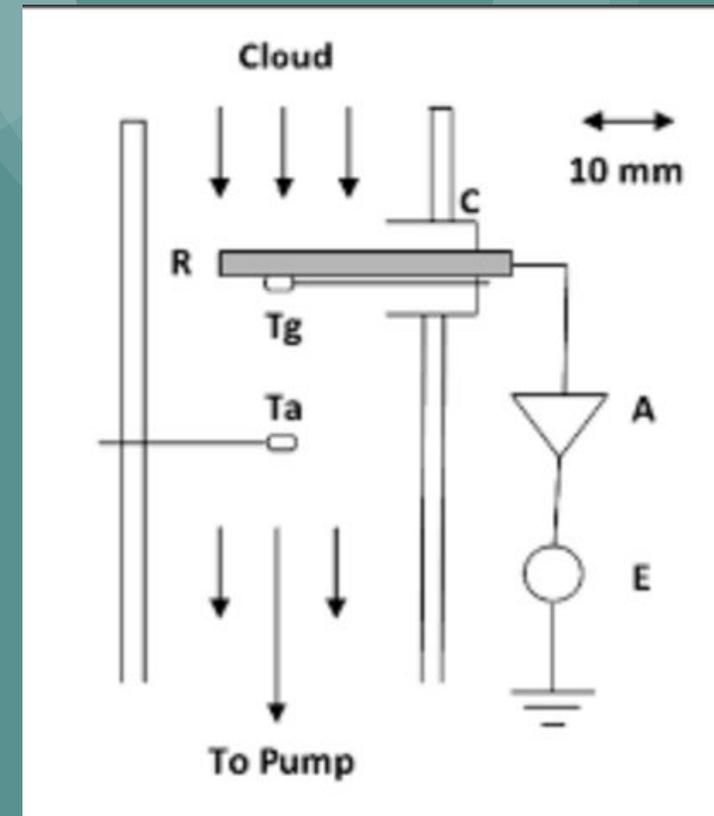
# Mecanismo Indutivo

Os processos indutivos são considerados importantes para precipitações congeladas e com gotas de água super-resfriadas.

O mecanismo indutivo deve agir para sustentar Campos Elétricos Altos, mas não agem para criá-los.

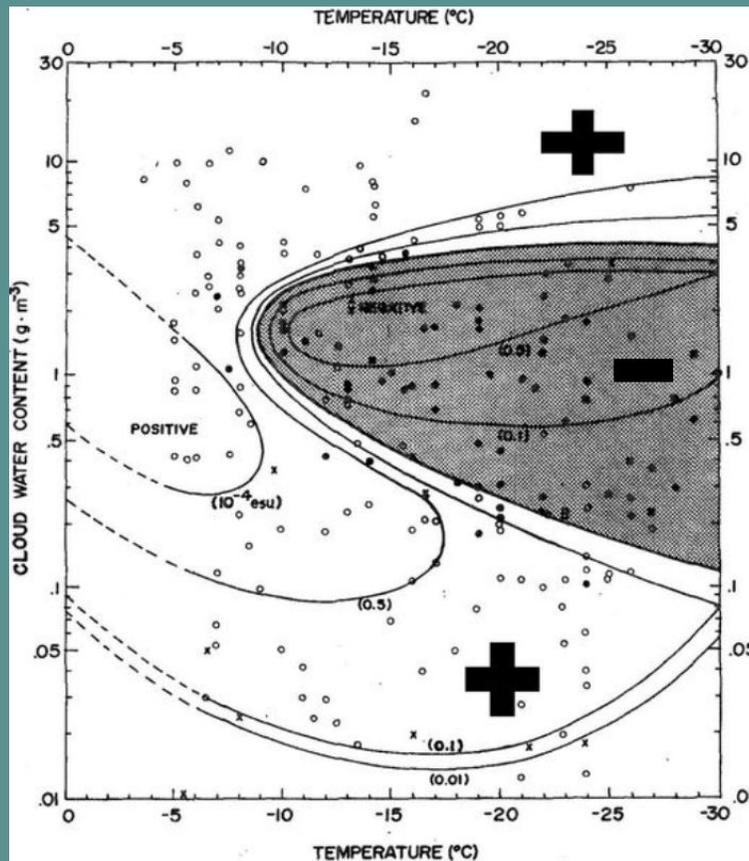
# Experimentos sobre o mecanismo indutivo

Observações e experimentos mostraram que as descargas são predominantes em nuvens de água de fase mista, Takahashi (1978) encontrou utilizando uma camara de nuvem que a magnitude e o sinal da carga depositada nos graupels dependia da temperatura e do conteúdo de água líquida(LWC).



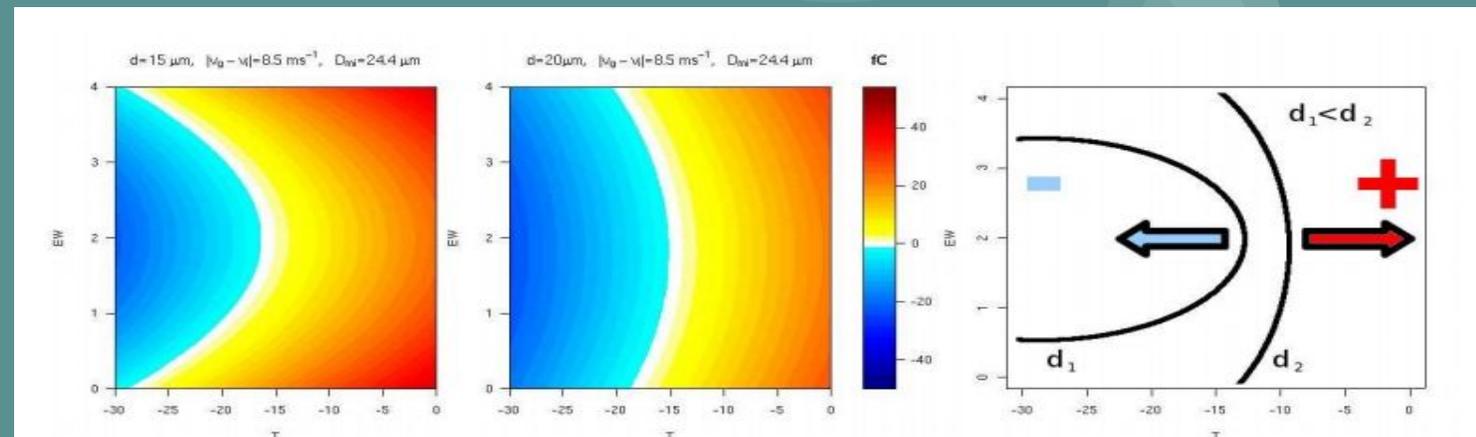
# Resultados

Resultado de Takahashi (1978)



Jayarathne et al. (1983) e Keith e Saunders (1990) mostraram que o carregamento também dependia do tamanho dos cristais de gelo que colidiam com o graupel.

Em 2000 Avila e Pereyra conseguiram identificar uma dependência do tamanho das gotículas e dos cristais de gelo.



Primeira figura  $d = 15 \mu\text{m}$ , segunda figura  $d = 20 \mu\text{m}$  e na terceira figura uma generalização do experimento de Avila e Pereyra.

# Teoria da Precipitação

sugere que a gravidade induz o movimento descendente das gotas de chuva que são mais pesadas (granizo/partículas de gelo), que colidem com partículas menores de água e gelo que estão suspensas e que perdem carga negativa, deixando positivas as partículas menores e negativas as mais pesadas.



Figura: Funcionamento simplificado da teoria da precipitação

# Mecanismo Não Indutivo

Mecanismo de carregamento que não se baseia em um campo elétrico à priori e se baseia em analisar com é a estrutura elétrica da água durante as diferentes fases de transição ou mesmo o crescimento dos cristais de gelo.

# Mecanismo Não Indutivo

Para entender este processo temos que estudar as seguintes características:

- Camada elétrica dupla(\*);
- Efeito termoelétrico(\*);
- Camada quase líquida;
- Deslocamento de estruturas de gelo;
- Potencial de contato.

# Camada Elétrica Dupla

Esta hipótese assume que existe uma camada elétrica dupla entre as interfaces da água e o ar, gelo e ar ou gelo e água, devido a orientação da molécula da água.

Em relação à separação das cargas, temos na maioria das vezes, mais cargas da região externa removidas da camada dupla do que as internas, o que implica em um excesso de cargas internas que está sendo deixada para trás após a colisão das partículas.

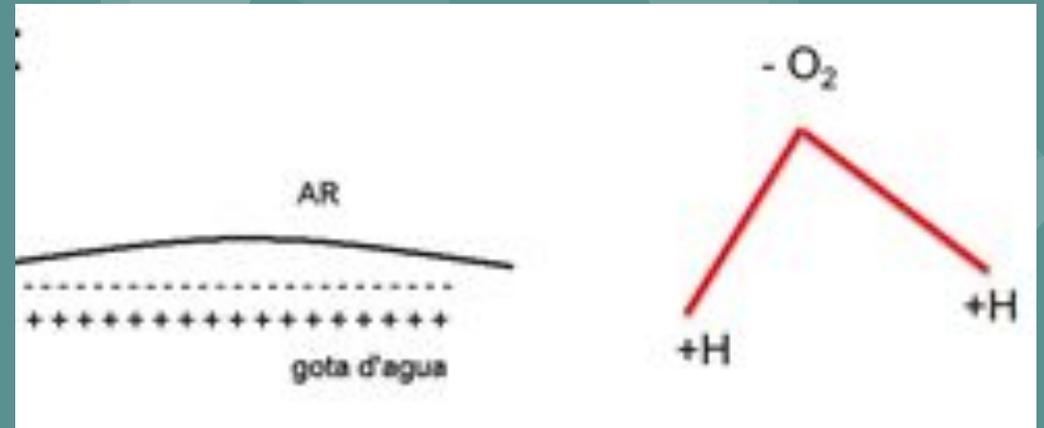
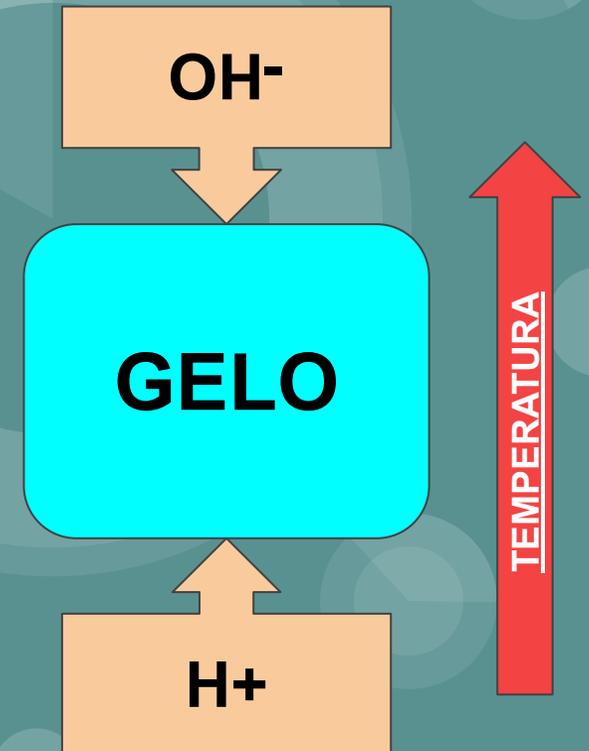


Figura: Representação da camada dupla (esquerda) e da orientação de uma molécula de água (direita).

# Efeito termoeelétrico

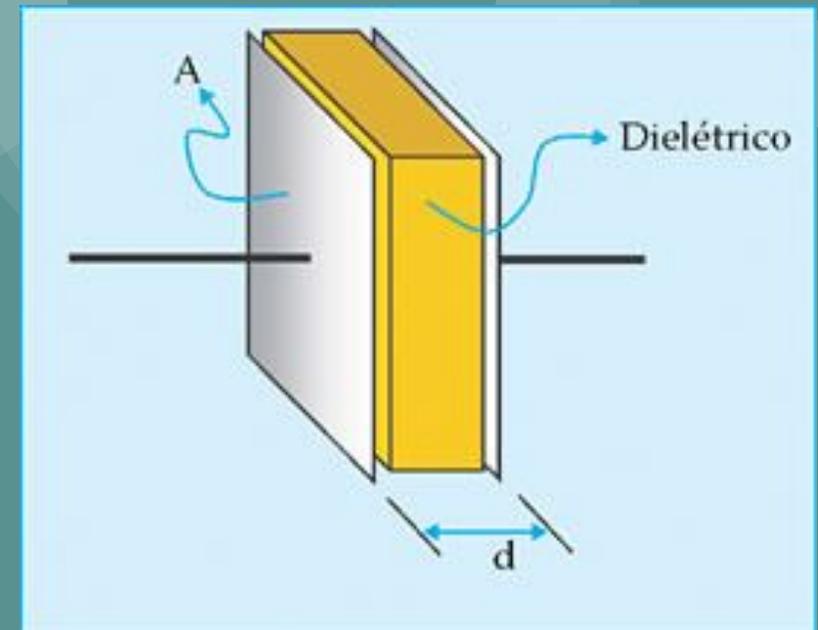
Este efeito se baseia na mobilidade dos Íons  $H^+$  e  $OH^-$  mediante a um gradiente térmico.

Na fase líquida da água a mobilidade do Ânion ( $OH^-$ ) é mais que a do Cátion ( $H^+$ ) enquanto na fase de gelo ocorre o contrário.



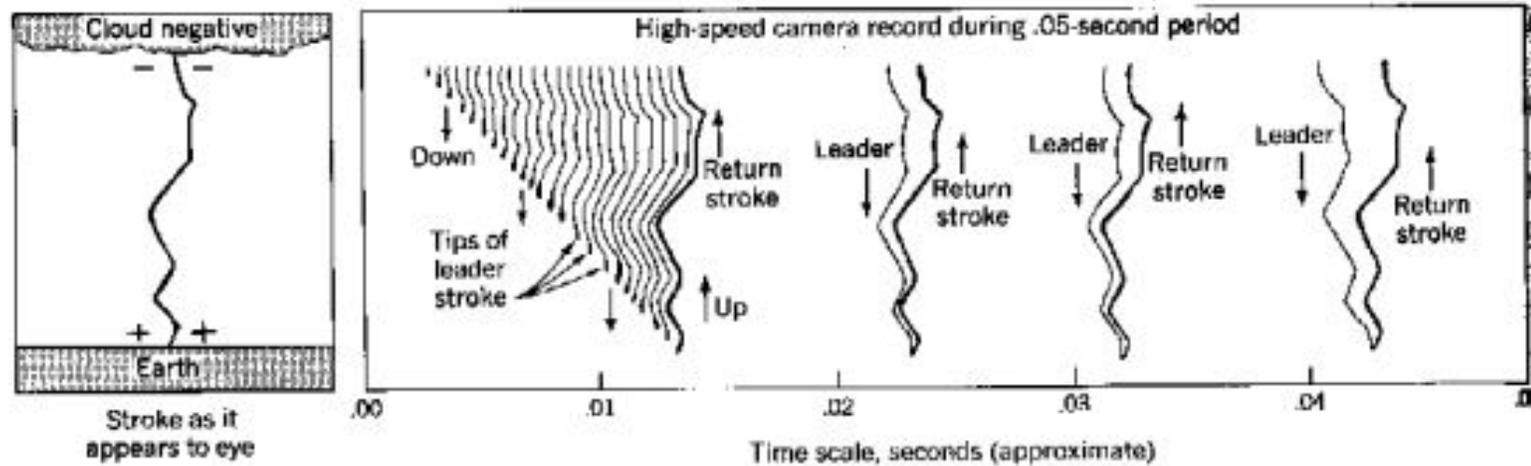
# Como as descargas elétricas ocorrem

O ar pode ser considerado como um meio dielétrico, ou seja, ele apresenta uma resistência a passagem de corrente elétrica. No caso ele não é um bom condutor. Os raios ocorrem quando o campo elétrico dentro da nuvem é forte o suficiente para romper a rigidez dielétrica do ar. (Resistência do ar  $\sim 3$  GOhms/m em 1cm de camada) sendo necessário um campo elétrico cujo potencial é de aproximadamente 300 kV/m para que os raios ocorram.



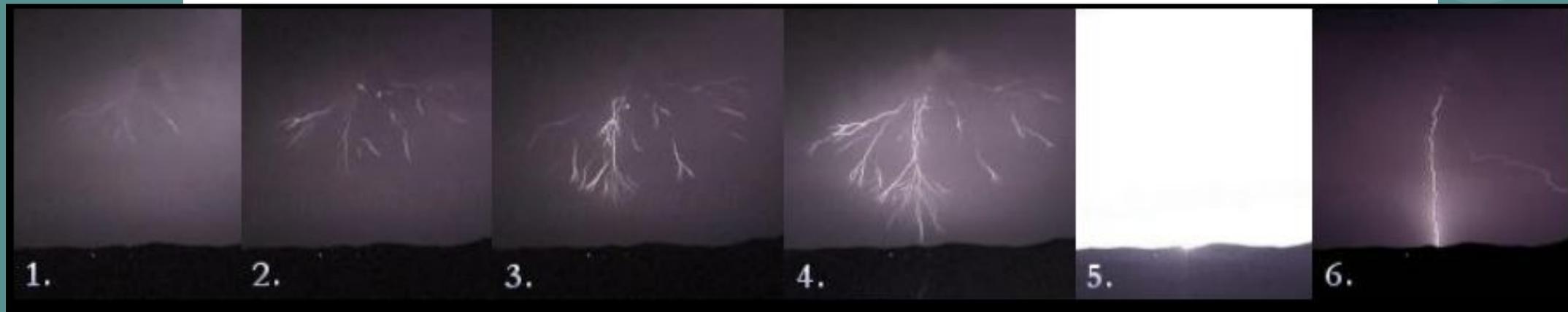
# Raios

Inicialmente, quando o campo elétrico em uma direção é suficientemente forte um raio inicial move-se em direção a Terra, esse raio é denominado raio líder. A medida que se aproxima da terra, uma grande diferença de potencial é criada entre a ponta do raio líder e a superfície, de modo que um raio se forma a partir da terra e vai de encontro ao raio líder. Uma vez que este dois raios se conectam, uma descarga de retorno viaja para cima através do caminho já ionizado. Essa descarga de retorno libera uma grande quantidade de energia e provoca a ionização do ar, gerando o relâmpago e o trovão



**FIGURE 14.19.** A lightning stroke analyzed by high-speed camera photograph. (After U.S. Department of Commerce

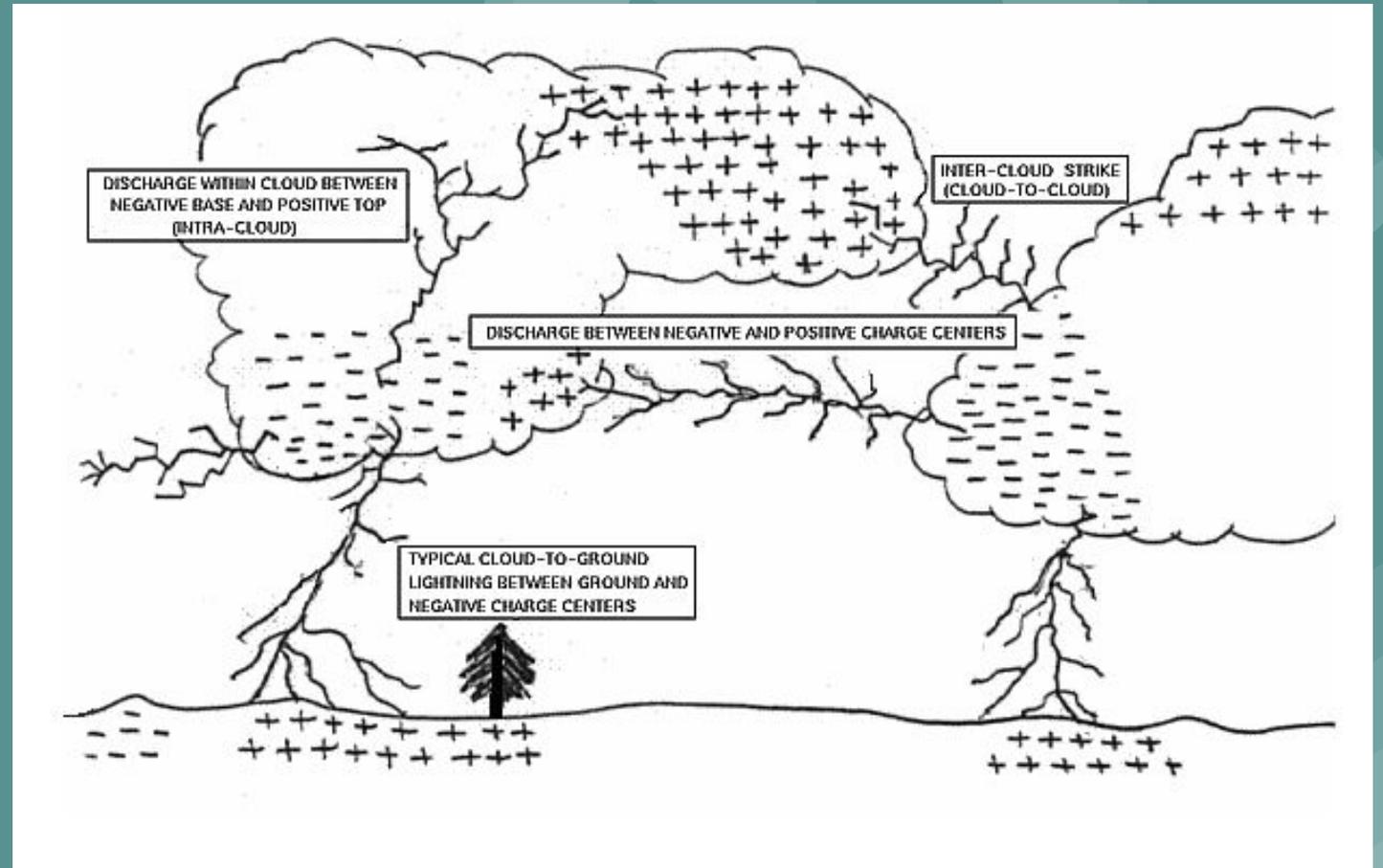
(1955), C.A.A. Technical Manual, 104, Washington, U.S. Govt. Printing Office.)





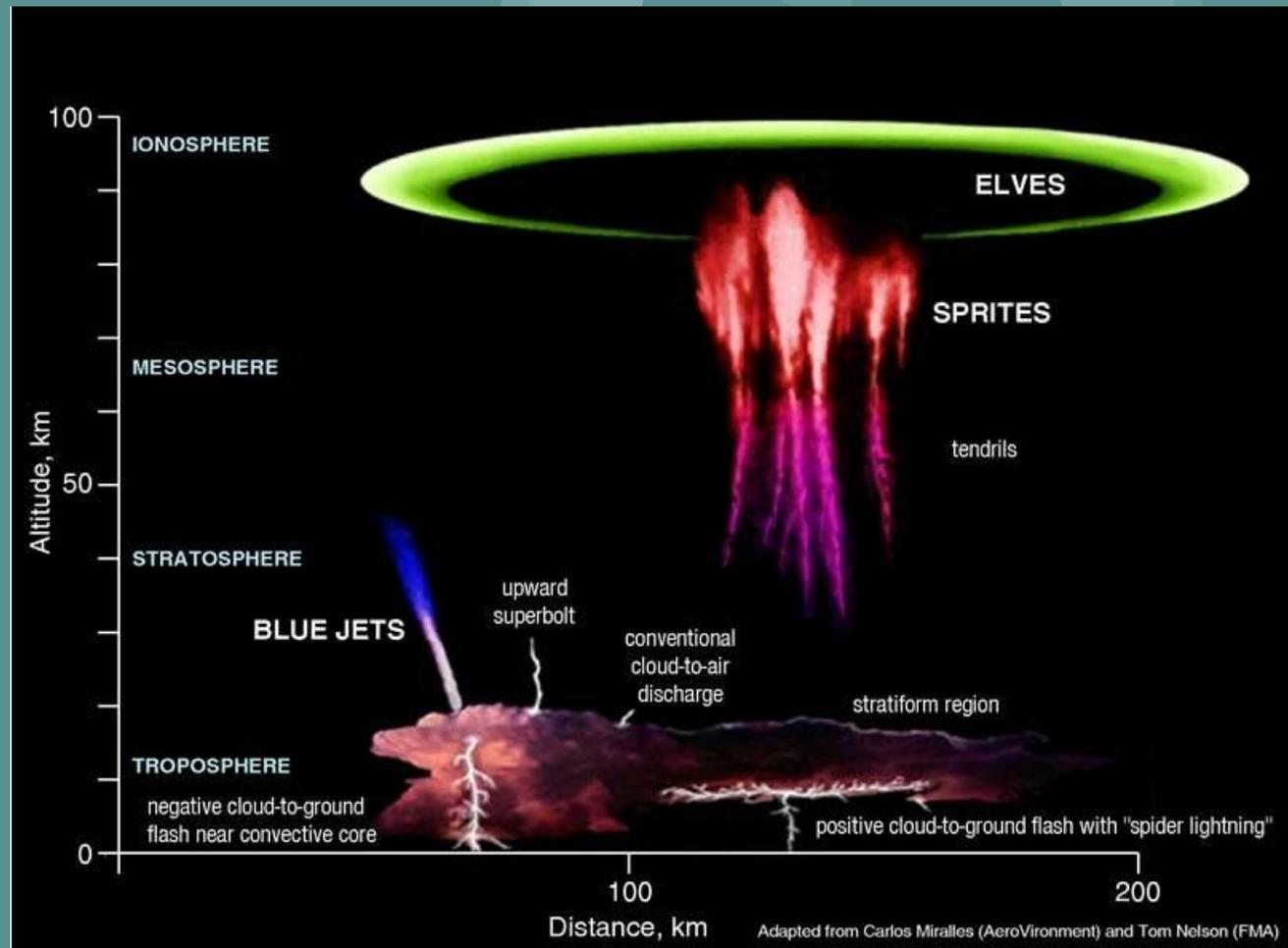
# Tipos de relâmpagos

- A. Nuvem-Terra (CG-Cloud-to-Ground);
- B. Em Nuvem (IC-Intra-Cloud);
- C. Entre Nuvens (CC-Inter-Clouds).
- D. Eventos Luminosos Transientes (TLE)



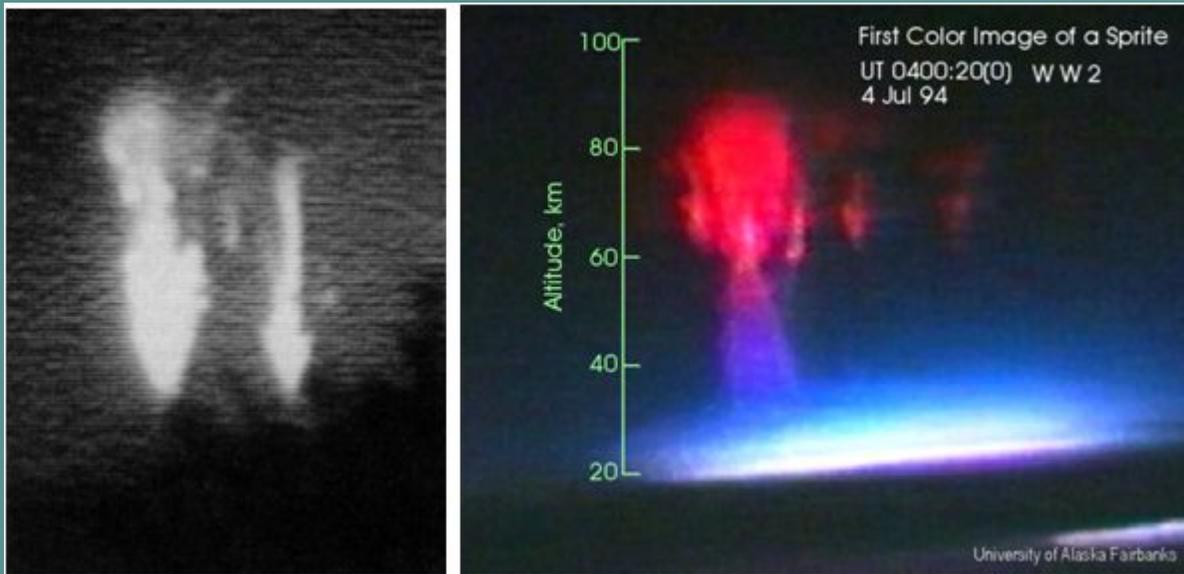
# Tipos de Raios não comuns

- Red Sprites
- Blue Jets
- Raios Bola
- Elves



# - Red Sprites

Foi descoberto acidentalmente em 1989 por Franz  
Tem relação com Raio (CG), chegam a extensões de 95km



<https://youtu.be/HOLeZZVKpLU?t=14>

# Blue Jets

Primeira gravação, outubro de 1989

Não está relacionado a nenhum tipo de raios específico.

Se propagam aproximadamente 50km com vida de alguns mili-segundos.



<https://youtu.be/iRaGN9qWzvs?t=11>

# Outros temas que envolvem tempestades

- Localização e Severidade das Tempestades
- Distribuição de Raios
- Granizo
- Estimativa de Chuva – Satélite/Radar
- Setor Elétrico
- Queimadas
- Cia de Seguro
- Previsão do tempo (modelos matemáticos)
- Mudanças Climáticas

# Referências

- Artigos sobre raios e eletrificação de tempestades:  
<http://www.storm-t.iag.usp.br/pub/ACA0330/papers/> . Acessado em 12/11/2019
- Imagens retiradas do site <http://www.storm-t.iag.usp.br/pub/ACA0330/2019/>, slides de apresentação 1, 5,6 e 7. Acessado em 01/11/2019.
- Site do INPE para acesso de dados sobre tempestades:  
<http://www.inpe.br/webelat/homepage> . Acessado em 12/11/2019.
- Geostationary Lightning Mapper (GOES16) :  
<http://realearth.ssec.wisc.edu/?products=GLM> . Acessado em 10/11/2019
- Site do IAG com dados em tempo real sobre tempestades:  
<http://www.starnet.iag.usp.br/> . Acessado em 10/11/2019.
- World Wide Lightning Location Network : <http://webflash.ess.washington.edu/> .  
Acessado em 12/11/2019
- IMPACTO DOS AEROSSÓIS NA ELETRIFICAÇÃO DE TEMPESTADES:  
<http://www.cbmet.org.br/cbm-files/14-8d5befce7b6a54b1c3a26868a4a5263f.pdf> . Acessado 11/11/2019