



# Meteorologia Básica I

## Aula Precipitação

Prof. Renato Ramos da Silva

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

# Precipitação

- **Definição**
- Entende-se por **precipitação** a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre sob qualquer forma:
- chuva,
- granizo,
- neblina,
- neve,
- orvalho ou geada.

# Formação das Precipitações

- Elementos necessários a formação:
  - ***umidade atmosférica*** : (devido à evapotranspiração);
  - ***mecanismo de resfriamento do ar*** : (ascensão do ar úmido): quanto mais frio o ar, menor sua capacidade de suportar água em forma de vapor, o que culmina com a sua condensação. Pode-se dizer que o ar se resfria na razão de 1C por 100 m, até atingir a condição de saturação;
  - ***presença de núcleos higroscópios***;
- ***mecanismo de crescimento das gotas***:
  - difusão de vapor: **condensação** do vapor d'água sobre a superfície de uma gota pequena.
  - **colisão-coalescência**: processo de crescimento devido ao choque de gotas pequenas originando outra maior;

# Formação das Precipitações

- Para que ocorra o resfriamento do ar úmido, há necessidade de sua **ascensão**, que pode ser devida aos seguintes fatores: ação frontal de massas de ar; convecção térmica e relevo.
- A maneira com que o ar úmido ascende caracteriza o tipo de precipitação.

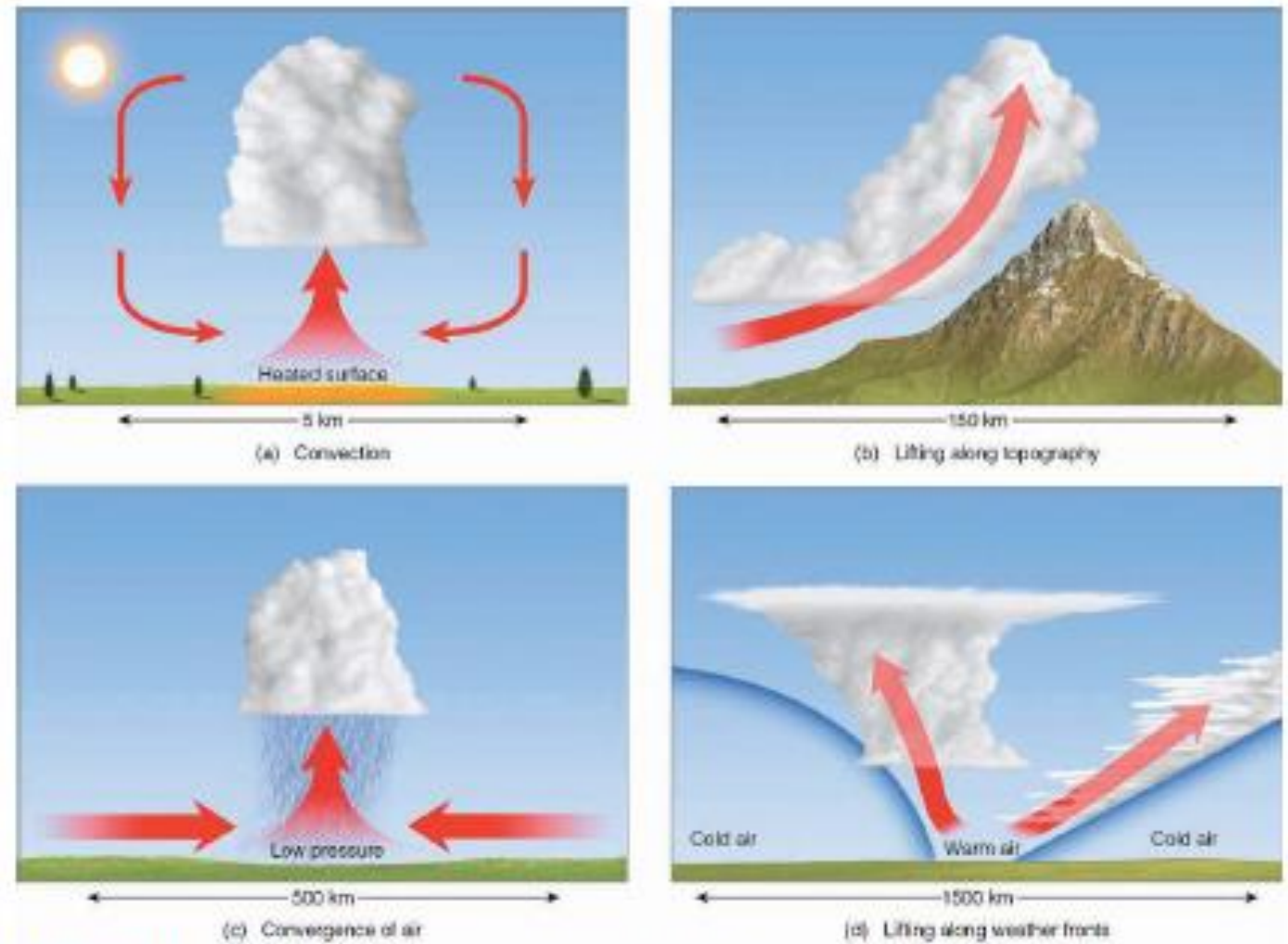


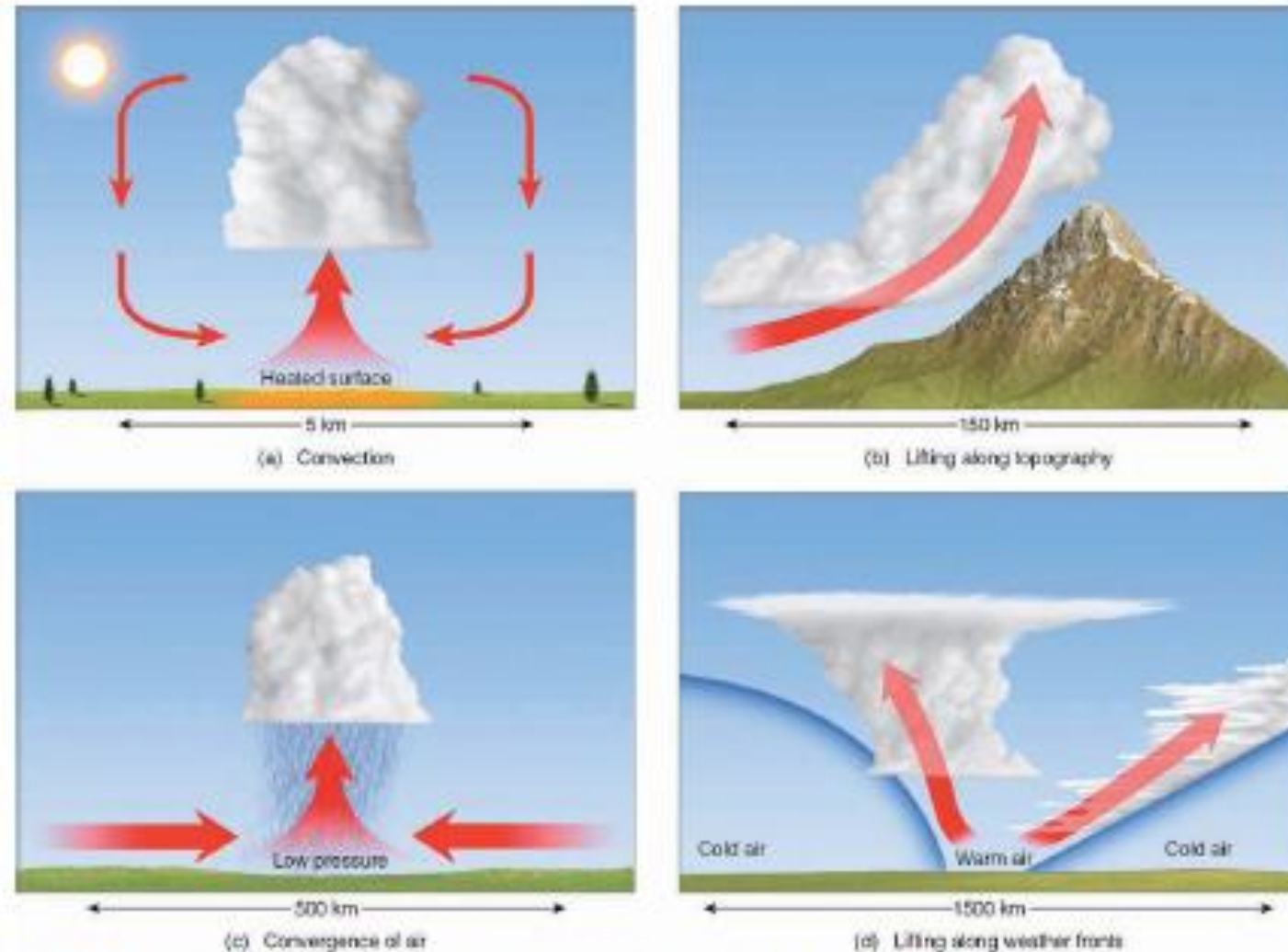
FIGURE 6.15 The primary ways clouds form: (a) surface heating and convection; (b) forced lifting along topographic barriers; (c) convergence of surface air; (d) forced lifting along weather fronts.

# *Precipitações ciclônicas*

- Estão associadas com o movimento de massas de ar de regiões de alta pressão para regiões de baixa pressão. Essas diferenças de pressões são causadas por aquecimento desigual da superfície terrestre.
- Podem ser classificadas como frontal ou não frontal.
  - **Frontal:** tipo mais comum, resulta da ascensão do ar quente sobre o ar frio na zona de contato entre duas massas de ar de características diferentes. Se a massa de ar se move de tal forma que o ar frio é substituído por ar mais quente, a frente é conhecida como **frente quente**, e se por outro lado, o ar quente é substituído por ar frio, a **frente é fria**.

# Precipitações

- **Chuva convectiva** - resultado da ascensão da umidade, que resfriada pela altitude, precipita-se.
- **Chuva orográficas ou de relevo** - nuvens que deslocam-se horizontalmente, ao encontrarem um relevo montanhoso, ascendem e se resfriam, precipitando-se;
- **Chuva frontal** - resulta do encontro de uma massa de ar frio com uma massa de ar quente e úmida.



● **FIGURE 6.15** The primary ways clouds form: (a) surface heating and convection; (b) forced lifting along topographic barriers; (c) convergence of surface air; (d) forced lifting along weather fronts.

# Tipos de Precipitação

- Depositados:
- **Orvalho** - gotas d'água depositadas por condensação direta do vapor d'água, principalmente nas superfícies horizontais resfriadas pela radiação noturna.(Dew )
- **Geada** - cristais de gelo fino, que se depositam nas condições semelhantes das que formam o orvalho, somente que a temperatura à superfície deve ser igual ou inferior a 0°C. (Frost)
- **Escarcha ou Orvalho branco** - quando existe nevoeiro superesfriado camadas brancas de cristais de gelo depositam-se do lado do vento formando camadas ou pontas cônicas, em superfícies verticais, nas pontas e arestas de objetos sólidos. (Rime);
- **Sincelos** - pequenas colunas de gelo pendentes formadas pela congelação da água do orvalho ou da neve derretida que escorre da beira dos telhados, quando a temperatura está abaixo de 0°C. (Icicle);



# Tipos de Precipitação [Link](#)

- Precipitados:
- Líquidos
  - **Chuva** - gotas d'água com diâmetro mínimo de 0,5mm. (Rain)
  - **Chuvisco** - gotas d'água com diâmetro menor que 0,5mm. (light rain / drizzle);
  - **Chuva congelante** (Freezing Rain)- gotas d'água super-congeladas;
  - **Poalha de água** (Water dust)  
Conjunto de gotículas de água arrancadas pelo vento de uma superfície muito extensa de água, geralmente das cristas das ondas, e transportadas a pequena distância na atmosfera.



# Tipos de Precipitação [Link](#)

- Solidos.
  - **Água-neve** ("Mixed snow rain" ou Sleet em UK)- Neve em derretimento;
  - **Neve rolada** (Graupel ou Snow Pellets) – Neve parcialmente derretida e re-congelada.
  - **Granizo** (Ice Pellets) água no estado sólido e medem entre 5 e 200 mm de diâmetro;
  - **Granizo miúdo** (Ice Pellets ou Sleet nos EUA)- diâmetro abaixo de 5mm; Pode advir de trovoadas de verão ou de neves de inverno (chamado de Quirera).
  - **Saraiva** (Hail) – diâmetro acima de 5mm

# Tipos de Precipitação

- Solido (Continua)
- **Neve em grãos** (Snow grains)- Precipitação de grãos de gelo brancos e opacos muito pequenos; estes grãos são achatados ou alongados, com diâmetro geralmente inferior a 1 mm.
- **Flocos de neve** (Snow ) - É o cristal de gelo em forma de floco, de formato hexagonal . As vezes são agregados de cristais de gelo e as vezes cristais individuais;
- **Prismas de gelo** (Ice Prisms)  
Queda de cristais de gelo não ramificados, em forma de agulhas, prismas ou escamas, muitas vezes tão pequenas que parecem em suspensão no ar. Podem cair de uma nuvem ou de céu limpo.

# Hidrometeoros em suspensão

- **Neblina** (Mist)- Suspensão no ar de gotículas microscópicas de água ou de partículas higroscópicas húmidas, que reduzem a visibilidade na superfície do globo.
- **Agua de Nuvem** (cloud water) – Gotículas de água líquida com velocidade vertical muito baixa.
- **Agua de chuva** (rain water) - Gotas de água líquida com velocidade vertical.
- **Cristais de Pristina**-(Pristine Ice Crystal) - Cristais de gelo com velocidade terminal muito baixa;

# Água-neve





# Granizo (Ice Pellets)

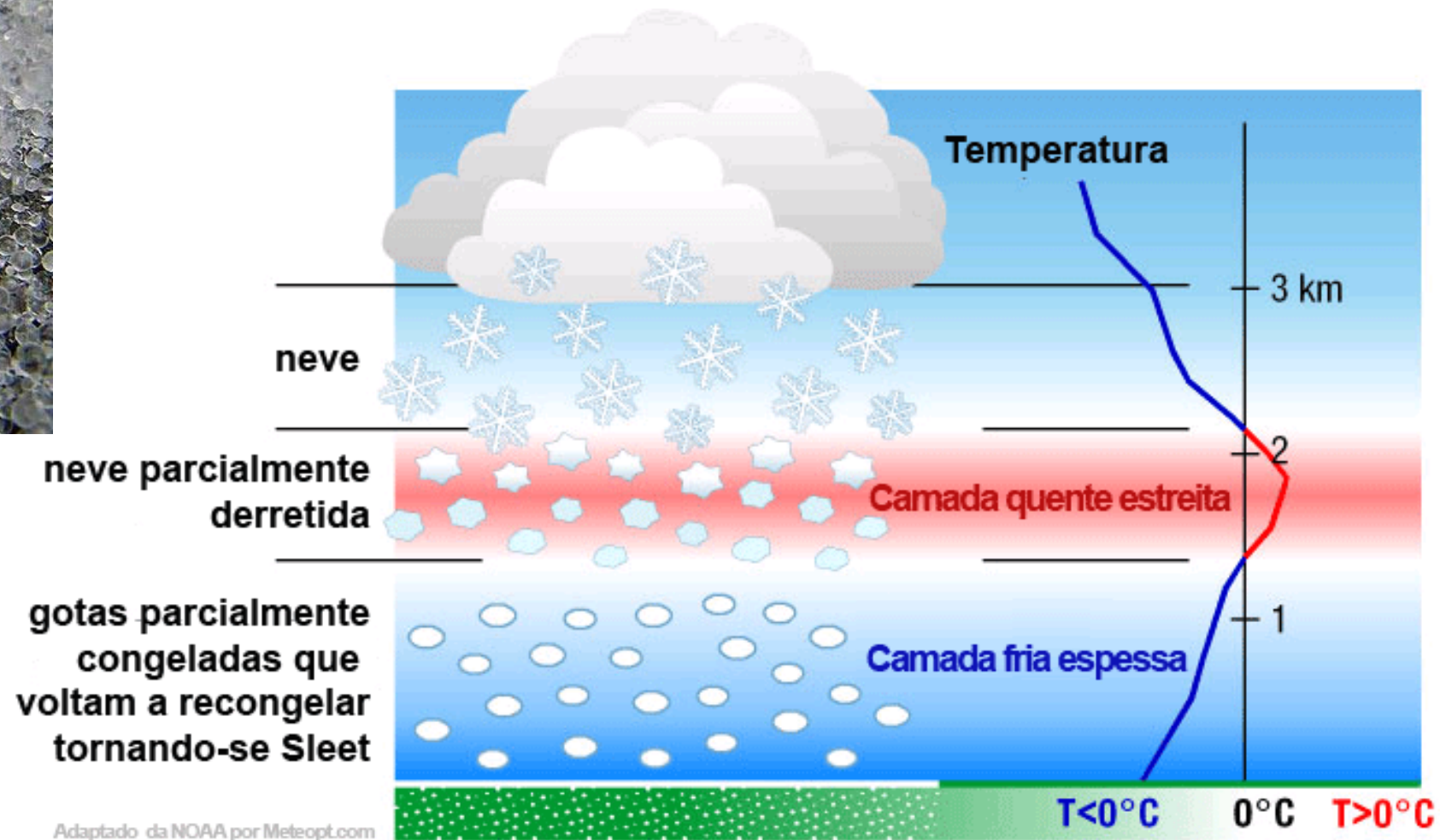


# Saraiva





# Granizo Miúdo (quirera)





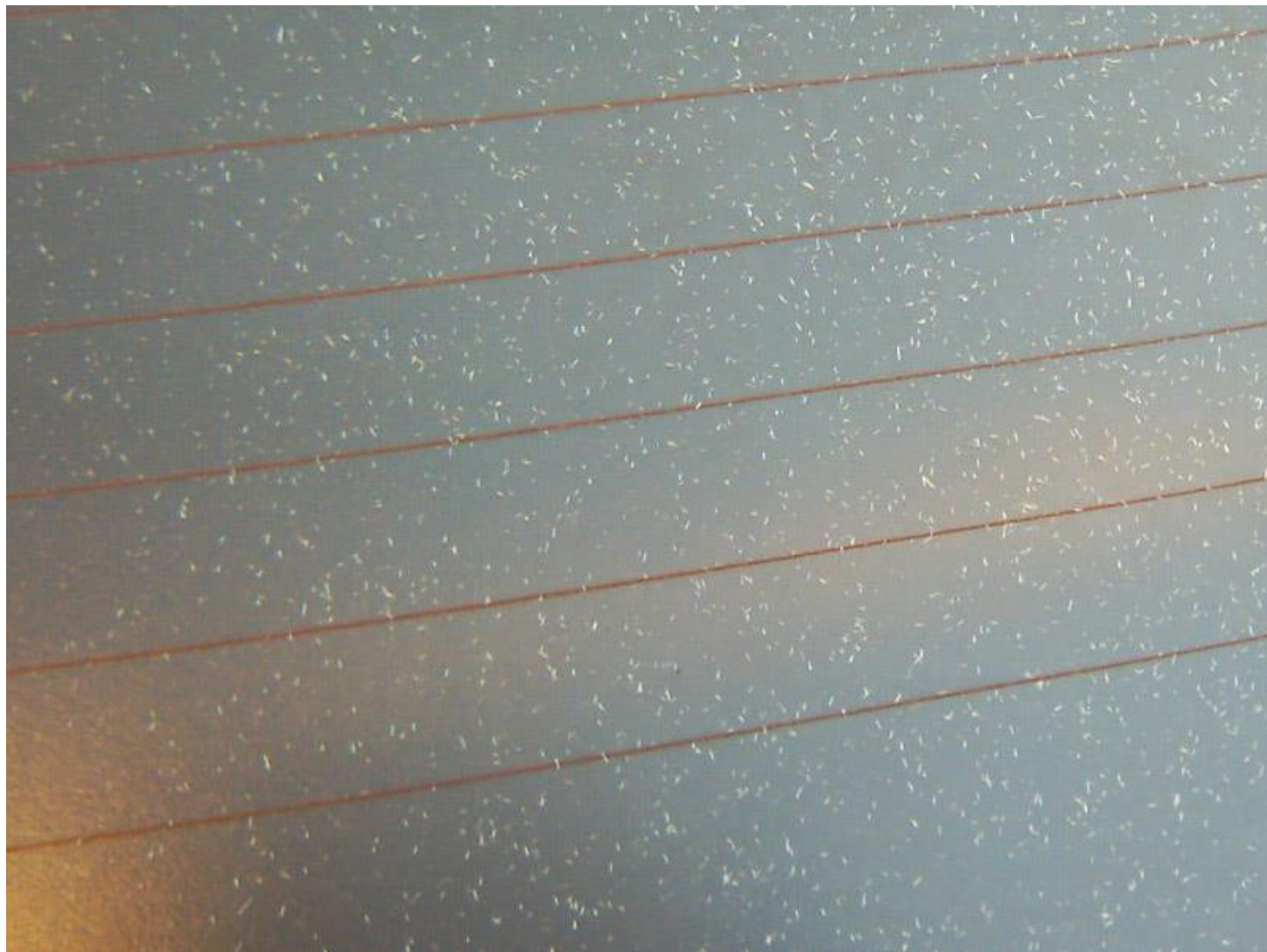
# Neve rolada (Graupel ou Snow Pellets)



# Chuva congelada (Freezing Rain)



# Neve em grãos (Snow grains)

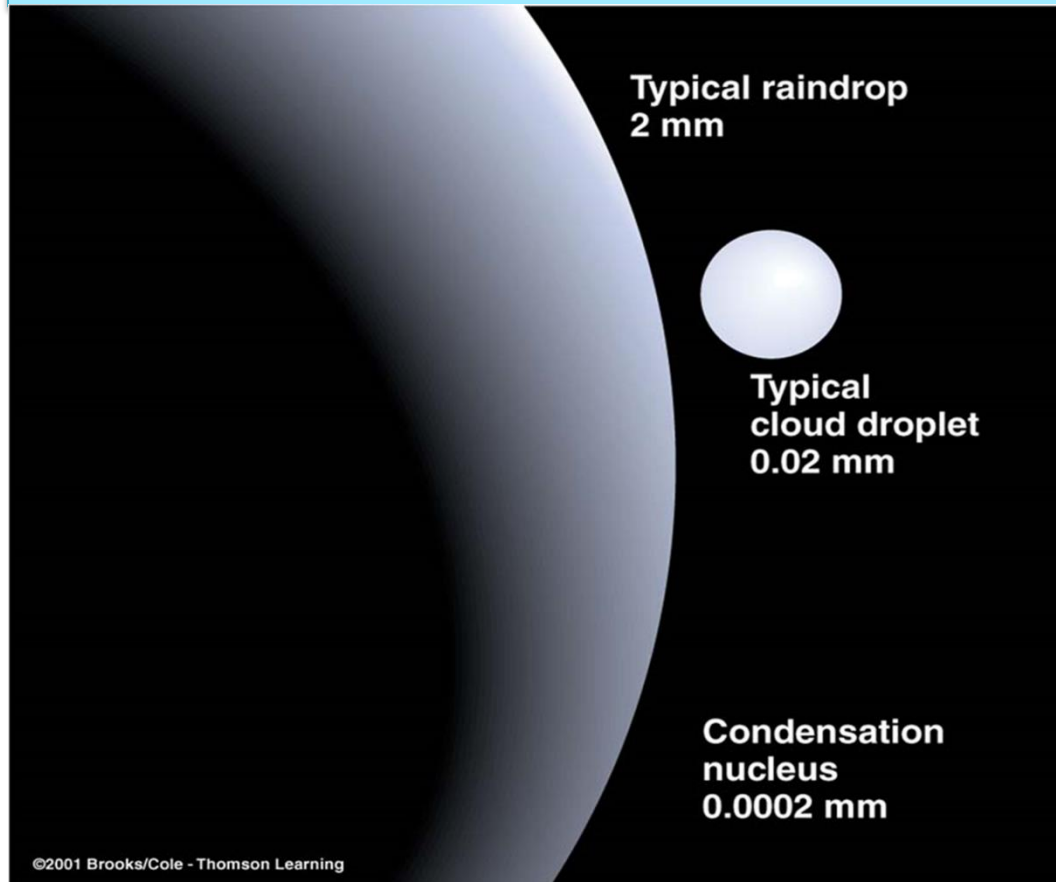


São grãos de neve muito pequenos, até 1mm, brancos e opacos, um pouco achatados ou alongados, são o equivalente sólido dos chuviscos, caem apenas com nevoeiro ou estratos acumulando muito pouco.

## Crescimento de Gotículas de Nuvens Quentes

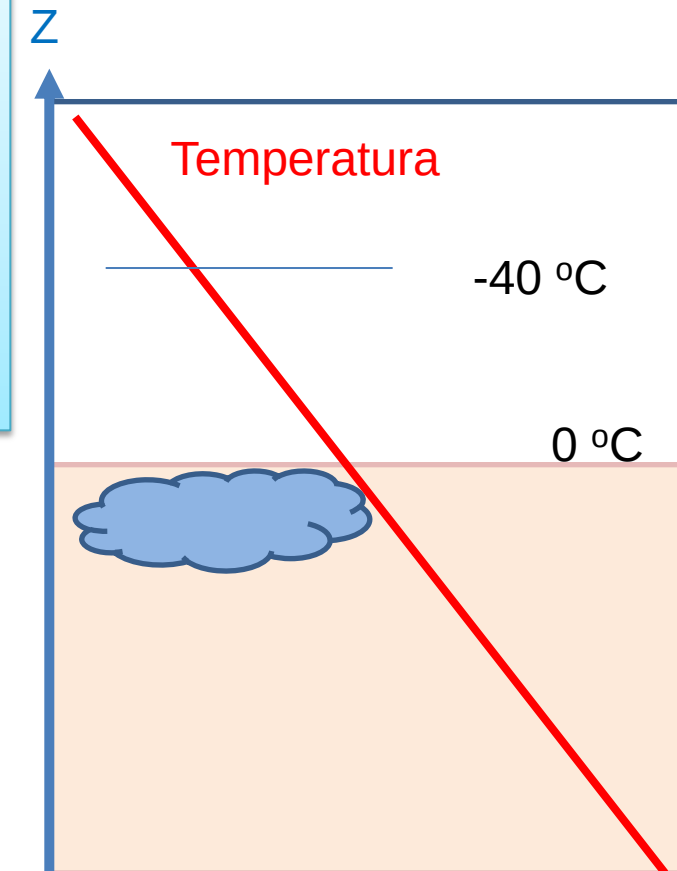
Em nuvens quentes, gotículas podem crescer por **condensação** em um ambiente supersaturado ou por **colisão** e **coalescência** com outras gotículas.

### Crescimento por condensação



As gotas crescem a partir de núcleos de condensação (**CCN**) e portanto deve ser por nucleação **heterogênea**.

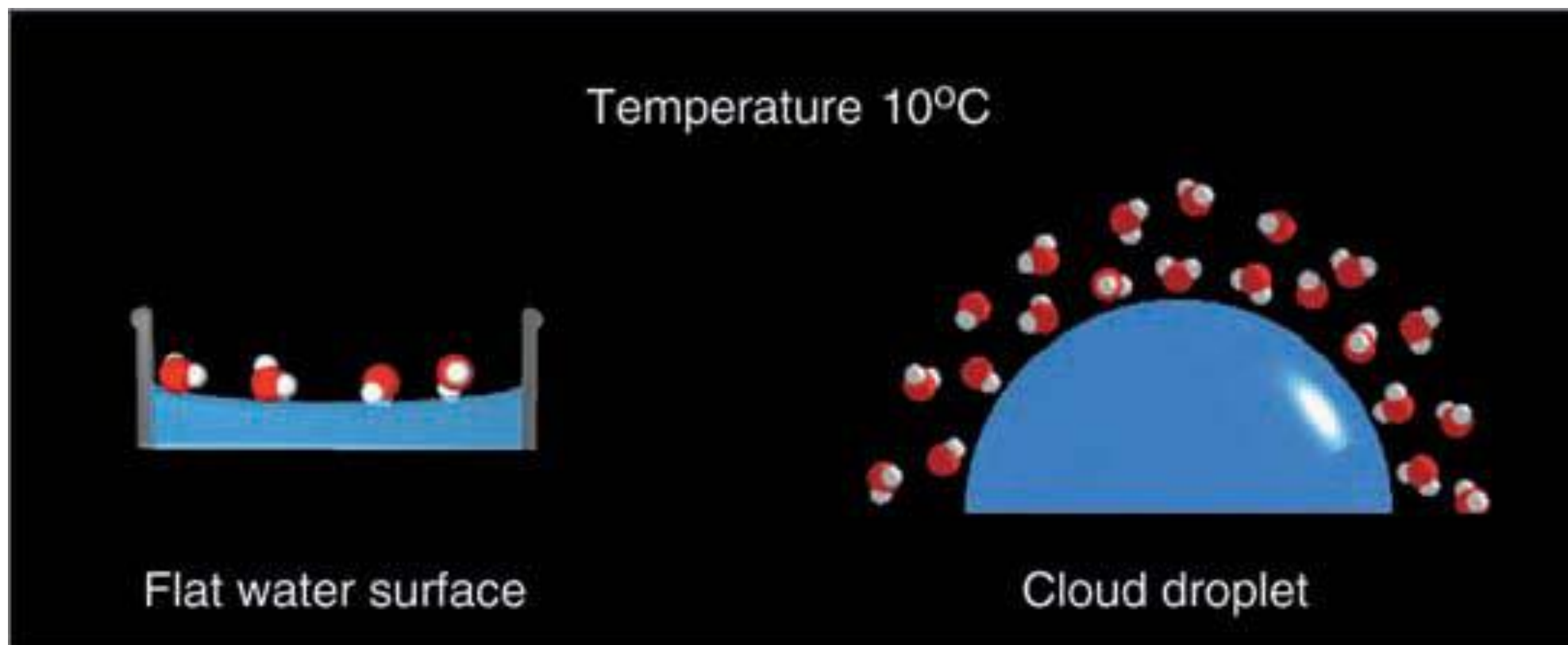
O crescimento deve atingir até a ordem de grandeza das gotas de chuva (i.e. alguns milímetros)



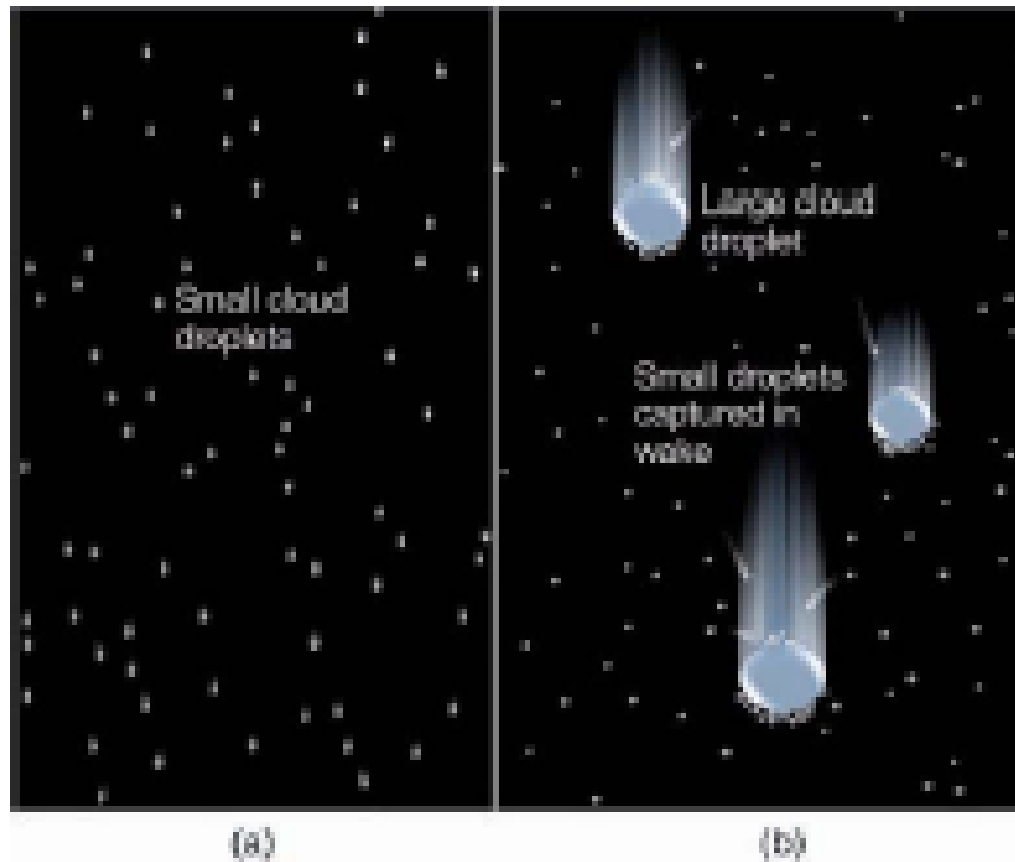


A **pressão de vapor** em caso de supersaturação promove o crescimento por nucleação.

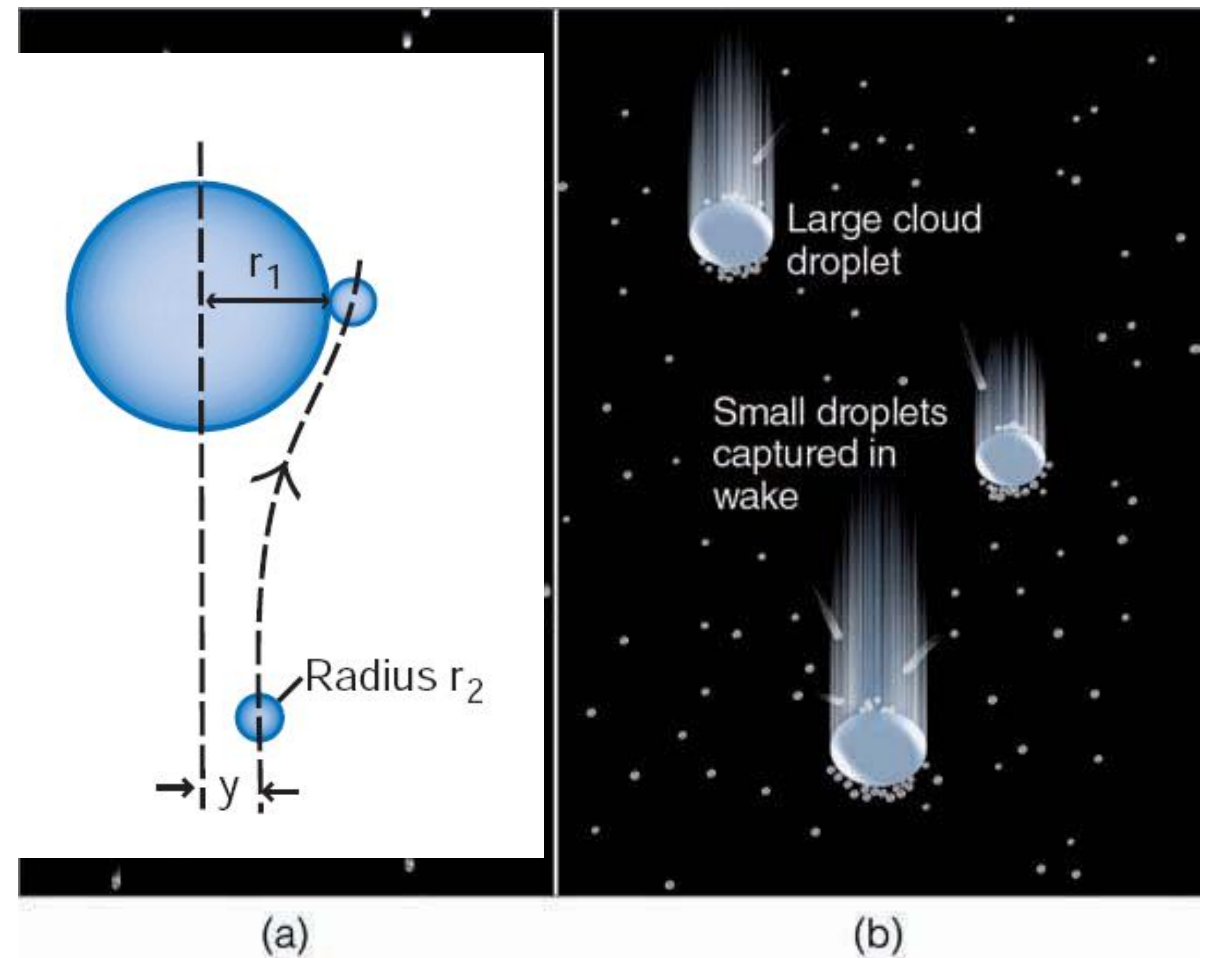
**Supersaturação** ocorre quando temos maior número de moléculas de vapor entrando pela superfície líquida (i.e. UR > 100%).







■ **FIGURE 7.4** Collision and coalescence. (a) In a warm cloud composed only of small cloud droplets of uniform size, the droplets are less likely to collide as they all fall very slowly at about the same speed. Those droplets that do collide, frequently do not coalesce because of the strong surface tension that holds together each tiny droplet. (b) In a cloud composed of different size droplets, larger droplets fall faster than smaller droplets. Although some tiny droplets are swept aside, some collect on the larger droplet's forward edge, while others (captured in the wake of the larger droplet) coalesce on the droplet's backside.

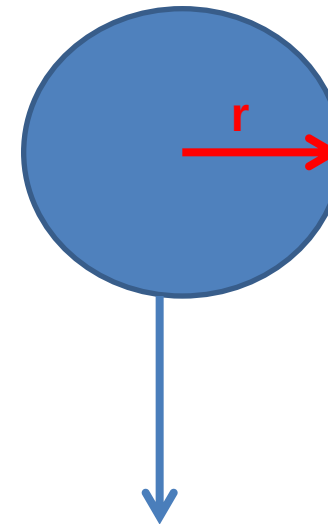


Após o crescimento, gotas maiores possuem velocidade terminal maior e crescem acrescentando massa após colisão com outras gotas (coalescência = grudamento)

## Velocidades Terminais das Gotas no ar

Para uma atmosfera de **1013 hPa** e temperatura de **20 °C** obtemos as respectivas **velocidades terminais**:

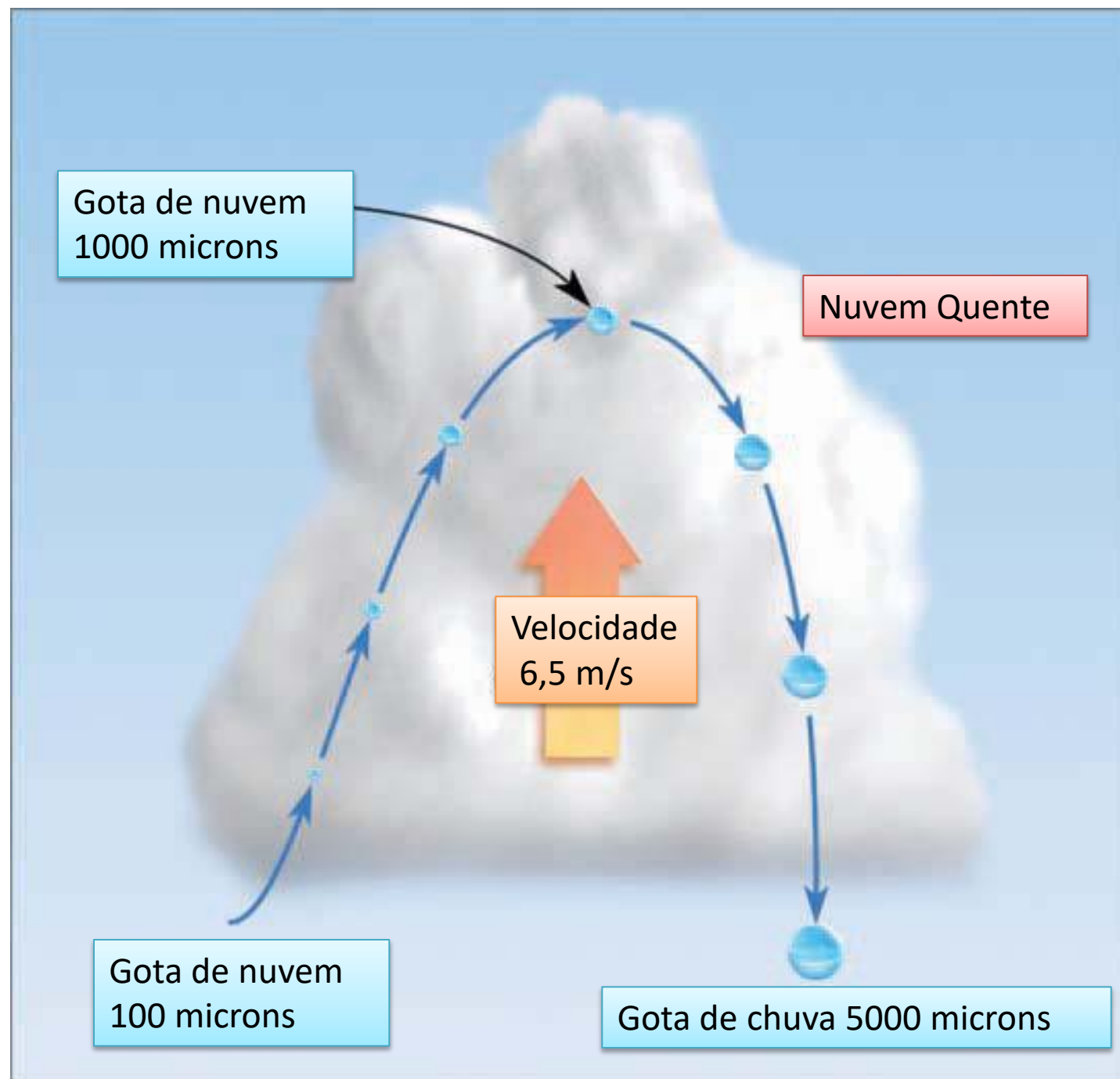
| Raio   | Velocidade Terminal                    |
|--------|----------------------------------------|
| 10 µm  | 0,3 cm/s                               |
| 20 µm  | 1,2 cm/s                               |
| 40 µm  | 4,7 cm/s                               |
| 100 µm | 25,6 cm/s (10% menor do que a equação) |
| 1 mm   | 403 cm/s (muito menor)                 |
| 4mm    | 883 cm/s (muito menor)                 |



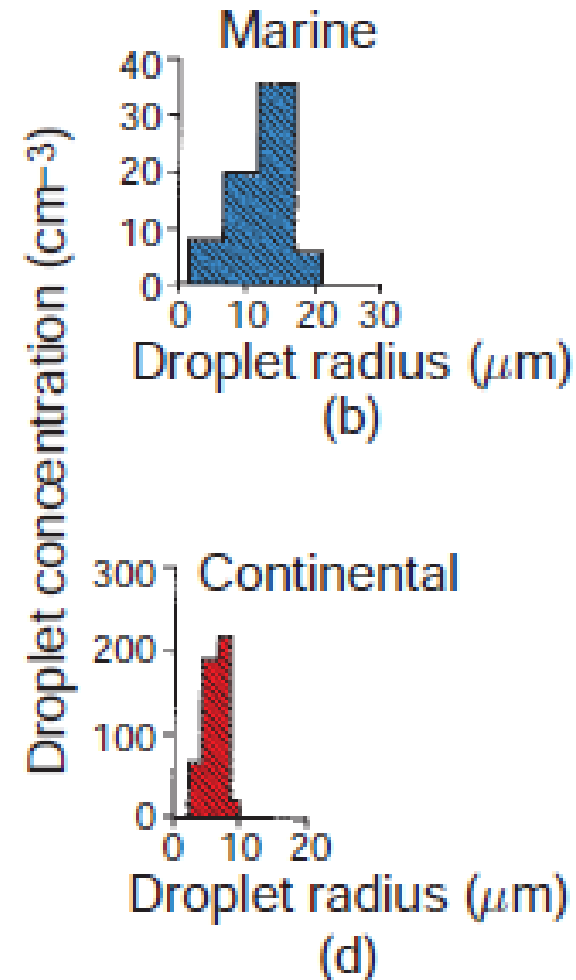
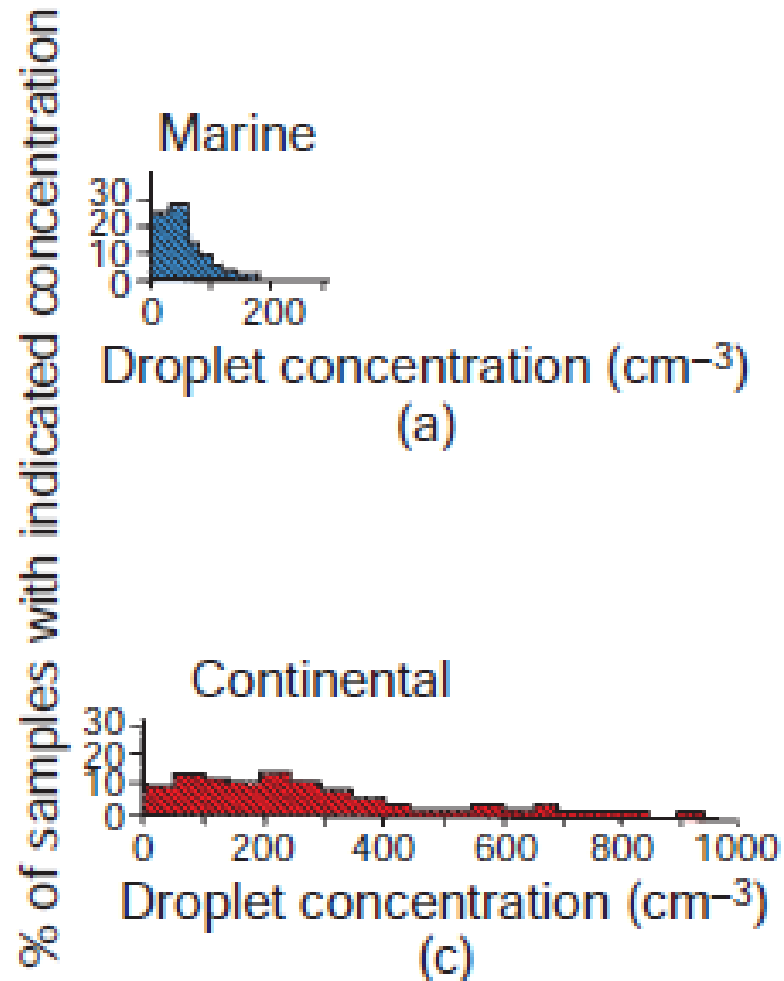
$$v = 2g \rho' r^2 / 9\eta$$

A estimativa é muito menor para gotas grandes porque conforme a gota fica maior ela não possui característica esférica pois é sujeita a um aumento da força de arrasto.

Uma gota de **nuvem** subindo e descendo por uma nuvem cumulus pode crescer por **colisão** e coalescência, e emergir de a nuvem como uma grande gota de chuva.



Geralmente as **nuvens marinhas** possuem menor concentração de núcleos aerossóis do que as **regiões continentais (mais poluídas)**. Portanto, as **nuvens marinhas** possuem gotas líquidas maiores do que as **continentais**.

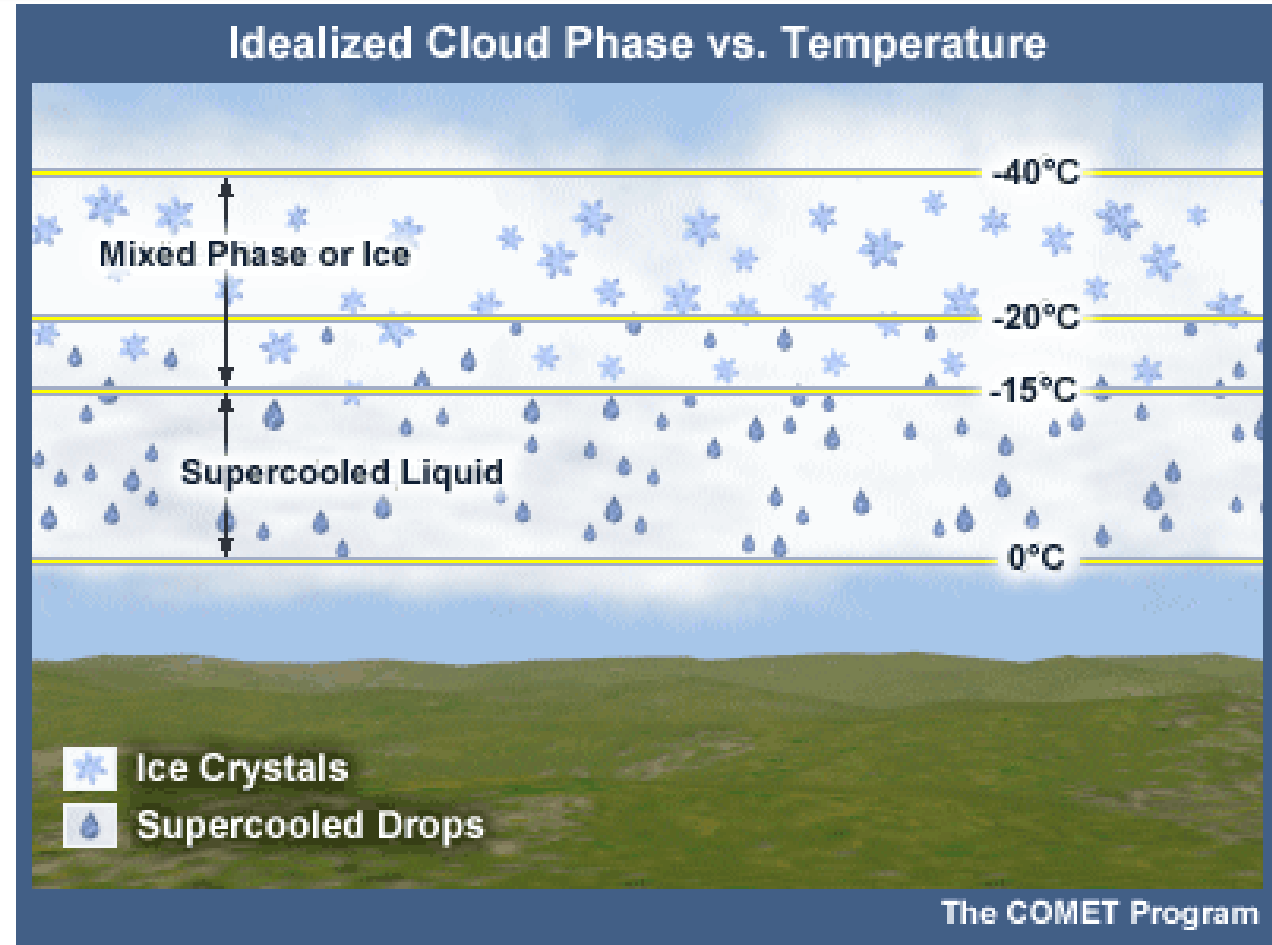




## Microfísica de Nuvens Frias

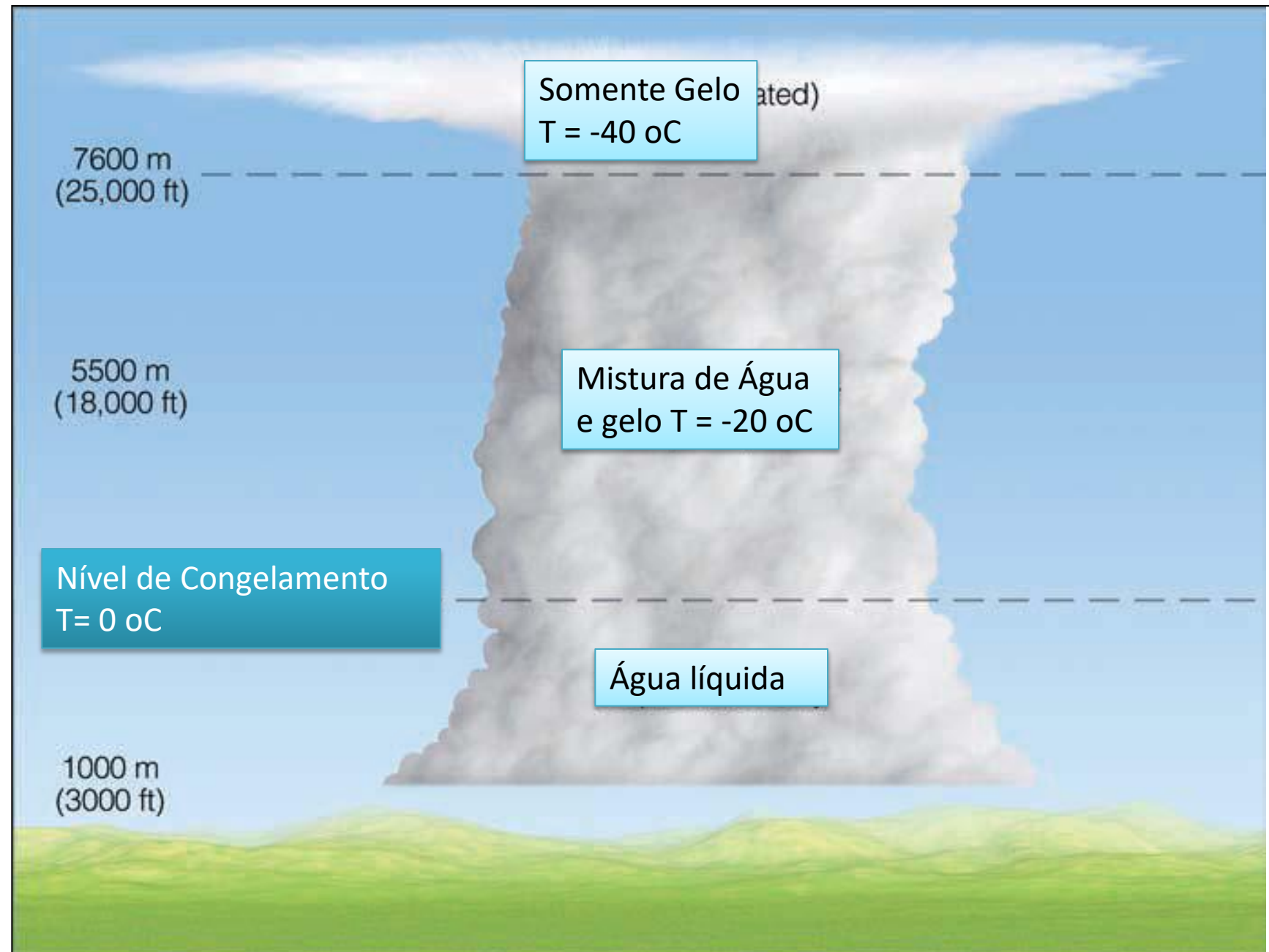
- Se uma nuvem se estende acima de 0 °C ela é denominada como **nuvem fria**.
- Mesmo que a temperatura seja abaixo de **0 °C**, gotículas de água (estado líquido) podem existir em nuvens e neste caso elas são referidas como gotículas **supercongeladas**.
- **Nuvens frias** podem conter também partículas de gelo.

- Se uma nuvem fria contém ambos, partículas de gelo e **gotículas supercongeladas**, ela é denominada **nuvem mista**; mas ela pode conter apenas partículas de gelo (**glaciadas**).
- Veremos a seguir:
  - (i) as origens e **concentrações** das partículas de gelo em nuvens,
  - (ii) as várias maneiras em que as partículas de gelo **crescem**,
  - (iii) e a formação de **precipitação** em nuvens frias.



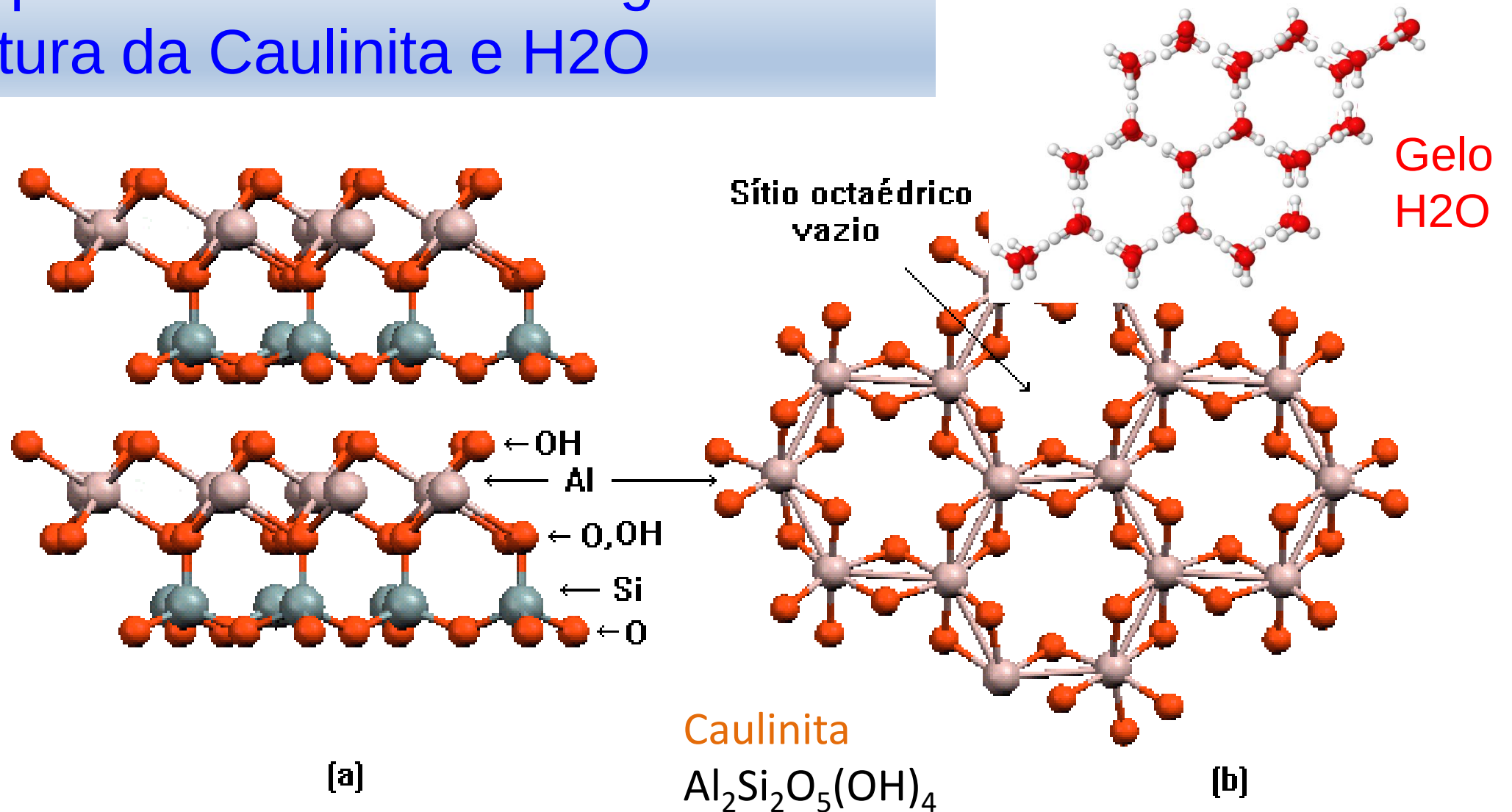
## Distribuição de gelo e água em uma nuvem CB

Dependendo da temperatura, podemos ter apenas cristais de gelo (acima); mistura de cristais de gelo e água líquida (supercongelada); somente água líquida (abaixo)



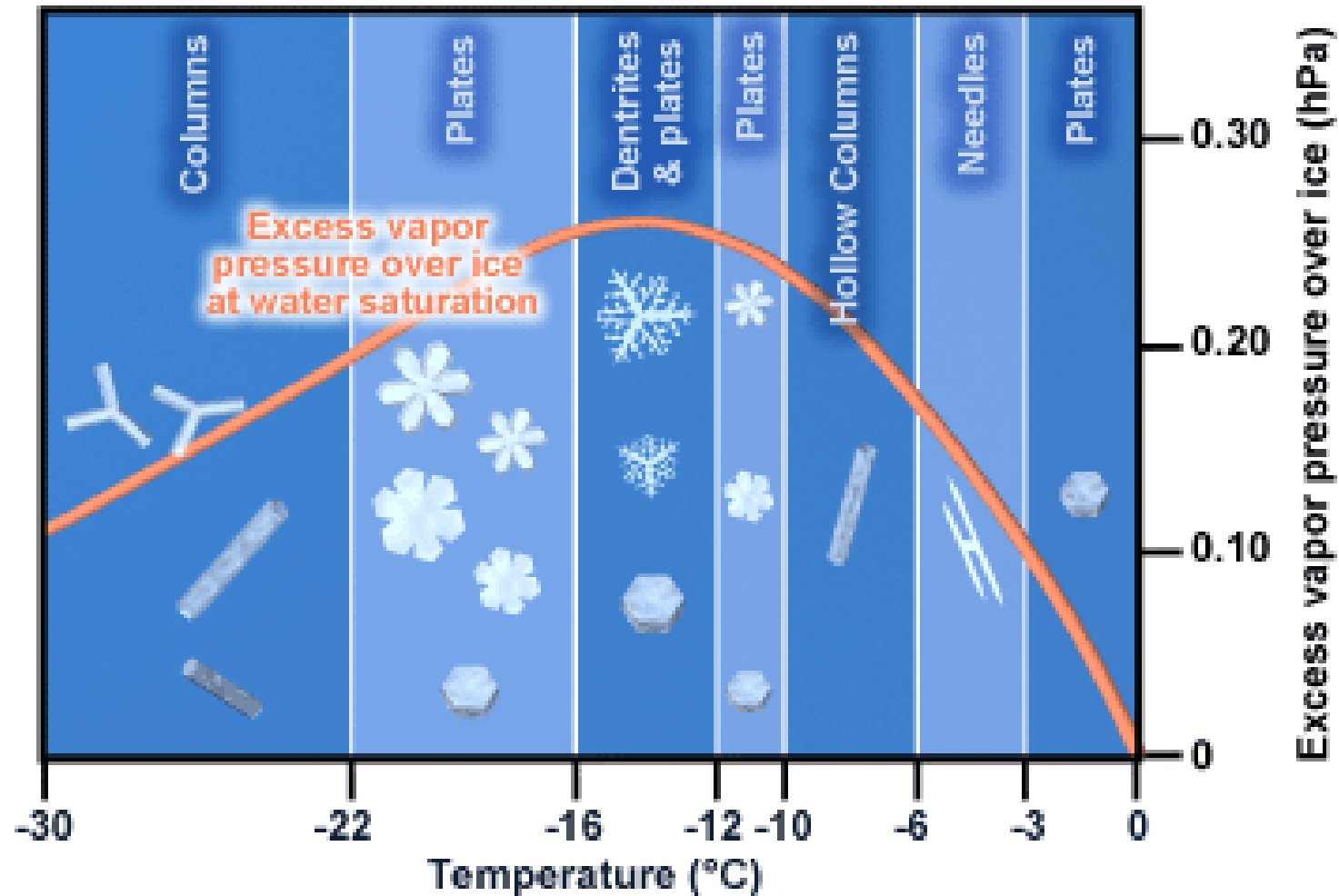
# Exemplo de núcleos de congelamento

## Estrutura da Caulinita e H<sub>2</sub>O

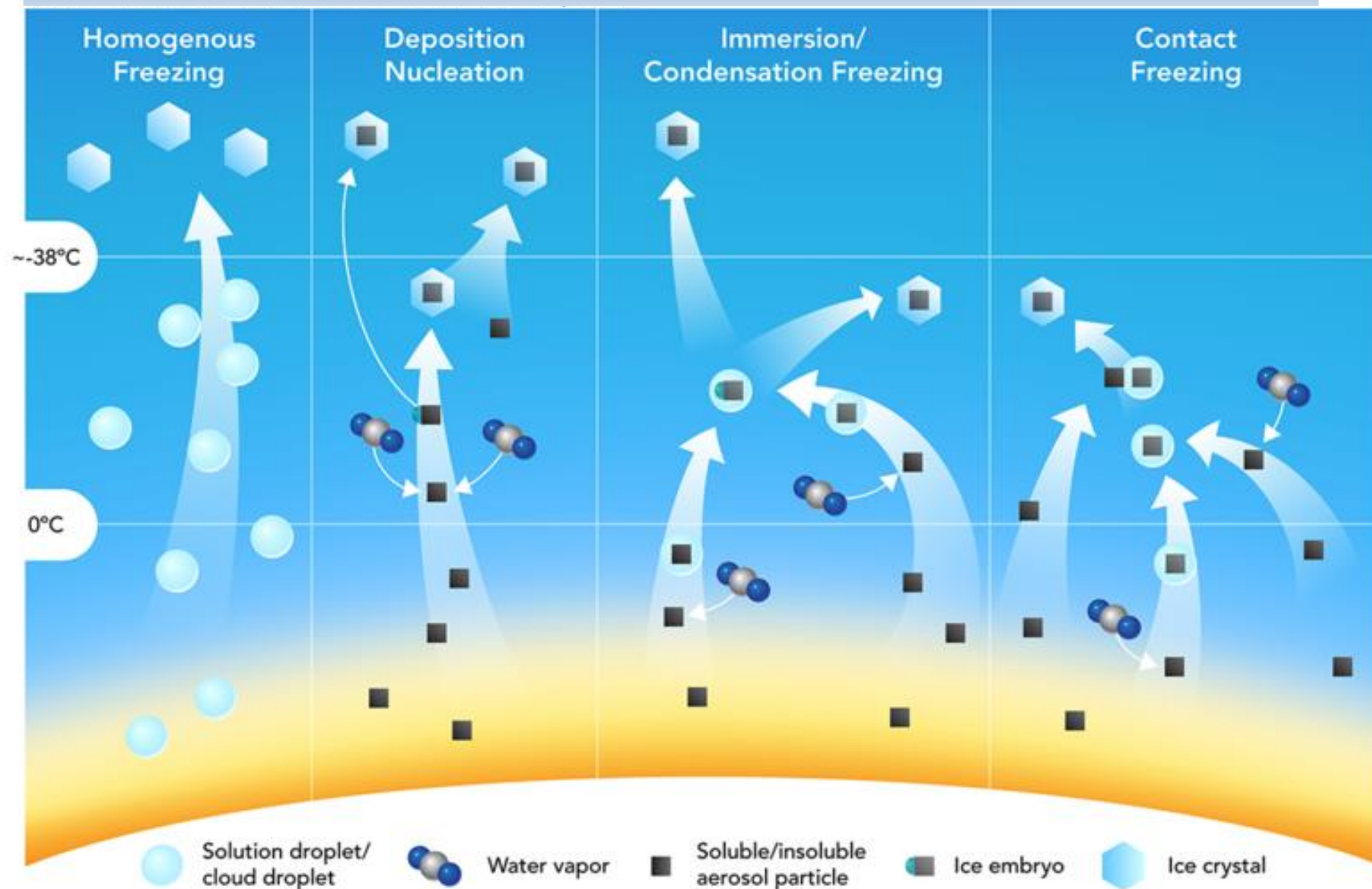


# Formação de Partículas de Gelo

## Common Crystal Habits and Formation Conditions



## Mecanismos de formação (nucleação) de gelo na Atmosfera





## Precipitação de Chuva e Neve dependem do perfil de temperatura

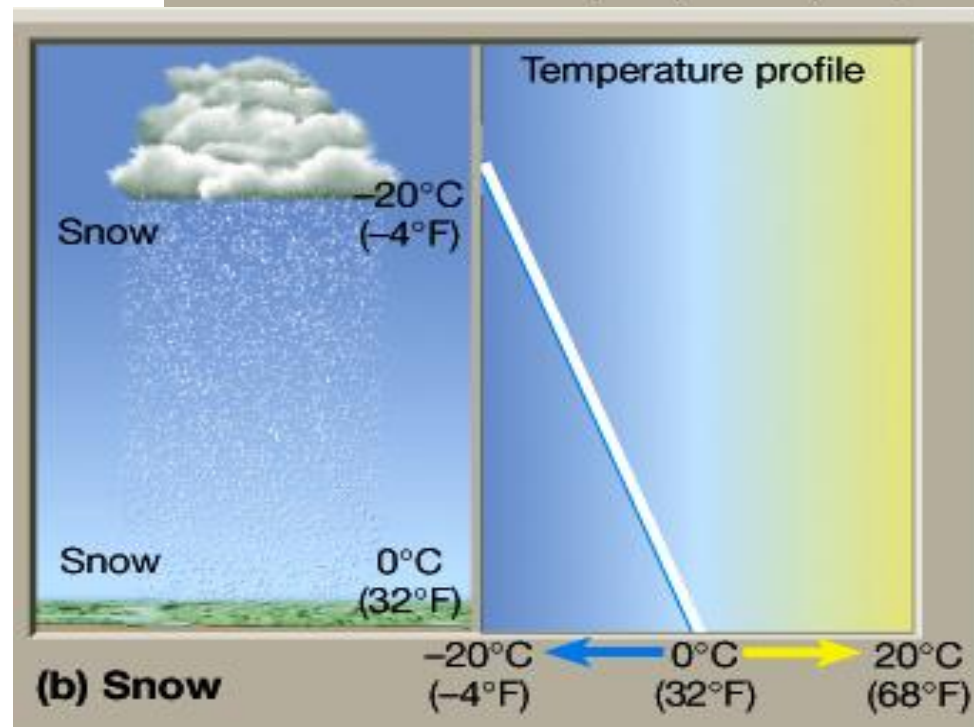
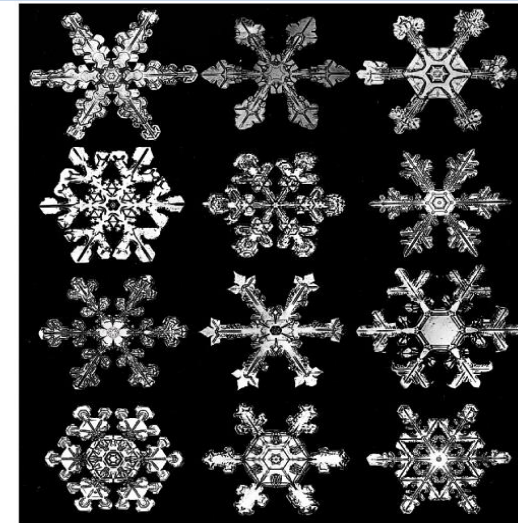
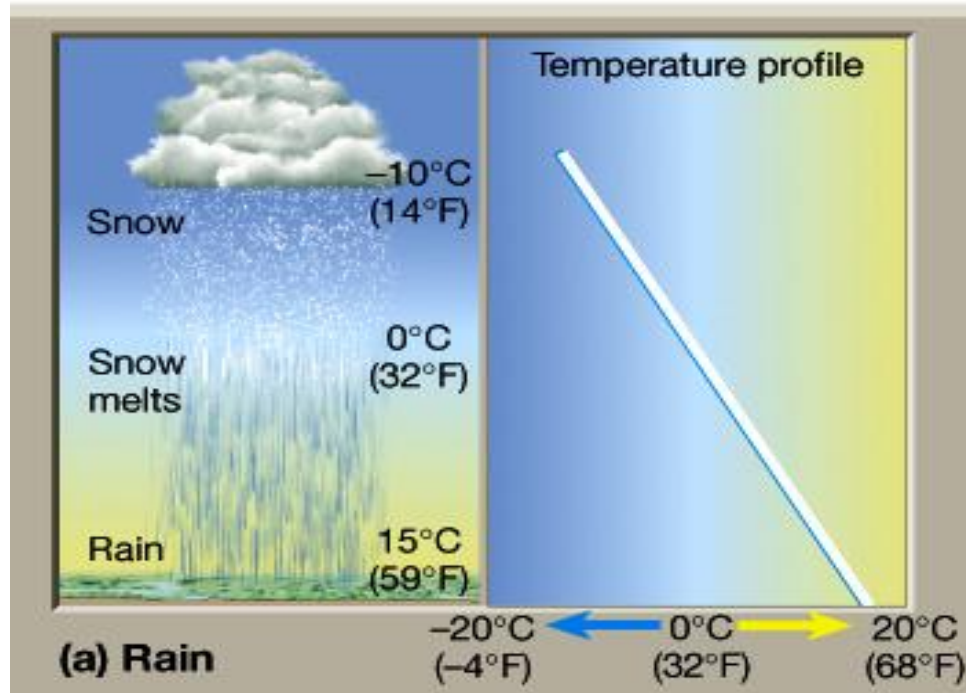


Table 6.2 A classification of solid precipitation<sup>a,b,c</sup>

| Typical forms                                                                        | Symbol | Graphic symbol                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|    | F1     |    |
|    | F2     |    |
|    | F3     |    |
|    | F4     |    |
|    | F5     |    |
|    | F6     |    |
|    | F7     |    |
|   | F8     |    |
|  | F9     |  |
|  | F10    |  |

<sup>a</sup> Suggested by the International Association of Hydrology's commission of snow and ice in 1951. [Photograph courtesy of V. Schaefer.]

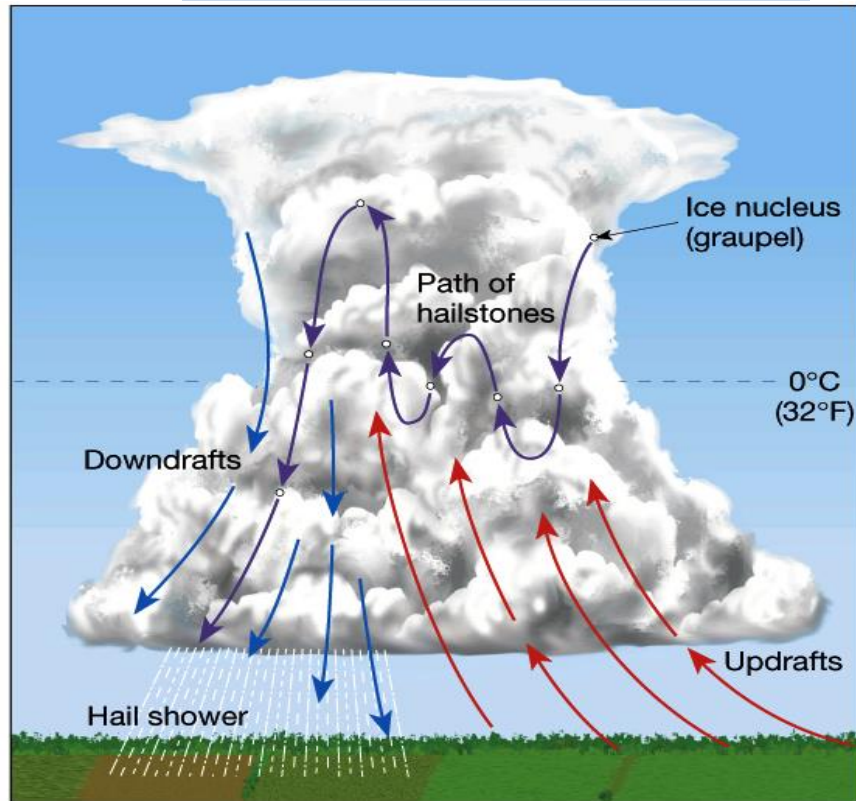
<sup>b</sup> Additional characteristics: p, broken crystals; r, rime-coated particles not sufficiently coated to be classed as graupel; f, clusters, such as compound snowflakes, composed of several individual snow crystals; w, wet or partly melted particles.

<sup>c</sup> Size of particle is indicated by the general symbol D. The size of a crystal or particle is its greatest extension measured in millimeters. When many particles are involved (e.g., a compound snowflake), it refers to the average size of the individual particles.

Classificação de Precipitação Sólida

O crescimento de partículas de gelo por deposição a partir da fase de vapor, **acreção** e **agregação** produz uma grande variedade de partículas sólidas. Ao lado temos uma pequena descrição de 10 tipos de partículas.

# Granizo



**Granizo** – Partículas de gelo que passa por processo de colisão com gotículas várias vezes dentro de uma tempestade devido aos movimentos repetidos para cima e para baixo.

Movimentos ascendentes podem chegar a **180 km/h** associados a granizo com raio da ordem de 8cm.

**TABLE 7-1** Terminal Velocities of Hailstones

$$v_t = \sqrt{\frac{1}{3} \rho / k} \sqrt{r} = 20\sqrt{r} \quad (r \text{ in cm, } v_t \text{ in m/sec})$$

| Radius (cm) | Terminal Velocity (Meters Per Second) |
|-------------|---------------------------------------|
| 0.1         | 6 (13 mph)                            |
| 1.0         | 20 (44 mph)                           |
| 2.0         | 28 (62 mph)                           |
| 3.0         | 35 (77 mph)                           |

Lajes-SC





# Granizo



**Argentina 8 February 2018**

**Diâmetro 18-23 cm**

<https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/101/8/bamsD190012.xml>



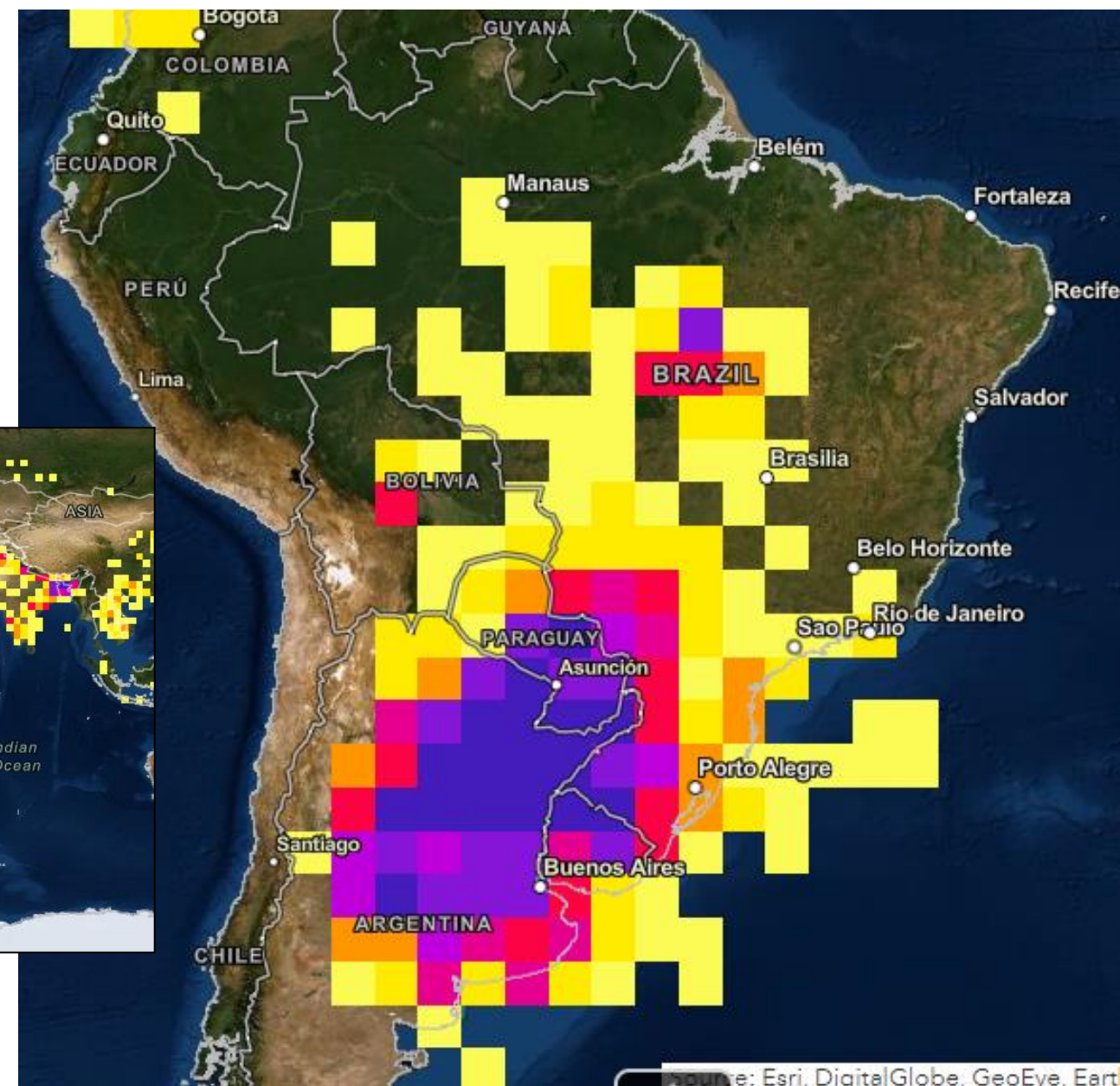
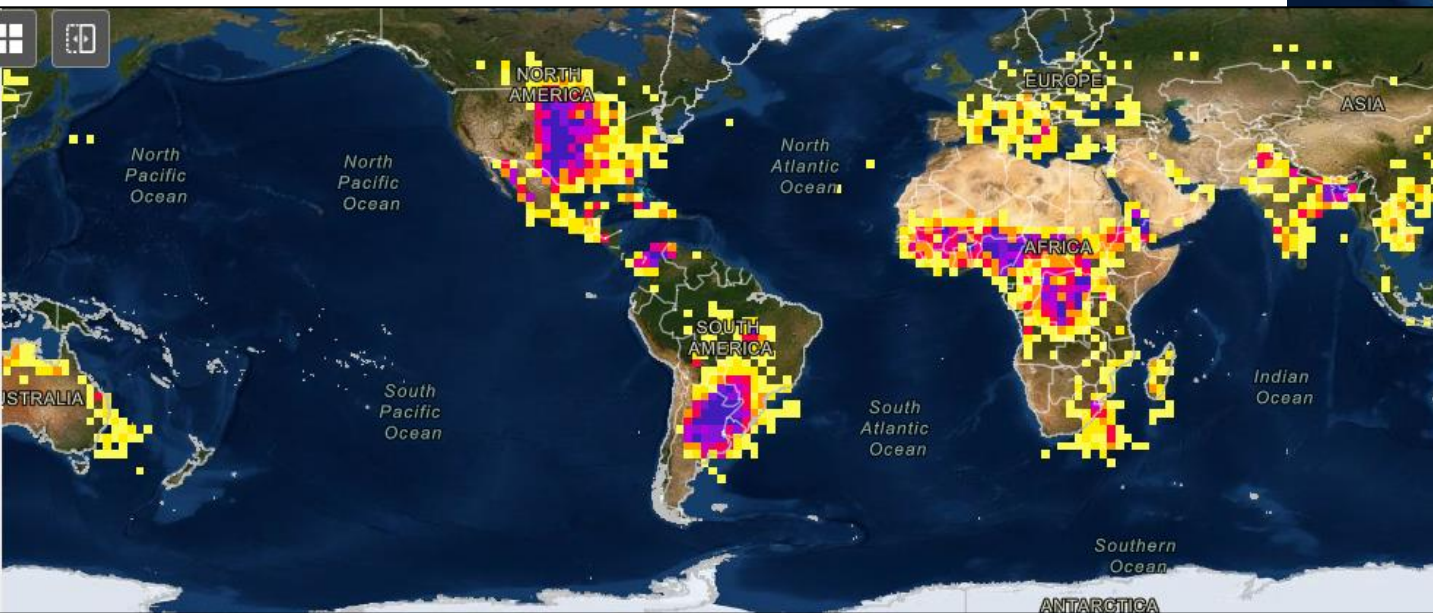
**Libia 27 Outubro 2020**

**Diâmetro 20 cm**

<https://www.severe-weather.eu/global-weather/large-giant-hail-libya-mk/>

# Granizo

Projeto da NASA para análise de ocorrência global de granizo baseado em dados de satélite.





Sob certas condições, as nuvens podem ser **semeadas naturalmente**. Por exemplo, quando nuvens cirrus ficam diretamente acima de uma plataforma de nuvens abaixo, cristais de gelo podem cair e semear a nuvem abaixo.

Quando as nuvens **cirrus** formam ondas devido ao vento sobre uma montanha, bandas de **precipitação** freqüentemente se formam

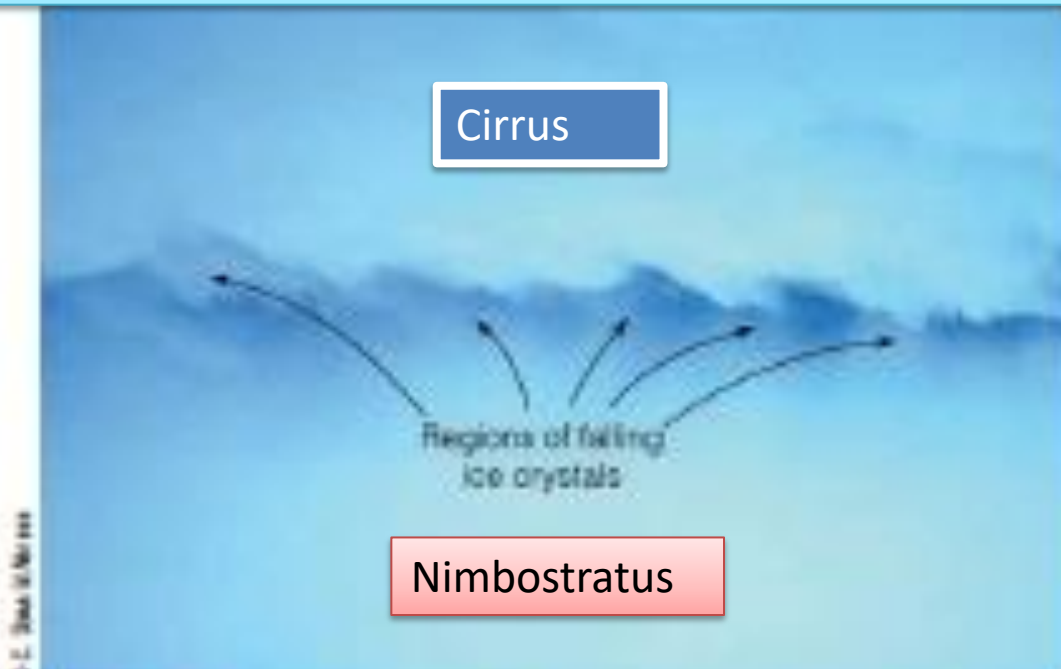


Fig 7.1.1 Cristais de gelo caindo a partir de uma nuvem cirrus densa sobre um nimbostratus. A imagem foi feita a uma altitude de 6km acima da superfície. Observa-se chuva moderada precipitando sobre a região.

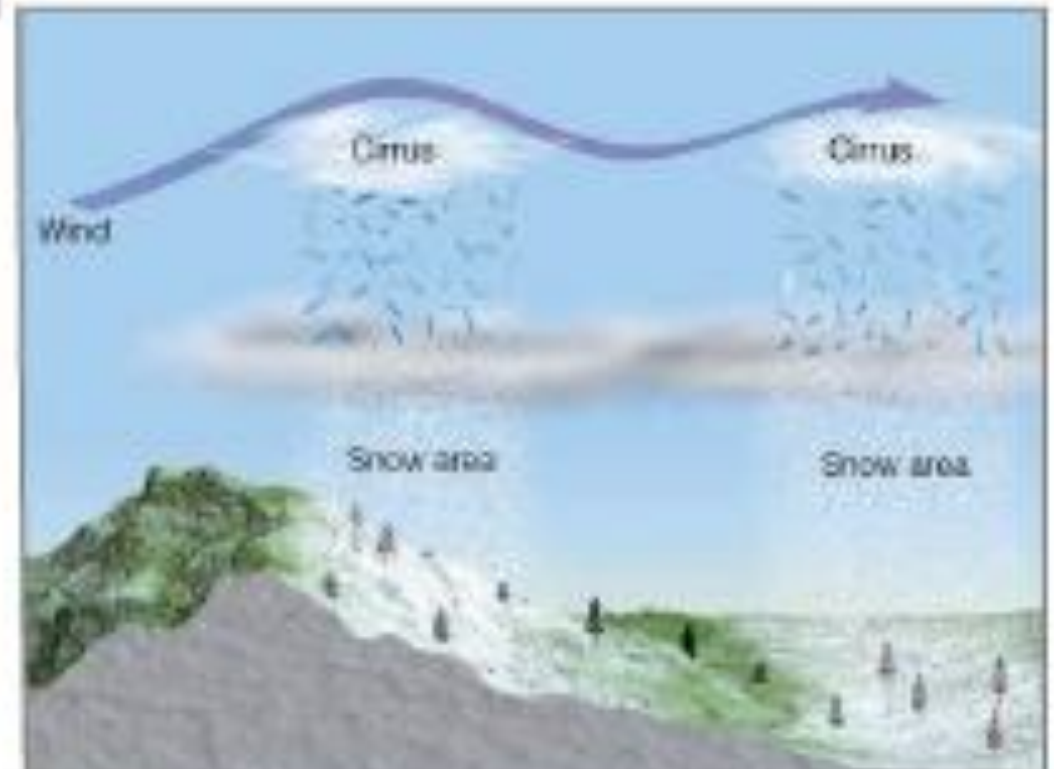
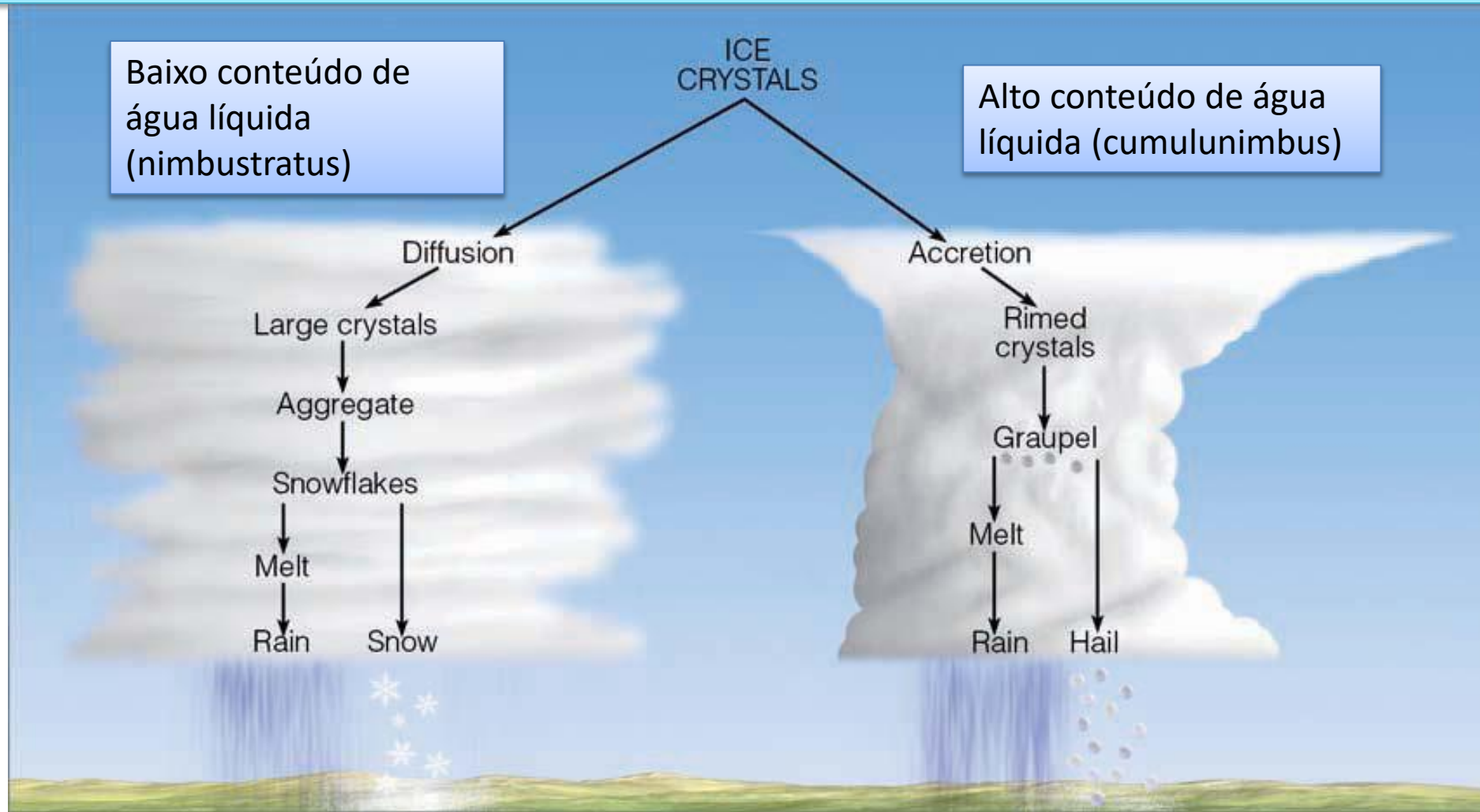


Fig 7.1.2 Sementeira natural por nuvens cirrus pode formar bandas de precipitação próximo de montanhas

O **conteúdo de água líquida** da atmosfera pode determinar o tipo de precipitação.

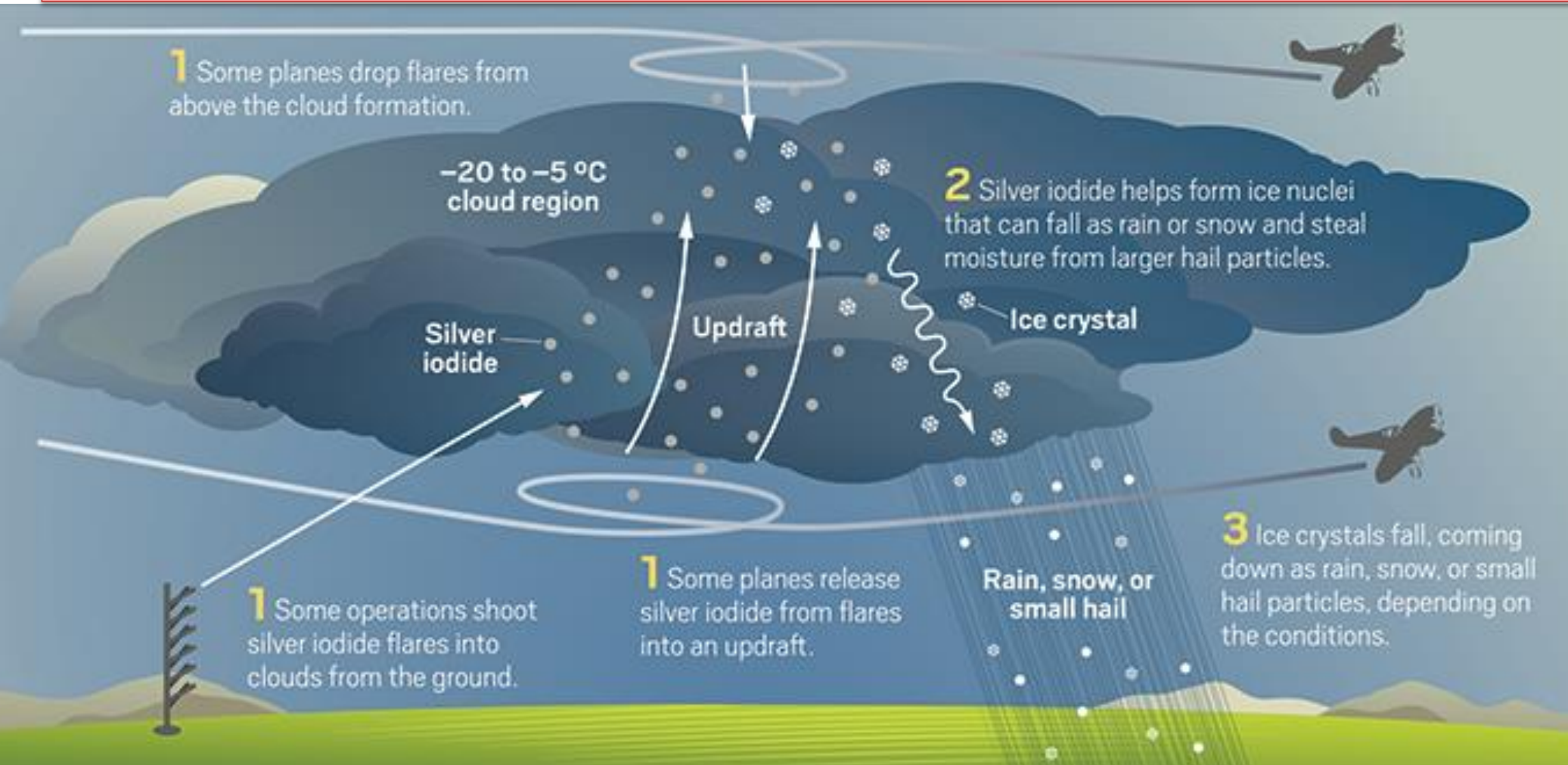
Baixo conteúdo de **água líquida** pode precipitar **chuva ou neve**.

Alto conteúdo de **água líquida** pode precipitar **granizo**.



## Modificação de Nuvens Frias

1 aviões descarregam **iodeto de prata** no topo da nuvem; 2 o iodeto tornam-se núcleos que produz gotas de chuva e neve; 3 as partículas de gelo caem podendo formar precipitação de neve ou chuva dependendo das condições atmosféricas.



Os aviões podem jogar o iodeto de prata abaixo da nuvem em plumas quentes.

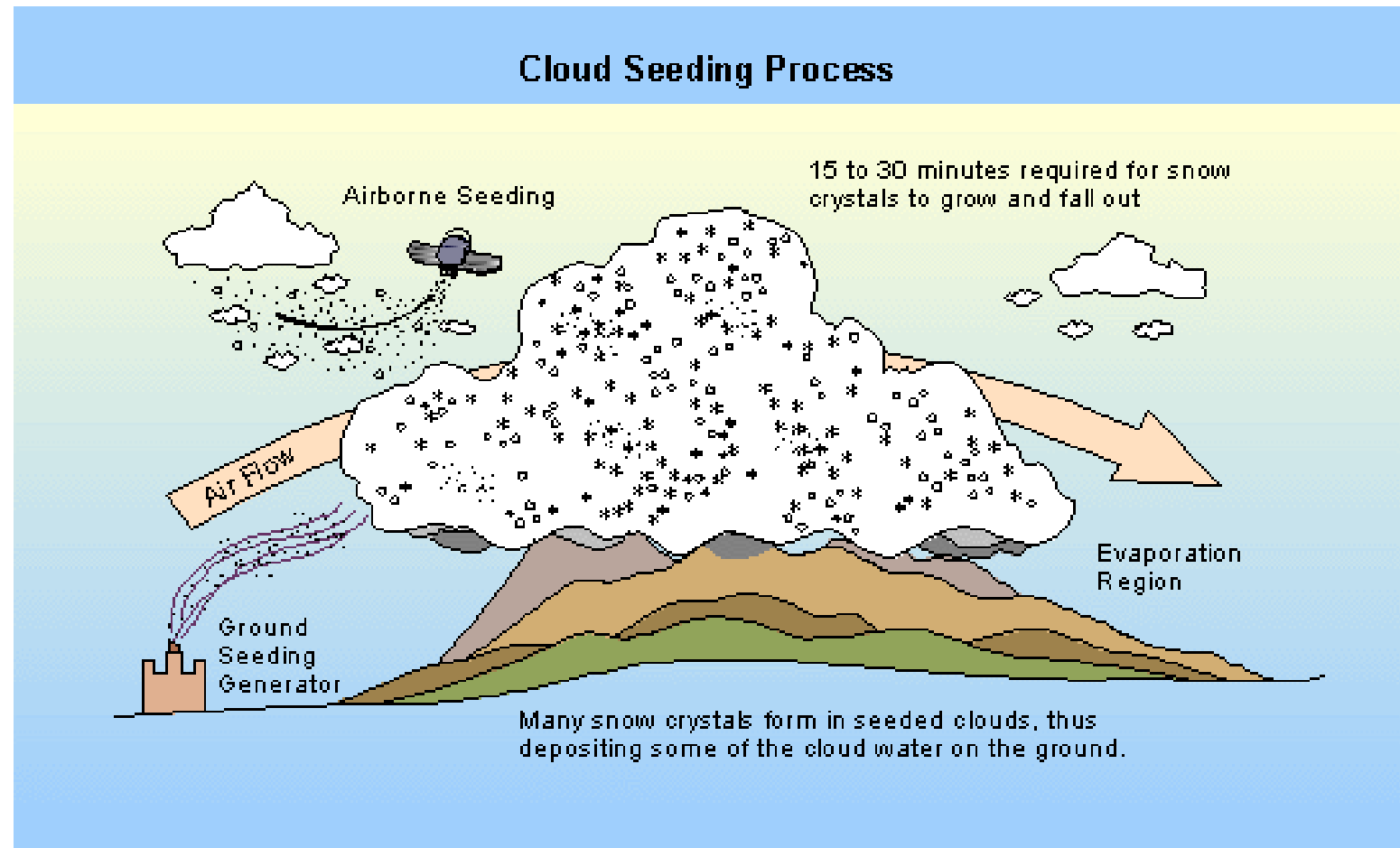
O iodeto de prata pode ser introduzido da superfície (e.g. por foguetes).

## Modificação de Nuvens Frias

Algumas tentativas foram feitas para avaliar se a **super-semeadura** poderia redistribuir a precipitação de **neve orográfica**.

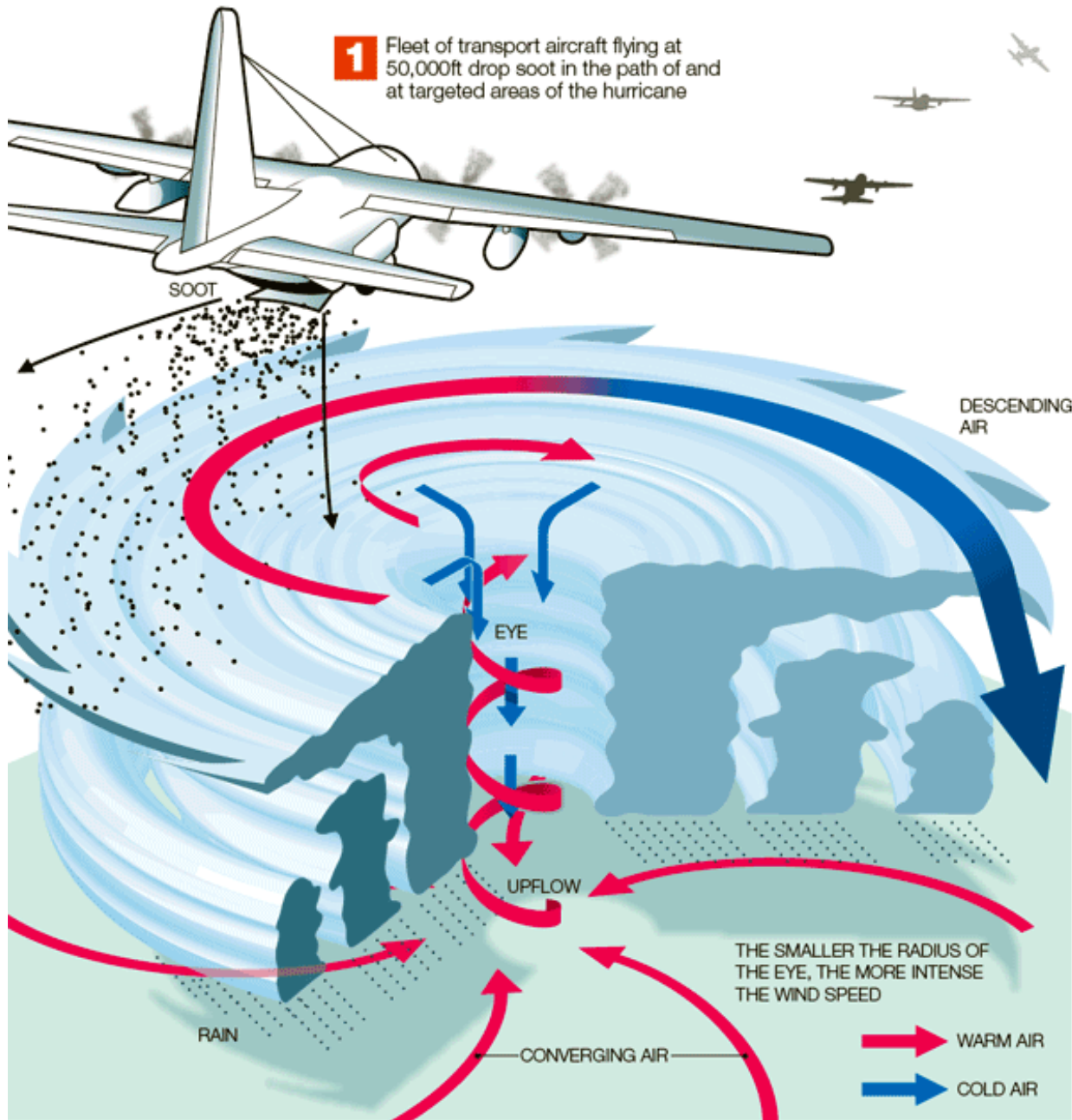
Na ausência de acreção, os cristais de gelo crescem por **deposição** a partir do vapor e suas velocidades terminais são reduzidas por um fator de 2.

Ventos podem então carregar estes cristais mais longe antes do início da precipitação. Desta forma, pode ser possível levar a queda de neve para o outro lado da montanha (onde a precipitação é menor).

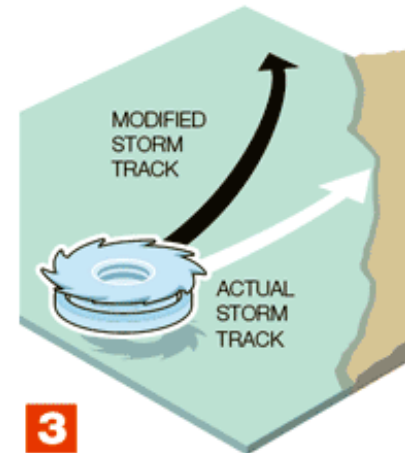




# HOW TO HALT A HURRICANE



SOURCE: CONTROLLING HURRICANES BY ROSS HOFFMAN



GRAPHIC: STEFAN BAYLEY, CIARAN HUGHES

Projeto de modificação de um **furacão** através:

(1) do despejo de **fuligem**

(2) que é **aquecida** pelos raios solares, aquecendo a atmosfera fria do topo do furacão. Isto reduz o fluxo de ar para cima.

(3) dependendo do local, poderia **modificar** o caminho.

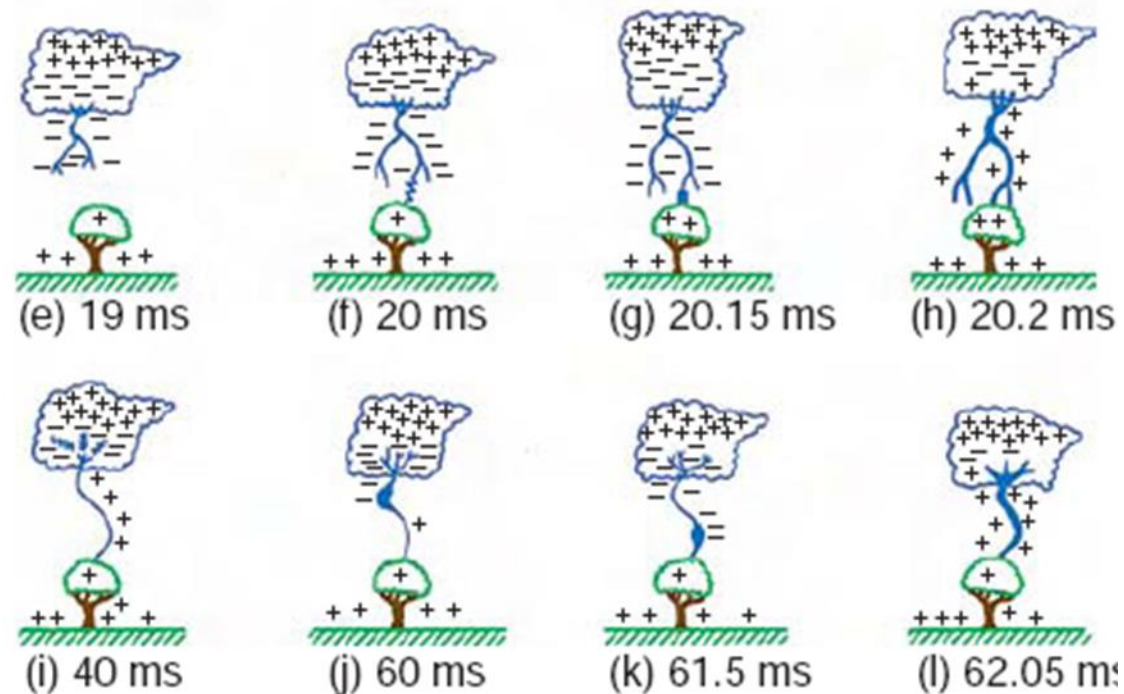
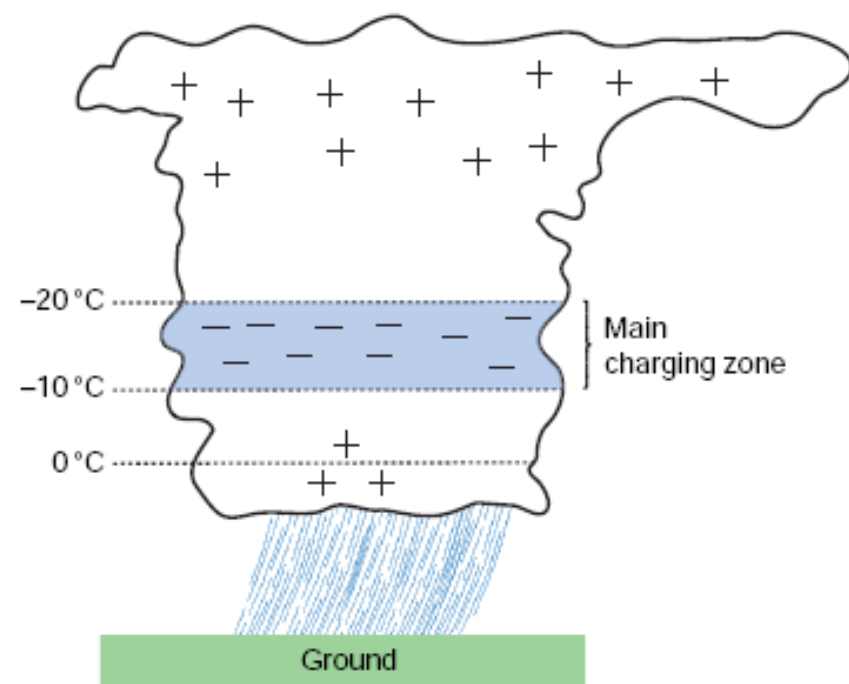
# Eletrificação de Nuvens e Tempestades

## Relâmpagos e Trovões

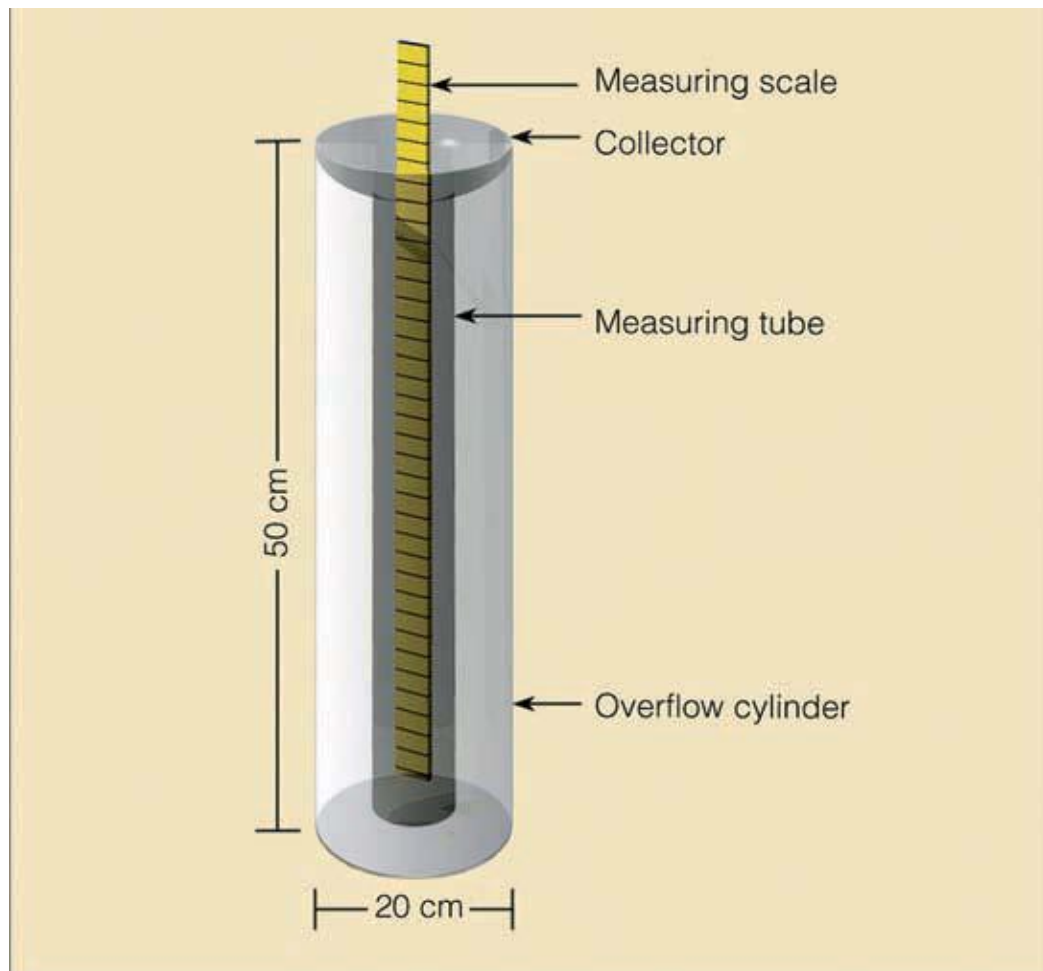
Conforme as cargas elétricas são separadas em uma nuvem, a intensidade do **campo elétrico** aumenta e eventualmente excede aquela em que o ar consegue manter.

O resultado da **quebra dielétrica** assume a forma de **relâmpagos** que podem ser:

- (1) dentro da própria nuvem, entre nuvens, ou a partir da nuvem para o ar (**relâmpagos** de nuvens);
- (2) Entre a nuvem e o solo (relâmpagos de solo = **raio**).



# Instrumentos de Medida de Precipitação



Pluviômetro



## **Pluviômetro de báscula.**

Cada vez que enche, envia os dados e esvazia o pluviômetro.



## Precipitação por Radar

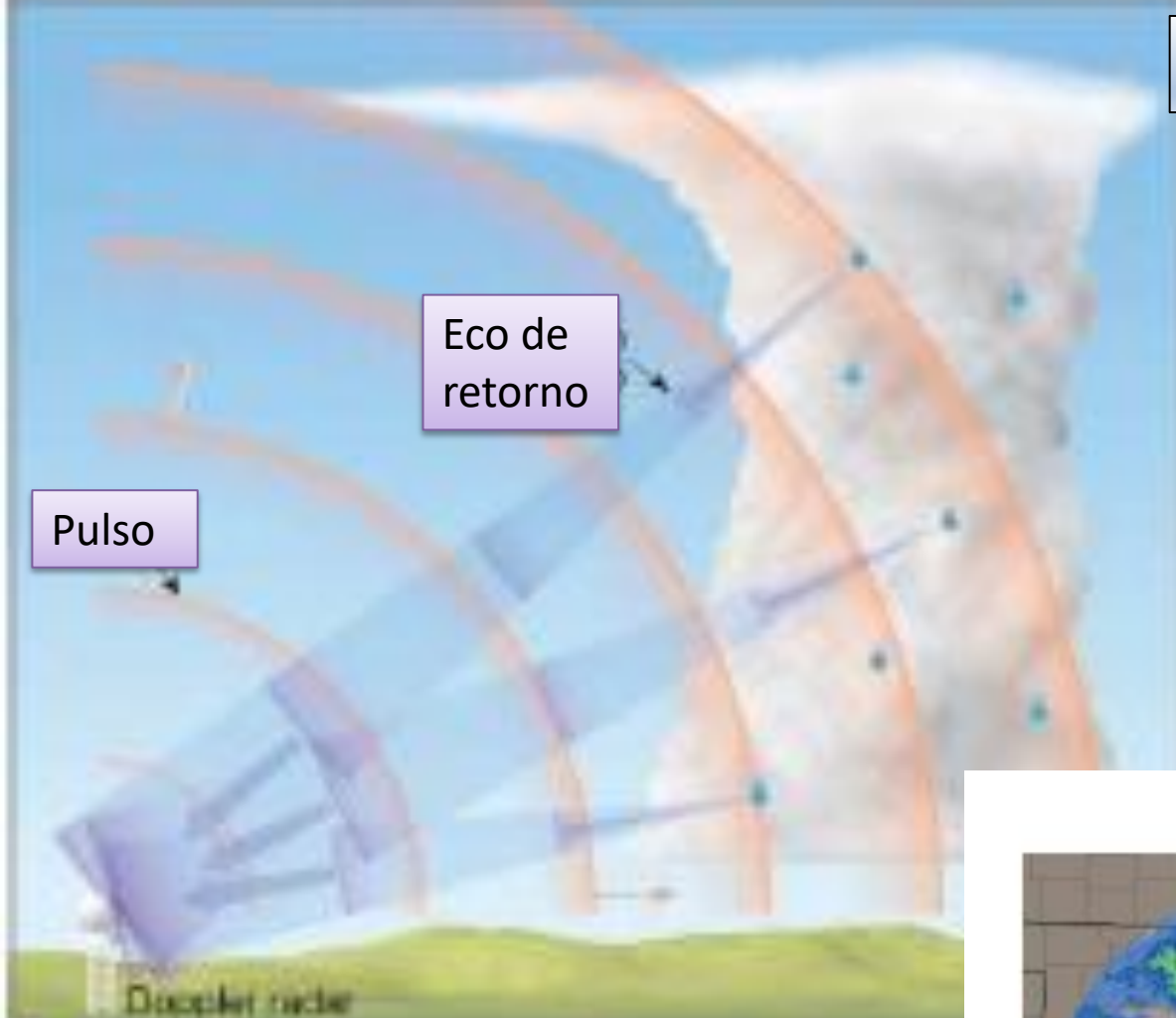


Fig. 7.3.3 Um pulso de microondas é enviado a partir do transmissor. O pulso atinge gotas de chuva e uma fração deste feixe é refletido de volta ao radar, onde é detectado e disposto em tela (Fig.7.3.4).

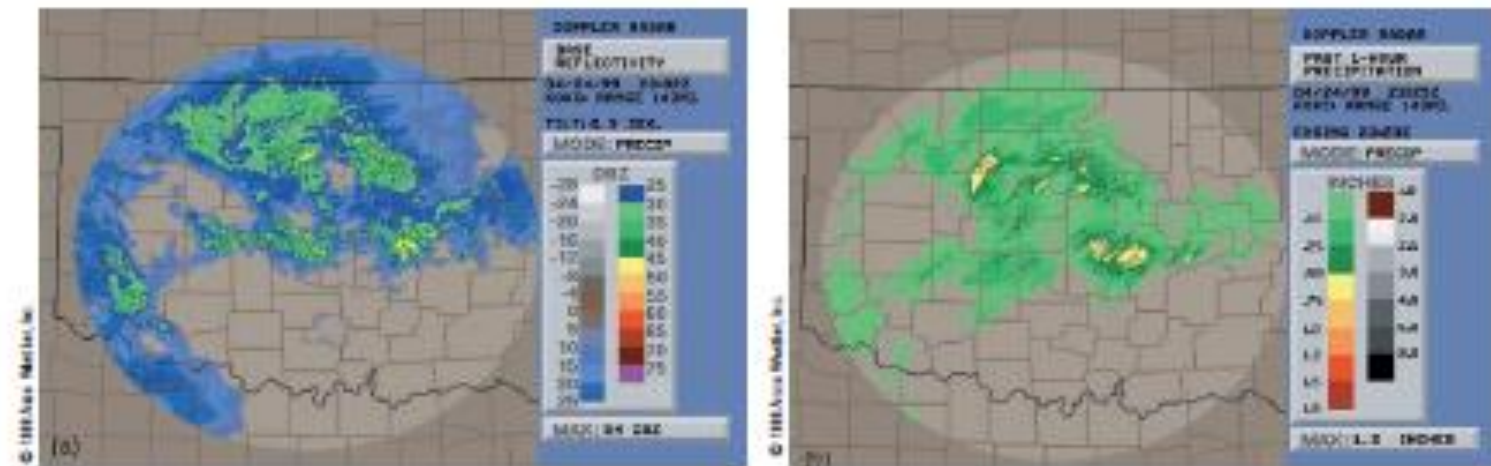
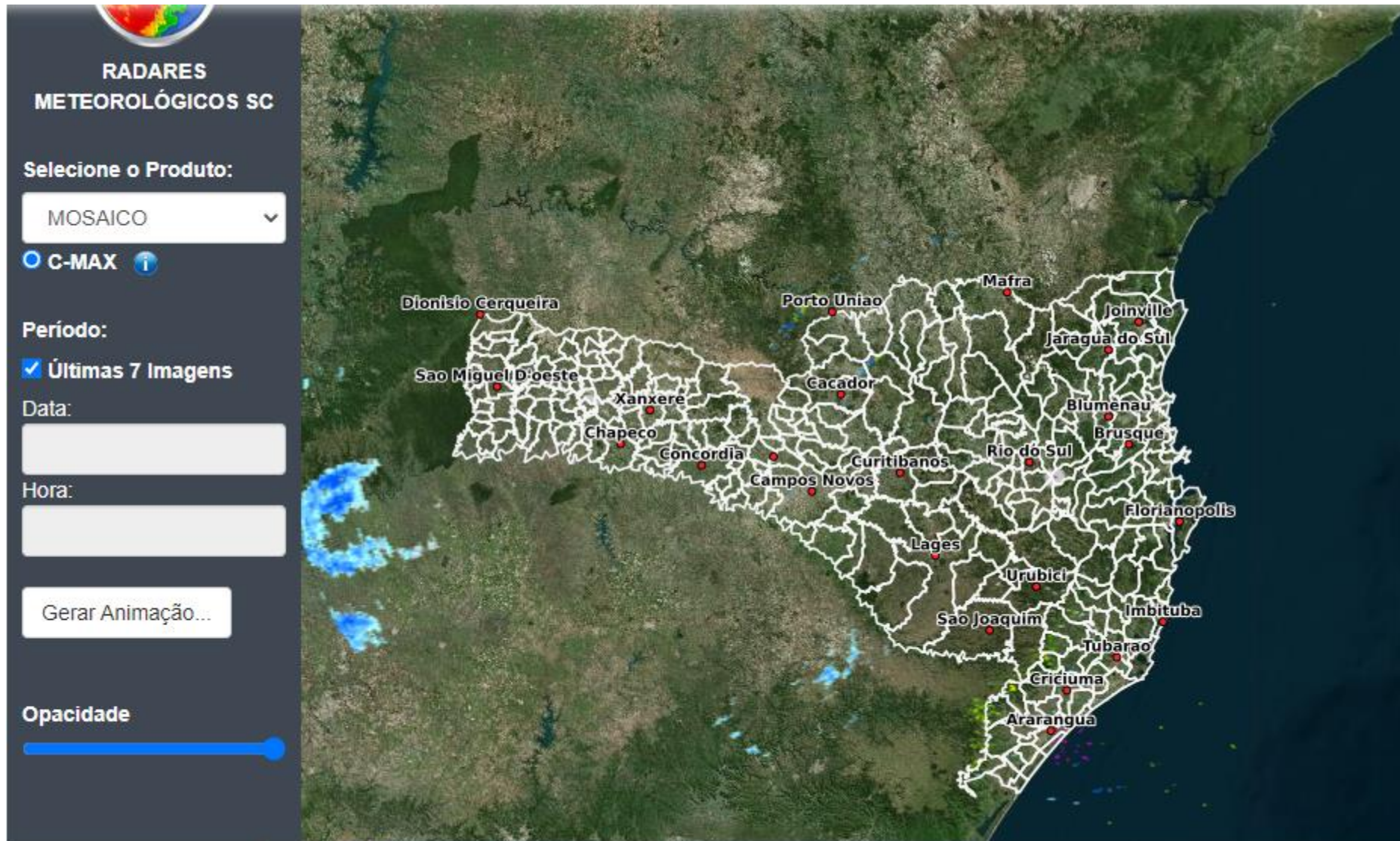


FIGURE 7.3.4 (a) Doppler radar display showing precipitation intensity over Oklahoma for April 24, 1999. The lightest precipitation is shown as blue and green; heavier rainfall is indicated by the color yellow. The numbers under the letters DIZ represent the logarithmic scale for measuring the size and volume of precipitation particles. (b) Doppler radar display showing 1-hour rainfall amounts over Oklahoma for April 24, 1999.



# Instrumentos de Medida de Precipitação

Precipitação por Radar  
ciram-Epagri



<https://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php/radar/>

## Instrumentos de Medida de Precipitação

### Precipitação por Satélite Radar



Fig. 7.3.5 Imagem de satélite (radar) do Furacão Humberto obtida pelo satélite TRMM em 13/09/2007. Taxas de precipitação obtidas por imagens de satélite por micro-ondas e radar. (composta com imagem infravermelha)

are overlain on the infrared image of the storm.