

**Universidade de São Paulo  
Departamento de Geografia  
FLG 0253 - CLIMATOLOGIA I**

**O vapor de água na atmosfera:  
Tipos de Chuva - Frontal,  
convectiva e orográfica**

**Prof. Dr. Emerson Galvani  
Laboratório de Climatologia e Biogeografia –  
LCB**

# Precipitação

- Precipitar significa afundar, descer (da química),
- Quando nos referimos a chuva é a precipitação pluvial.
- Podem ocorrer outras formas de precipitação: Granizo e Neve.
- Nós trópicos a principal *entrada* de água no sistema é por precipitação pluvial (chuva),
- A neblina pode ser importante em locais como a serra do mar, por exemplo.

# AR SATURDO

(em baixos níveis)

## • 1) ORVALHO

Temperatura do ponto de  
**orvalho** (acima de  $0^{\circ}$  C)

## 2) GEADA

Temperatura do ponto de  
**geada** (igual ou menor do  
que  $0^{\circ}$  C)

- Dependem do *resfriamento* radiativo noturno (numa noite limpa e calma). Comum no outono e inverno em nossa latitude.

- São formas de condensação direta sobre uma superfície: solo, folhas ou carros

- **Não são considerados precipitação**

# AR SATURDO

(em baixos níveis)

- **3) Nevoeiro**

é uma suspensão de minúsculas gotículas de água próximo à superfície

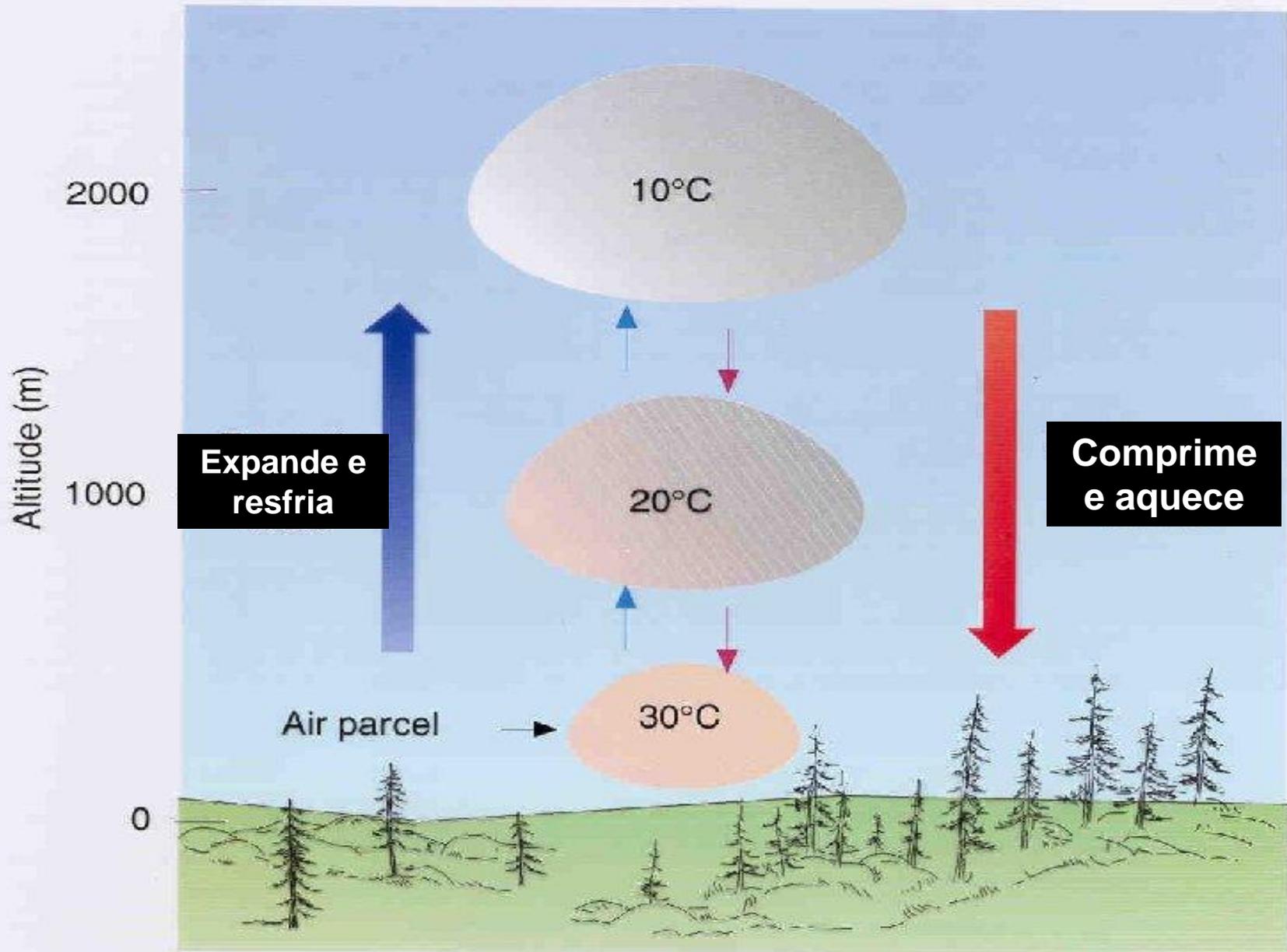
Nevoeiro → Visibilidade horizontal no solo é inferior a 1 km

Neblina → Visibilidade horizontal no solo é superior a 1 km

## **TIPOS de nevoeiro**

- Resfriamento radiativo (noite outono/inverno)
- Resfriamento advectivo (massa de ar fria)
- Resfriamento orográfico (serra do mar)
  - Adição de vapor (próximo a lagos)

# Processo adiabático



# O que é o processo Adiabático

- O resfriamento adiabático consiste no resfriamento da parcela de ar pela diminuição da pressão e da temperatura sem que ocorra troca de calor com o ambiente externo. Esse processo ocorre quando a parcela de ar se eleva na atmosfera. Essa elevação pode ocorrer por diversas razões (que trataremos a seguir).
- O processo pode ocorrer no sentido contrário. Nessa situação temos a compressão e o aquecimento da parcela de ar (aquecimento adiabático neste caso).

# NEBULOSIDADE

- Nuvem é um conjunto visível de partículas minúsculas de água líquida ou de gelo, ou de ambas ao mesmo tempo, em suspensão na atmosfera. É a umidade do ar condensada → **ar saturado**
- Este conjunto pode também conter partículas de água líquida ou de gelo em maiores dimensões, e partículas procedentes de vapores industriais, de fumaças ou de poeiras (aerossóis) → **núcleos de condensação ou higroscópicos.**

De acordo com a OMM (Organização Meteorológica Mundial) existem três estágios de nuvens e uma categoria especial:

- **Nuvens Altas:** base acima de 6 km de altura – sólidas (cirrus).
- **Nuvens Médias:** base entre 2 a 4 km de altura nos pólos, entre 2 a 7 km em latitudes médias, e entre 2 a 8 km no equador - líquidas e mistas (altocumulos).
- **Nuvens Baixas:** base até 2 km de altura – líquidas (cumulus e stratus).
- **Nuvens de Desenvolvimento Vertical** – passa pelos três níveis (Cumulonimbus)

# Nuvens Altas



Cirrus (Ci)



Cirrus e cirrostratus (Ci e Cs)



Cirrocumulus (Cc)

Fonte: Inmet, 2010

# Nuvens Médias



Altocumulus (Ac)



Altostratus (As)



Altocumulus (As)

Fonte: Inmet, 2010

# Nuvens Baixas



Cumulus humilis (Cu)



Stratocumulus (St)



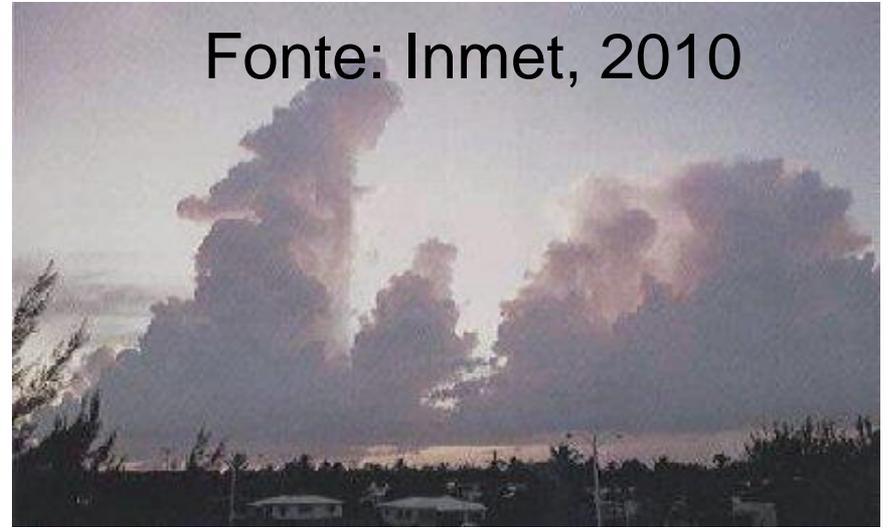
Stratocumulus (St)

Fonte: Inmet, 2010

# Nuvens de desenvolvimento Vertical



Cumulonimbus Capillatus incus



Fonte: Inmet, 2010

Cumulus congestus (Cu)



Cumulonimbus (Cb)



# NÚCLEOS DE CONDENSAÇÃO

- Quando a condensação ocorre no ar acima do solo, minúsculas partículas conhecidas como núcleos de condensação servem como superfície sobre a qual o vapor d'água condensa.
- A atmosfera contém abundância de núcleos de condensação (partículas microscópicas de poeira, fumaça e sal) → superfícies sobre as quais a condensação pode ocorrer (núcleos tem raios maiores que  $1\mu\text{m}$ ).
- Mais importante que a presença de núcleos relativamente grandes é a presença de **núcleos higroscópicos**, que tem uma afinidade química especial (atração) por moléculas de água (por exemplo, sais marinhos). A condensação começa sobre esses núcleos em umidades relativas abaixo dos 100%.

# FORMAÇÃO DE PRECIPITAÇÃO

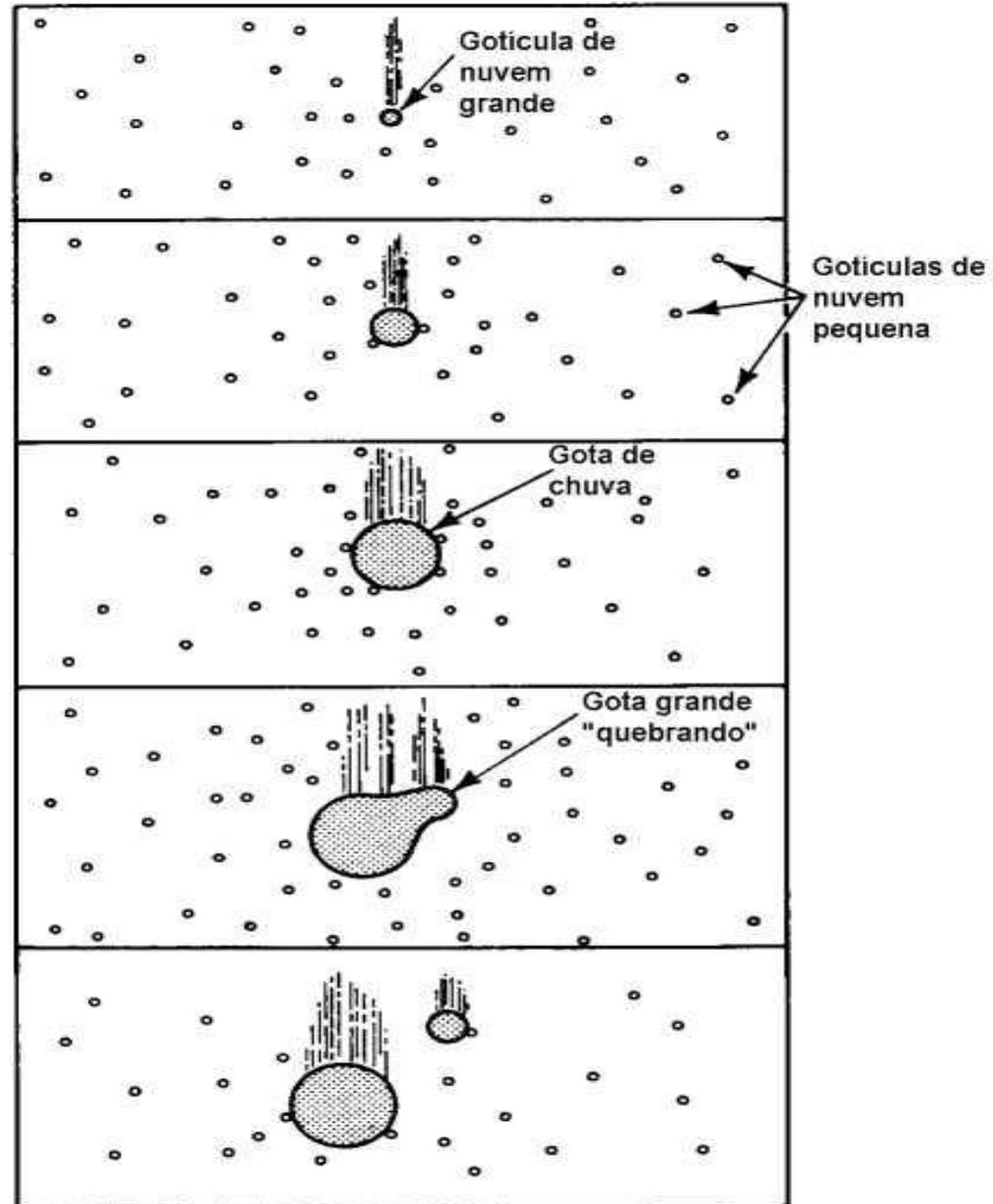
- Se as nuvens contêm vapor, água e gelo, por que algumas produzem precipitação e outras não?
- Gotículas de nuvem são minúsculas, com diâmetro médio menor que  $20 \mu m$  (evaporariam antes de atingir a superfície)

Nuvens consistem de muitas destas gotículas, em competição pela água disponível; assim, seu crescimento via **condensação** é pequeno.

- **Uma gotícula com 20  $\mu\text{m}$  de diâmetro teria uma velocidade terminal em superfície de 1,2 cm/s levando, portanto, cerca de 50 horas para cair de uma altura de 2200m.**
- **Portanto, as gotículas de nuvem precisam crescer o suficiente para vencer as correntes ascendentes nas nuvens e sobreviver como gotas ou flocos de neve ou gelo a uma descida até a superfície sem se evaporar. Para isso, seria necessário juntar em torno de um milhão de gotículas de nuvem numa gota de chuva.**

# FORMAÇÃO DE PRECIPITAÇÃO

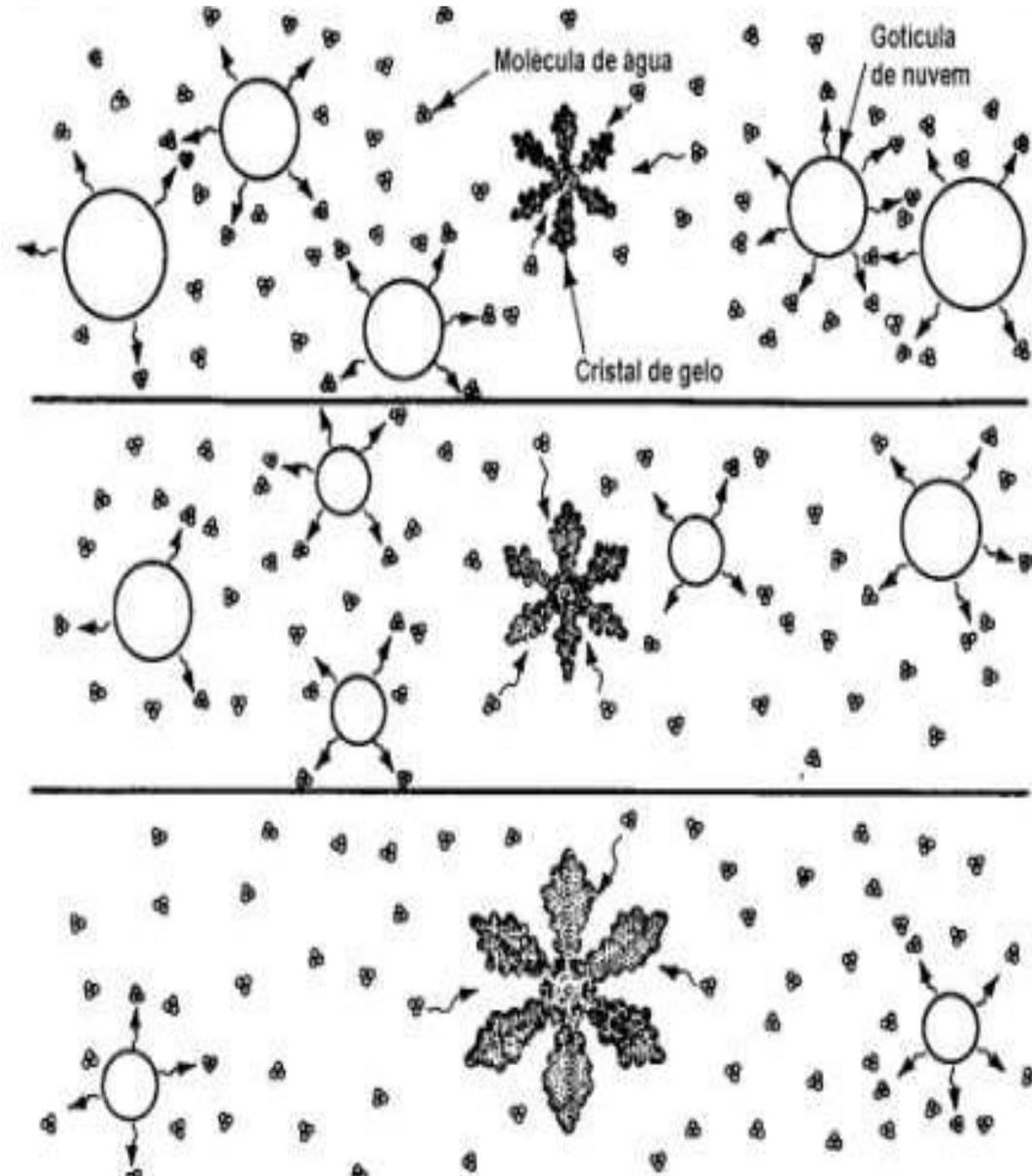
- 1) Processo de **colisão-coalescência**:  
ocorre em nuvens quentes, isto é, nuvens com temperatura acima do ponto de congelamento da água ( $0^{\circ}\text{C}$ ).



# FORMAÇÃO DE PRECIPITAÇÃO

## 2) Processo de Bergeron

aplica-se a nuvens frias, que estão em temperaturas abaixo de  $0^{\circ}\text{C}$ .



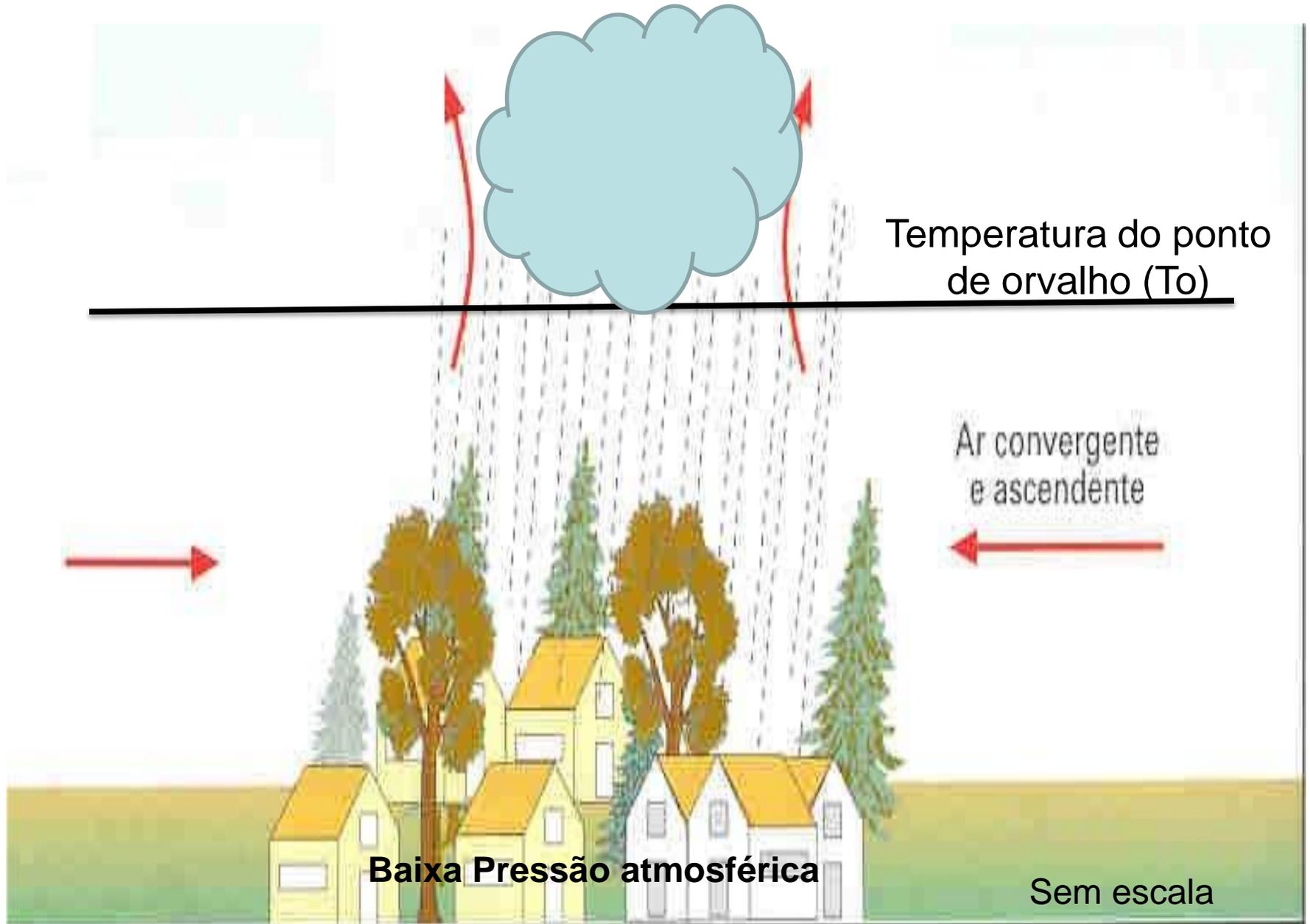
# Gênese (origem) da chuvas

- Chuva Convectiva;
- Chuva Orográfica;
- Chuva Frontal:

# Chuva Convectiva

- Originada do processo de convecção livre, em que ocorre resfriamento adiabático, formando-se nuvens de grande desenvolvimento vertical.
- Características das chuvas convectivas
- Distribuição: localizada, com grande variabilidade espacial, resultado do aquecimento da superfície,
- Intensidade: moderada a forte, dependendo do desenvolvimento vertical da nuvem,
- Predominância: no período da tarde/início da noite,
- Duração: curta a média (minutos a horas),
- **Grande problema em áreas urbanas,**

# Chuva Convectiva



# Típica nuvem que resulta em chuva convectiva – Cumulonimbus (Cb) – Manaus,AM.

Linha da To



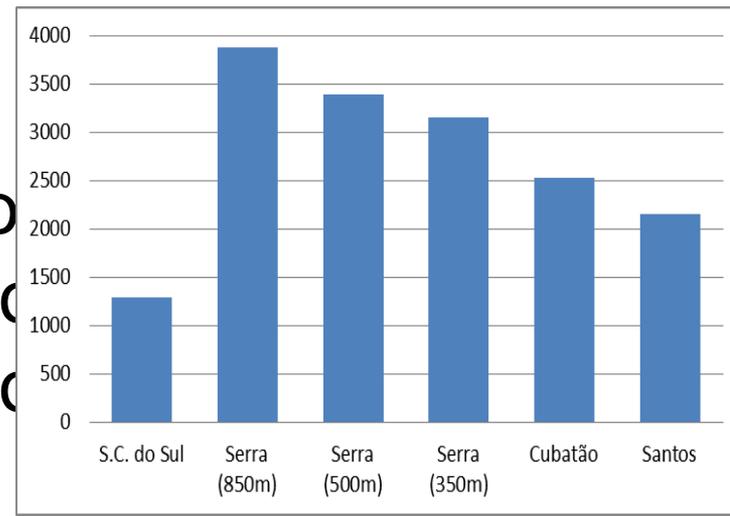
# Típica nuvem que resulta em chuva convectiva – Cumulonimbus (Cb) – Manaus,AM.



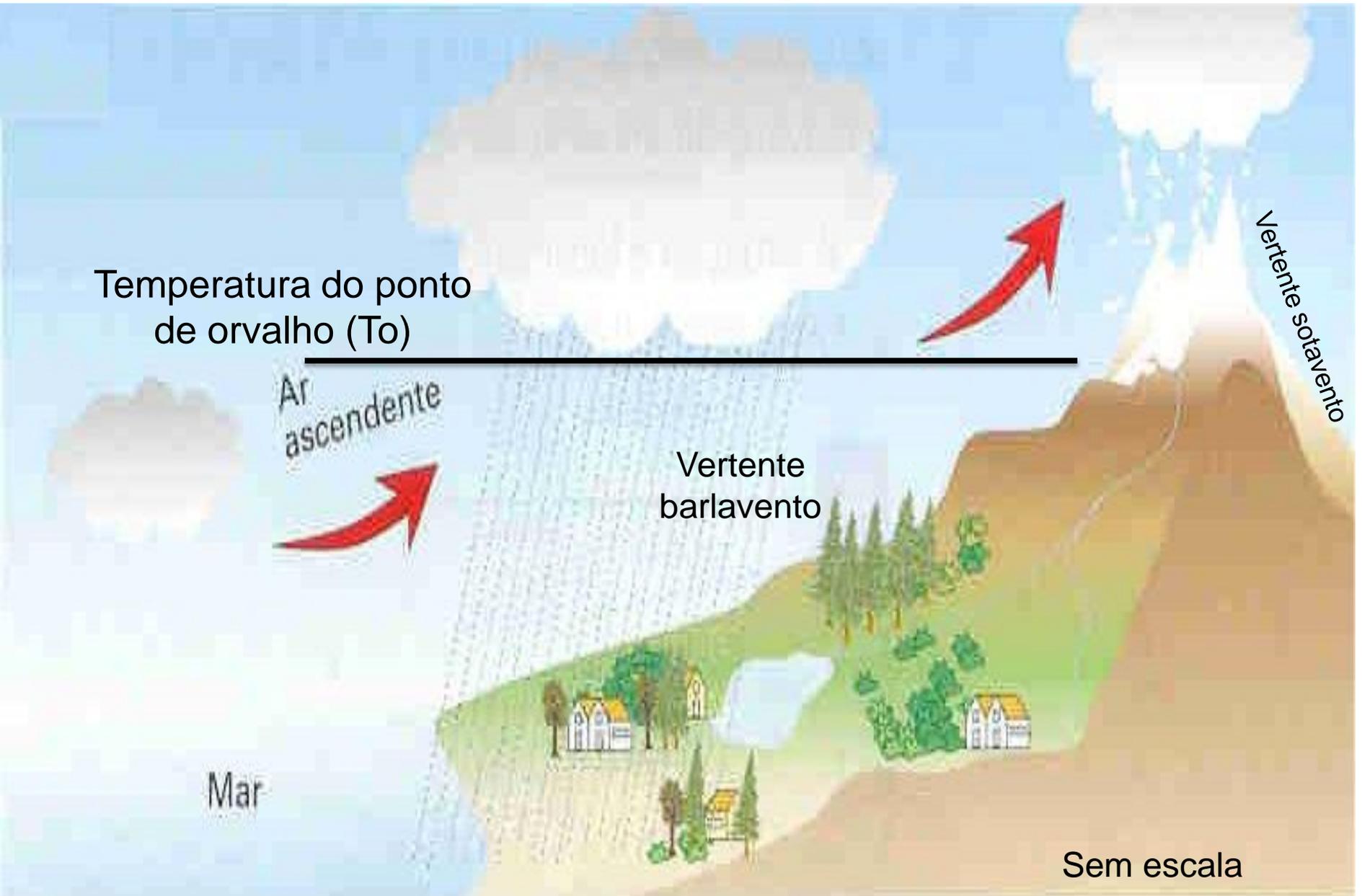
Fonte: Arquivo do professor

# Chuva Orográfica (ou de relevo)

- Ocorrem em regiões onde barreiras orográficas forçam a elevação do ar úmido, provocando convecção forçada, resultando em resfriamento adiabático e em chuva na face a barlavento. Na face a sotavento, ocorre a **sombra de chuva**, ou seja, ausência de chuvas devido ao efeito orográfico.
- Exemplo do efeito orográfico na Serra do Mar, No Estado de São Paulo:
  - Santos –  $P = 2153$  mm/ano
  - Cubatão –  $P = 2530$  mm/ano
  - Serra a 350m –  $P = 3151$  mm/ano
  - Serra a 500m –  $P = 3387$  mm/ano
  - Serra a 850m –  $P = 3874$  mm/ano
  - S.C. do Sul –  $P = 1289$  mm/ano



# Chuva Orográfica



# Perfil Topoclimático na Ilha Bela, SP

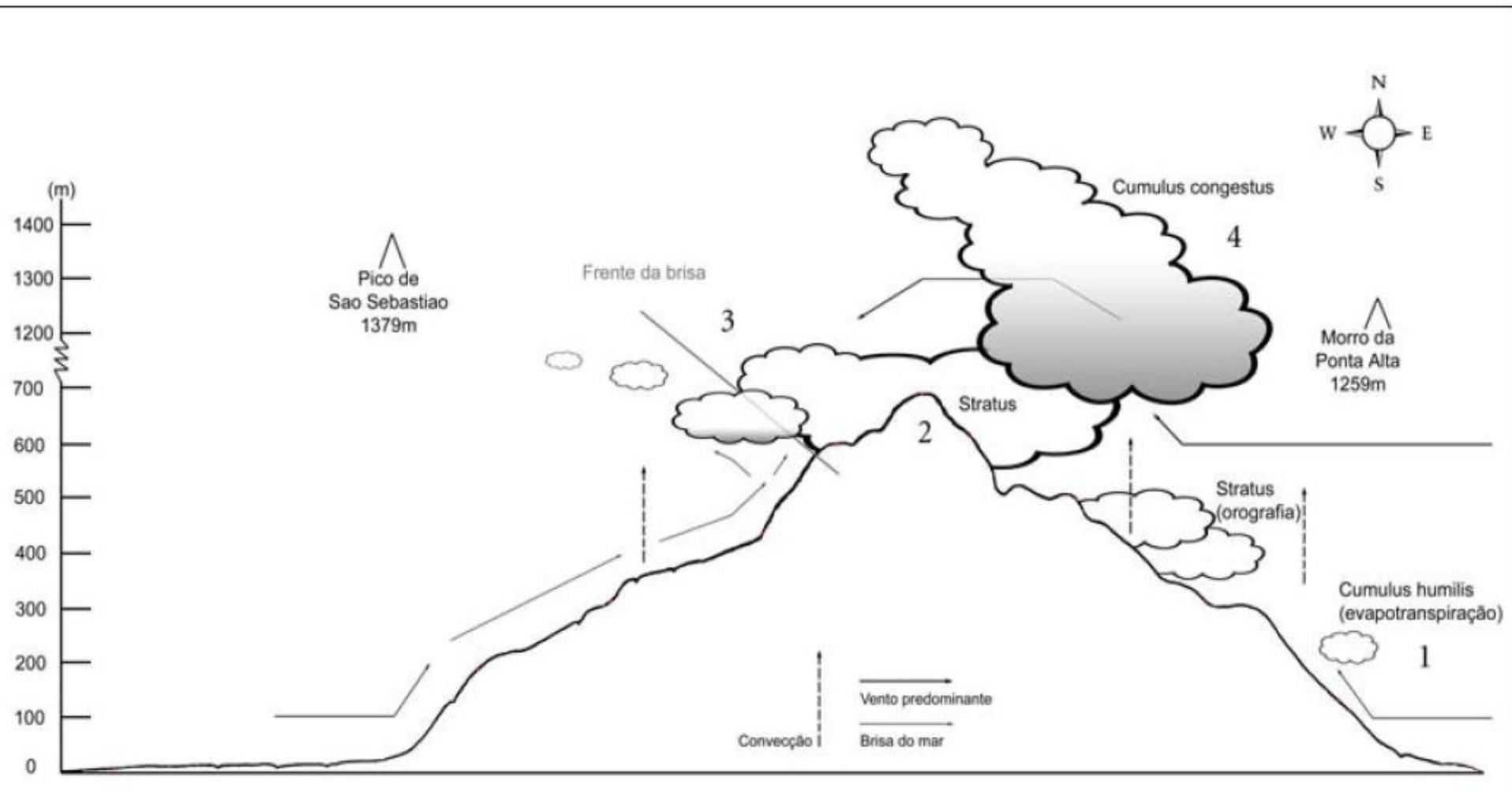
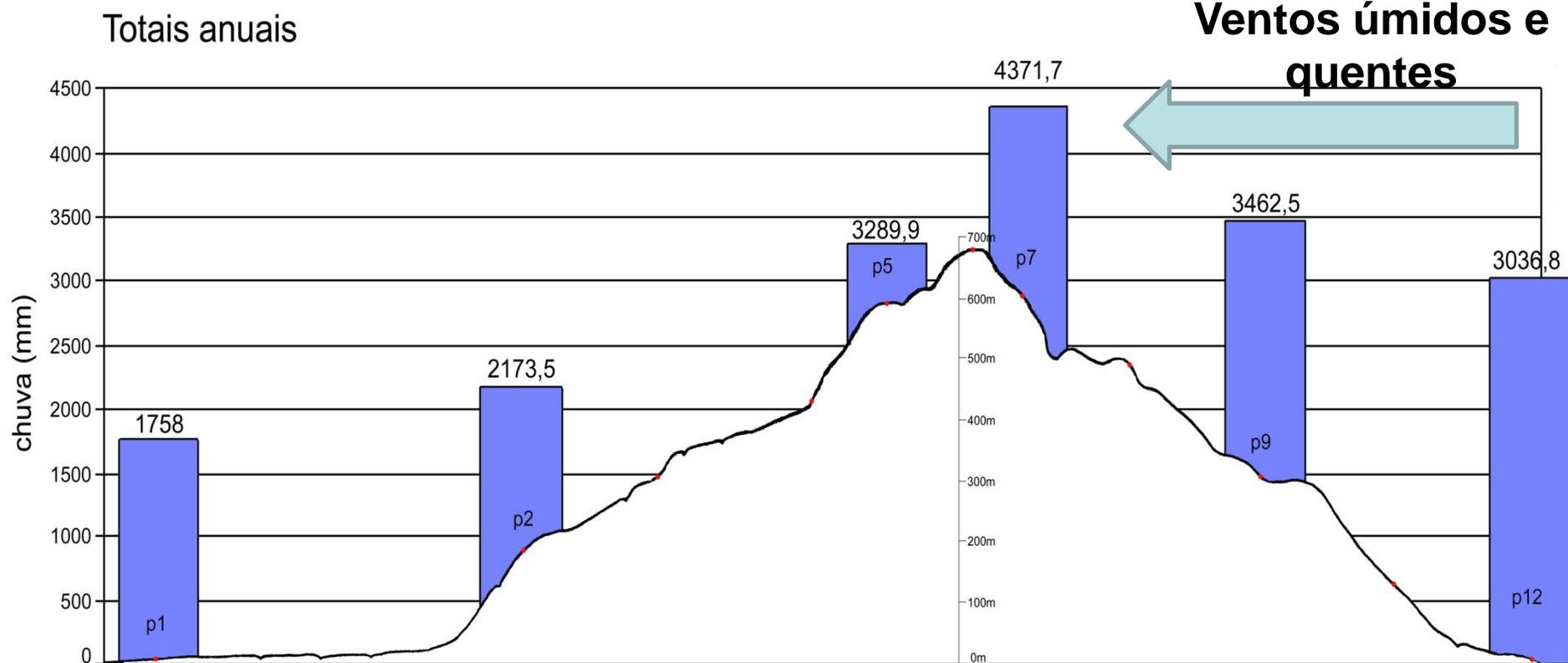


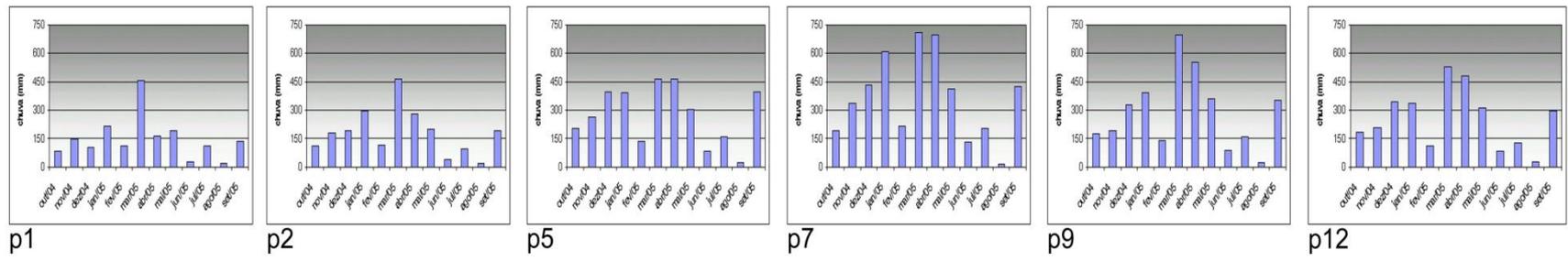
Figura 49 - Esquema teórico da interação da entre a brisa do mar e os ventos predominantes e distribuição espacial aproximada da nebulosidade na Estrada de Castelhanos, baseado em Leopold (1949).

Fonte: Milanesi, 2007

# Perfil Topoclimático na Ilha Bela, SP (2004-2005)



Totais mensais



Fonte: Milanesi, 2007

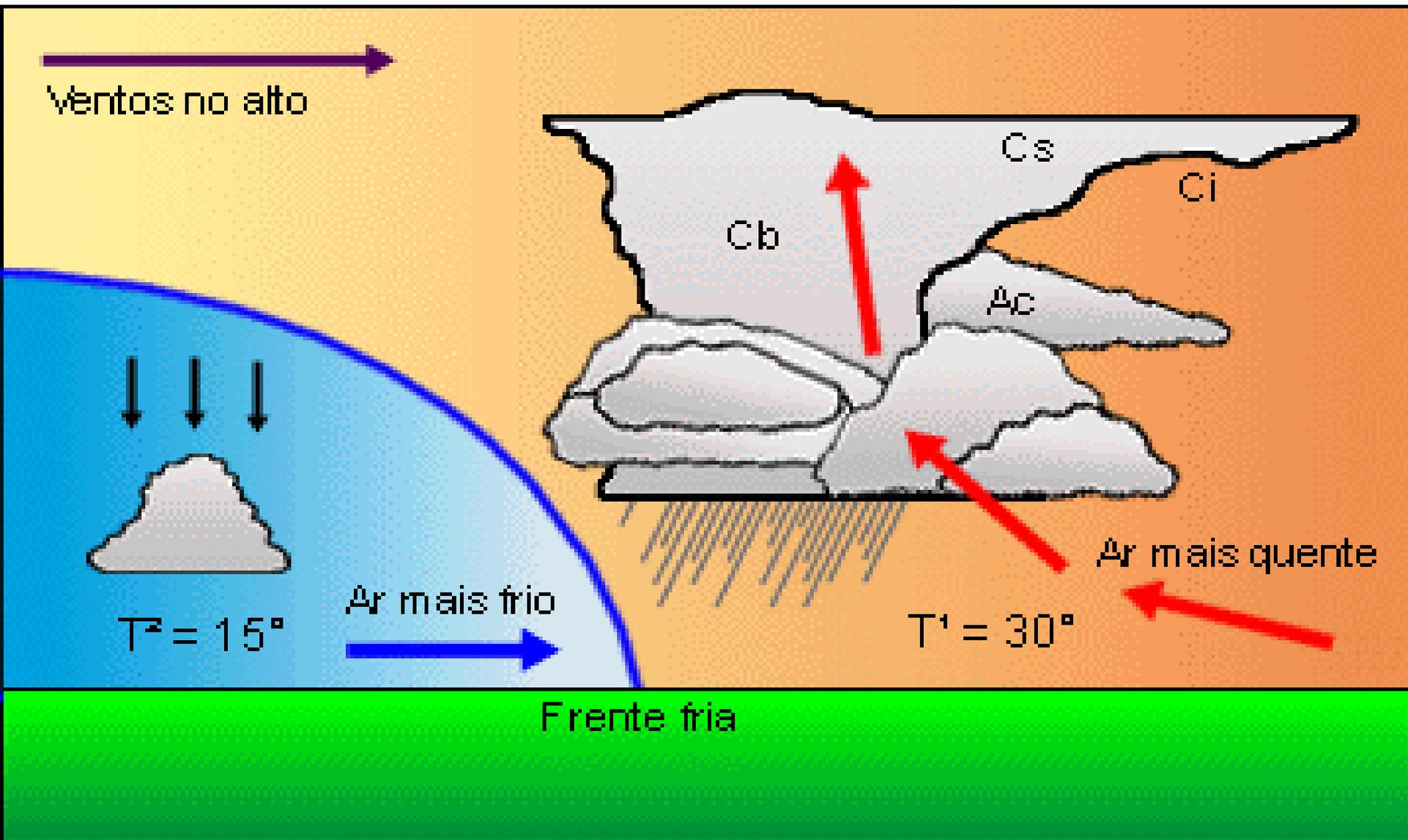
# Chuva Frontal ou Ciclônica

- Originada do encontro de massas de ar com diferentes características de temperatura e umidade. Dependendo do tipo de massa que avança sobre a outra, as frentes podem ser denominadas basicamente de **frias e quentes**. Nesse processo ocorre a “ascensão forçada”, com a massa de ar quente e úmida se sobrepondo à massa fria e seca. Com a massa de ar quente e úmida se elevando, ocorre o processo de resfriamento, com condensação e posterior precipitação.

# Chuva Frontal

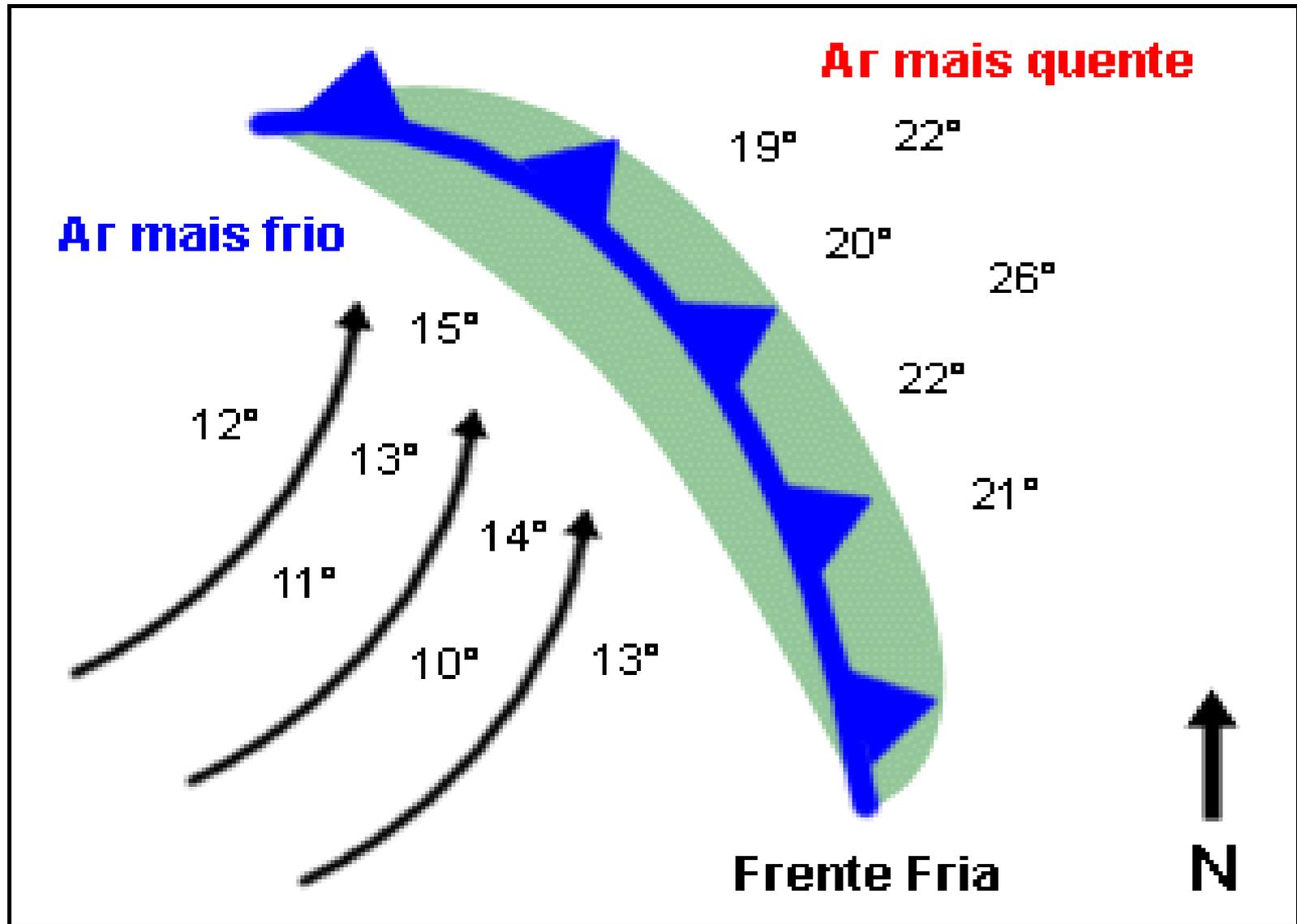
- Características das chuvas frontais
- Distribuição: generalizada na região,
- Intensidade: fraca a moderada, dependendo do tipo de frente, Predominância: sem horário predominante,
- **Duração:** média a longa (horas a dias), dependendo da velocidade de deslocamento da frente,
- Chuvas que predominam nas regiões temperadas e subtropicais, principalmente no Inverno,
- **No Centro Sul do Brasil os totais de chuva do inverno são de origem frontal.**

# Chuva Frontal (corte vertical)



Sem escala

# Chuva Frontal (corte horizontal)



# Chuva Frontal (imagem satélite)



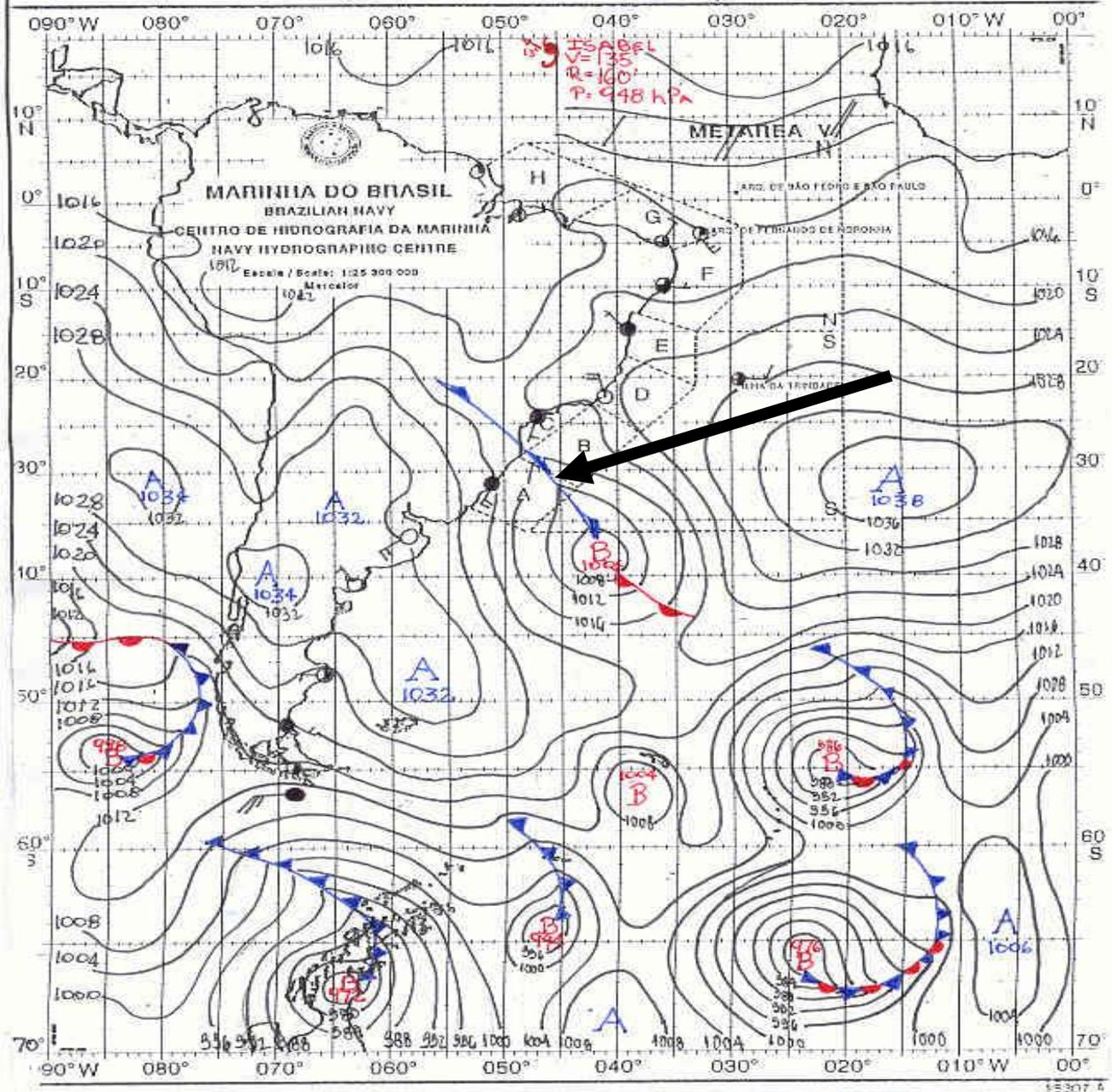
GOES-12 IR 23/05/2003 17:45Z  
Lab. Master DCA/IAG/USP

The image is a satellite view of South America, showing a prominent frontal rain system. The system is characterized by a large, bright white cloud mass extending from the Amazon basin towards the southeast coast. The cloud mass is surrounded by a thin layer of white clouds, indicating a well-defined frontal boundary. The landmass is outlined in orange, and the surrounding oceans are a deep blue. The text at the bottom provides the source and date of the image.

SEA LEVEL PRESSURE CHART

CARTA DE PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR

Referência/Reference: 091200ZSET2003 Prognóstico/Prognosis:



Carta de superfície.

# *Classificação quanto ao tipo de precipitação*

1. **Chuvisco** - precipitação de água líquida em que o diâmetro da gota é inferior a 0,5 mm.
- 2. **Chuva** - precipitação de água líquida em que o diâmetro da gota é superior a 0,5 mm.
- 3. **Granizo** - pequenos pedaços de gelo, com um diâmetro inferior a 5 mm, que se formam a grandes altitudes e atingem a superfície.
- 4. **Saraiva** - pequenos pedaços de gelo, com um diâmetro superior a 5 mm, que se formam a grandes altitudes e atingem a superfície.
- 5. **Neve** - precipitação de cristais de gelo provenientes da sublimação do vapor de água ou do congelamento lento das gotículas de água nas altas camadas da troposfera e que, em certas condições, podem aglomerar-se produzindo flocos.

# Medida da Chuva

- A medida da chuva é feita pontualmente em estações meteorológicas, tanto automáticas como convencionais.
- A unidade de medida da chuva é a altura pluviométrica (h), que normalmente é expressa em milímetros (mm),
- A altura pluviométrica (h) é dada pela seguinte relação:  $h = \text{Volume precipitado} / \text{Área de captação}$
- Se 1 litro de água for captado por uma área de  $1 \text{ m}^2$ , a lâmina de água coletada terá a altura de 1mm. Em outras palavras,  **$1\text{mm} = 1\text{L} / 1\text{m}^2$** . Portanto, se um pluviômetro coletar 52 mm, isso corresponderá a 52 litros por  $1\text{m}^2$ .
- **$h = 1\text{L} / 1\text{m}^2 = 1.000 \text{ cm}^3 / 10.000 \text{ cm}^2 = 0,1 \text{ cm} = 1\text{mm}$**

# INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DA CHUVA

- Pluviômetros

- Os pluviômetros são instrumentos normalmente operados em estações meteorológicas convencionais ou mini-estações termo-pluviométricas.
- O pluviômetro padrão utilizado na rede de postos do Brasil é o *Ville de Paris*.
- Outros pluviômetros têm durabilidade e precisão, em função da menor área de captação, são menores do que a dos pluviômetros padrões. A área de captação mínima recomendável é de  $100 \text{ cm}^2$ .

# Pluviômetro padrão - Ville de Paris

- Fornece uma medida do total de chuva em mm (milímetros).
- Diâmetro 20 cm no topo que recolhe a água da chuva.

Fonte: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)



# INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DA CHUVA

- Pluviógrafos
- Os pluviógrafos são dotados de um sistema de registro diário, no qual um diagrama (pluviograma) é instalado. Ele registra a chuva acumulada em 24h, o horário da chuva e a sua intensidade. São equipamentos usados nas estações meteorológicas convencionais.

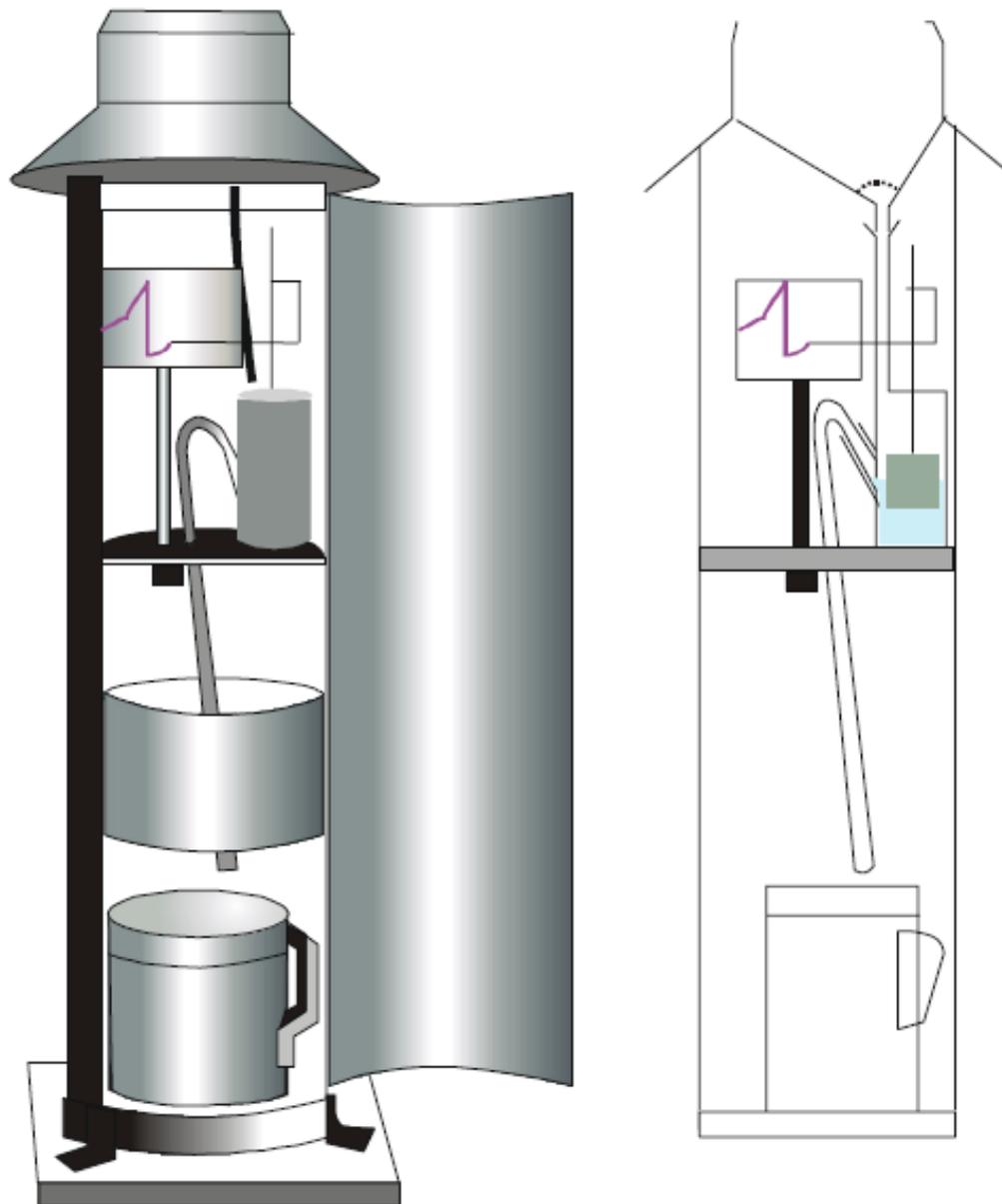
# Pluviógrafo

- Fornece uma medida do total de chuva em mm (milímetros)
- assim como, o início e término da chuva (duração e intensidade);

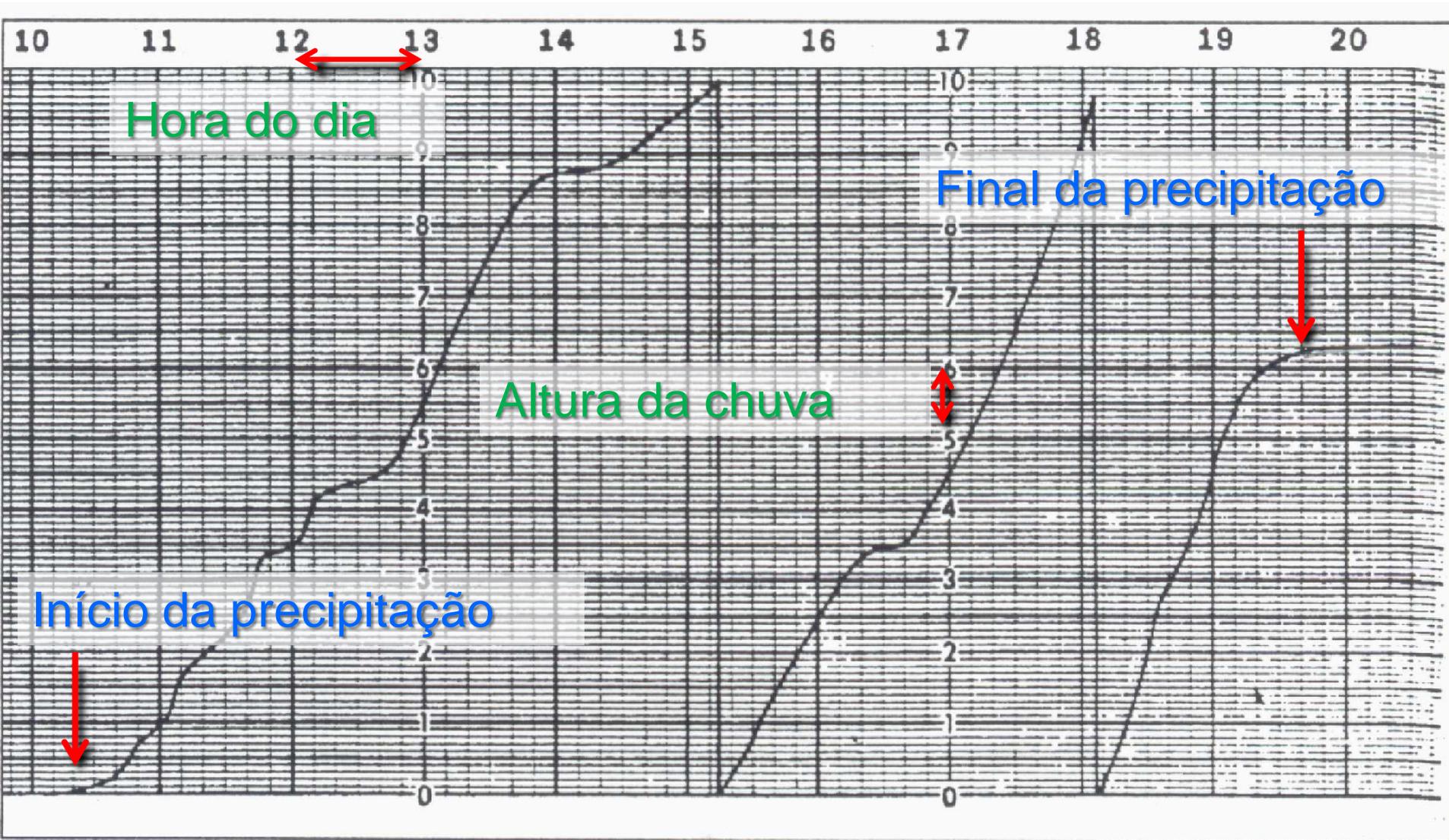
Fonte: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)



# Pluviógrafo



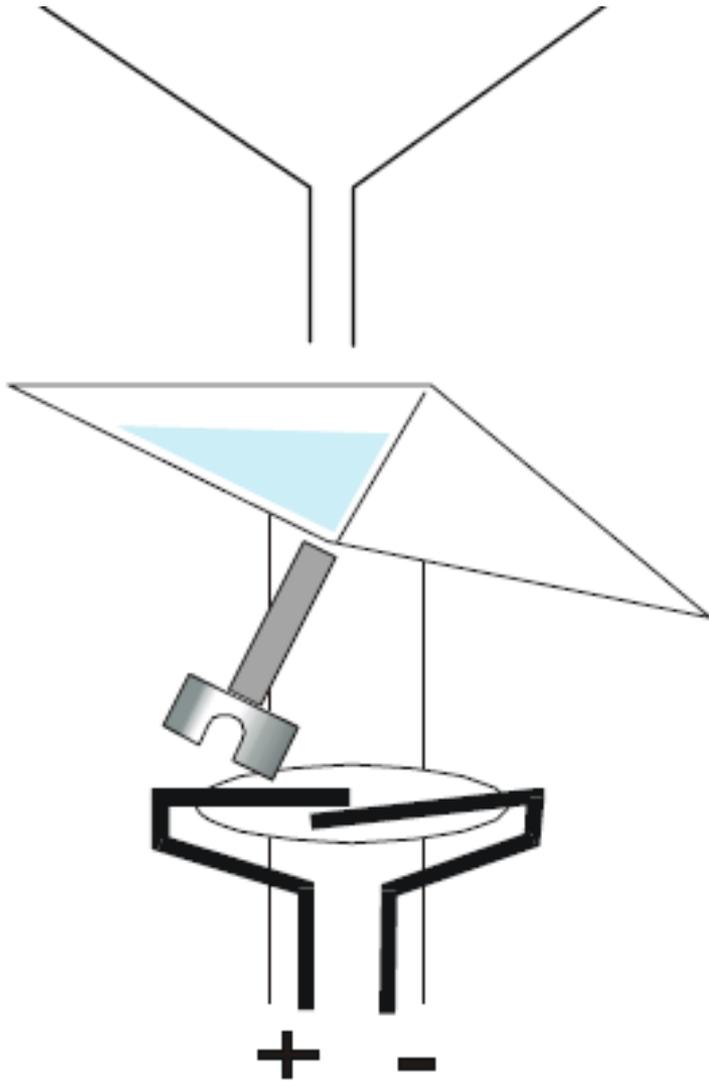
# Pluviograma: gráfico de chuva do pluviógrafo



# INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DA CHUVA

- Pluviômetros digitais
- Associados a estação meteorológica automática,
- Ele registra a chuva acumulada em 24h, o horário da chuva e a sua intensidade.
- Sistema de balança coleta o total de chuva e produz pulso elétrico (0,2 mm)

# Pluviômetro digital



# Pluviômetro

Instrumento ou aparelho capaz de quantificar a chuva precipitada em algum lugar durante um período de tempo.

- Manuais

Totalizador → Pluviômetro

Registrador → Pluviógrafo

- Automáticos → Digital → Registrador

- Área da bacia = 10 km<sup>2</sup>  
10km<sup>2</sup> = 10.000.000 m<sup>2</sup>

- Total = 26,4 mm

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ litro/m}^2$$

Qual o volume de água produzido na bacia?

- 26,4 litro-----1 m<sup>2</sup>  
X -----10.000.000 m<sup>2</sup>

- **Volume total = 264.000.000 litros ou 264.000 m<sup>3</sup>**

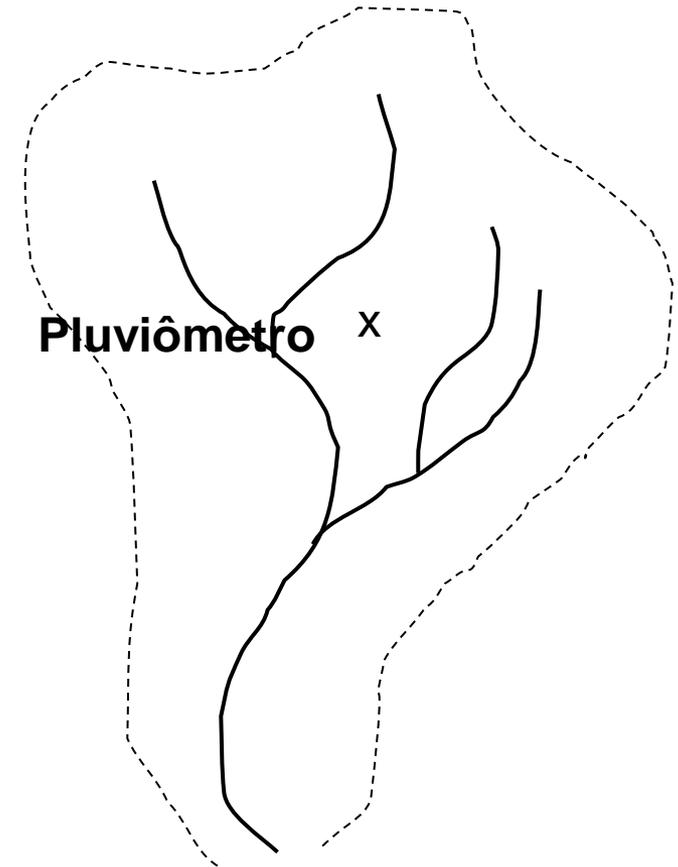
- **Na hipótese dessa precipitação tenha ocorrido em 4 horas qual a vazão do canal?**

- **Vazão = volume (m<sup>3</sup>)/tempo (s)**

- **Vazão = 264.000 m<sup>3</sup>/4h (\*60min\*60s)**

- **Vazão (Q) = 18,3 m<sup>3</sup>/s**

## Exercício em sala



Bacia de drenagem

# Sobre o assunto consulte:

- ALVES, Rogério Rozolen ; GALVANI, E. . Ocorrência horária e sazonal das precipitações no município de São Paulo, SP. Revista GeoNorte, v. 5, p. 530-540, 2012.
- GALVANI, E., AZEVEDO, T. R. A frente polar Atlântica e as características de tempo associadas. IN: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 10. Rio de Janeiro, UERJ, 2003
- Capítulo 8:
- VAREJÃO-SILVA, M.A. Meteorologia e Climatologia. INMET: Brasília, 2000. 515p. (disponível no site [www.agritempo.gov.br](http://www.agritempo.gov.br))
- Capítulo 8:
- AYOADE, J.O. Introdução a Climatologia para os trópicos. 3ª ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 1991. 332p. (tradução Professora Maria Juraci Zani dos Santos)
- Capítulo 08 do livro:
- PEREIRA, A.R., SENTELHAS, P.C., ANGELOCCI, L.R. Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.
- Dissertação de Mestrado do aluno Marcos Alexandre Milanesi, 2007.

Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-04012008-114406/>