



Pressão e movimentos atmosféricos

Glauber Lopes Mariano

Departamento de Meteorologia Universidade Federal de Pelotas

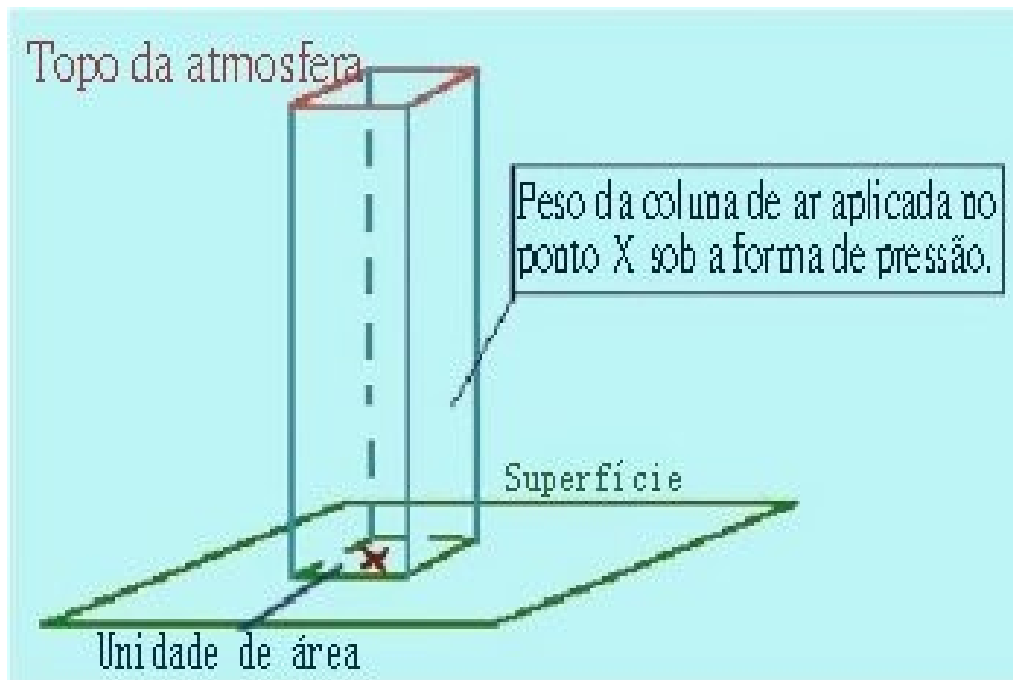
E-mail: glauber.mariano@ufpel.edu.br

glaubermariano@gmail.com

Pressão atmosférica

Peso da coluna de ar com seção reta unitária que se encontra acima de um ponto em um dado instante.

Fisicamente: Peso que a atmosfera exerce por unidade de área



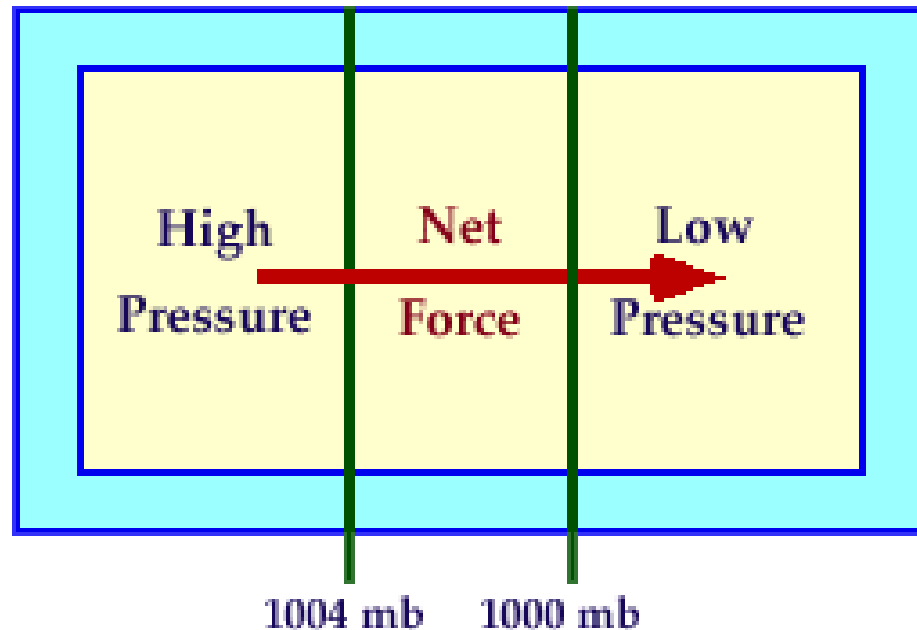
Qual a importância para a meteorologia?

Qual seria o limite superior dessa coluna?

Pressão atmosférica

Ar é um fluido:

- Tendência de movimentar-se sempre da região de maior pressão (alta pressão) para uma região com pressão relativamente mais baixa (baixa pressão)



Pressão atmosférica

Portanto:

O movimento da atmosfera está relacionado diretamente com a distribuição da pressão atmosférica.

- Existem outras forças atuantes, mas em geral a tendência inicial é do ar se mover para as regiões com pressões mais baixas.

MEDIÇÃO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA

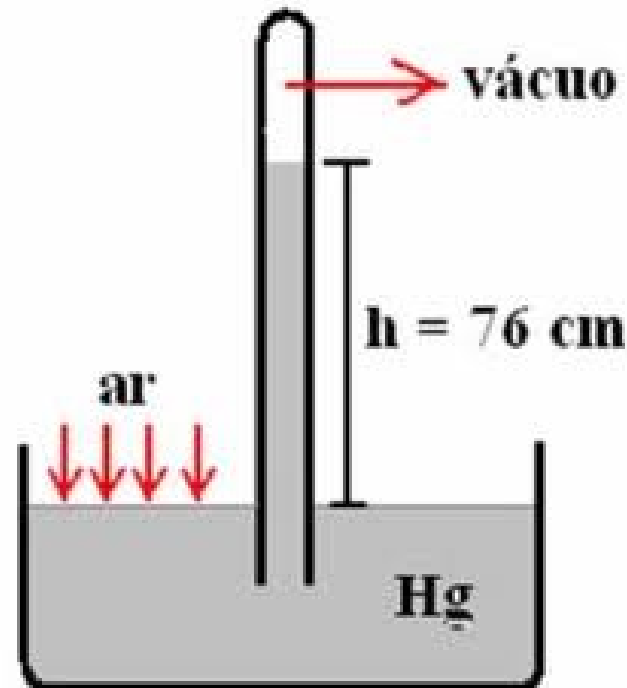
- Como medir esse “peso” da coluna de ar?

- Alguma ideia?

Pressão atmosférica

Instrumentos usados para medir ou registrar a pressão atmosférica são chamados de barômetros ou barógrafos.

Barômetro de Torriceli (1643)



Influência da altitude?

Pressão atmosférica

Equação do equilíbrio hidrostática

Considerando a atmosfera com densidade constante:

$$m = \rho V \quad (1)$$

$$V = h a \quad (\text{área unitária} = 1)$$

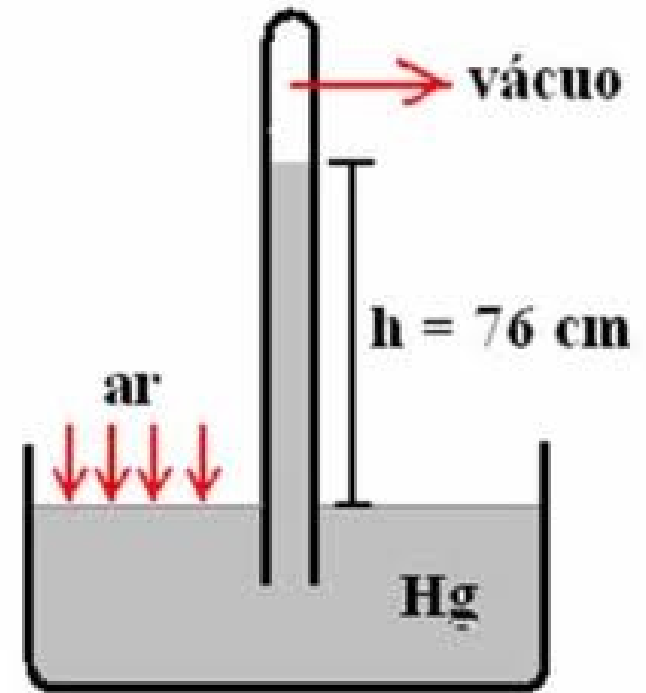
$$m = \rho h \quad (2)$$

Como o peso da coluna de ar exerce uma força:

$$F = m g \quad (3)$$

$$F = \rho g h \quad (4) \quad \text{Sendo pressão } F = m / a \text{ e } a=1$$

$$P = \rho g h$$



$$P = \rho g h$$

$$P = 13,59 \text{ g/cm}^3 \times 980,66 \text{ cm/s}^2 \times 76 \text{ cm}$$

$$P = 1013,25 \text{ mb ou } 1013,25 \text{ hPa}$$

Pressão atmosférica

UNIDADES DE MEDIDA

- Milibar (mb) 10^{-2} Bar
- HectoPascal (hPa) 10^2 Pascal
- Milímetro de mercúrio (mmHg)

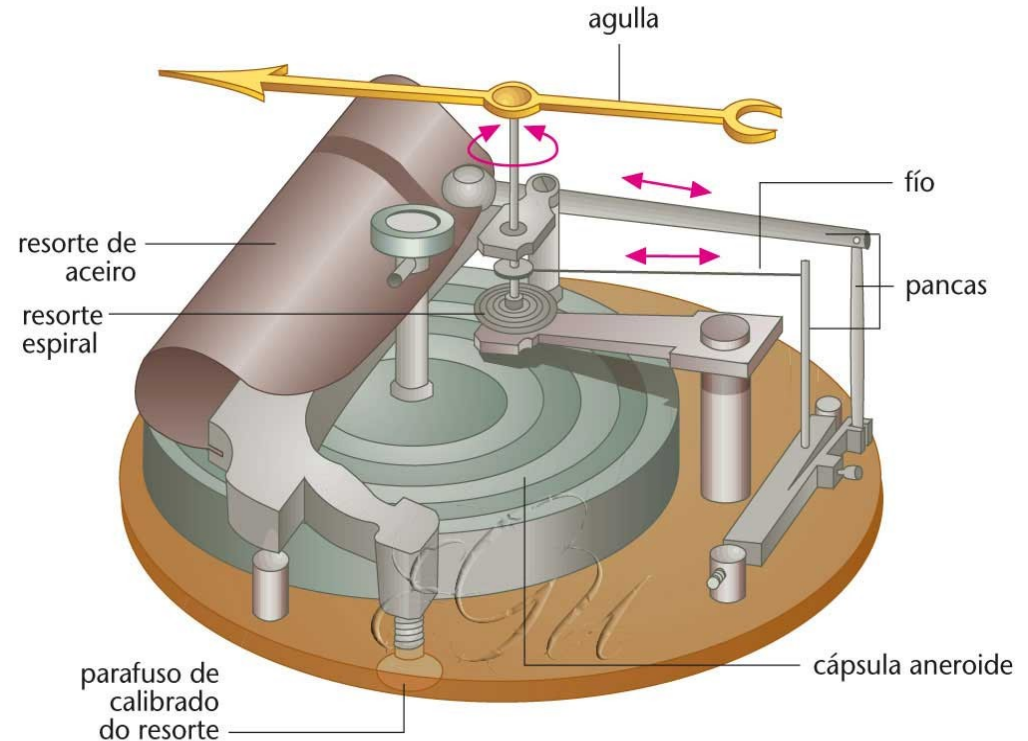
mb ou hPa \rightarrow mmHg $\times 0,75$

Por que usar mercúrio ?
Não poderíamos usar água?

Tipos de Barômetro

- mercúrio

- Aneróide: Pequena cápsula hermética com um diafragma metálico flexível com ar no seu interior. A câmara comprime com o aumento da pressão e expande com a diminuição.



Pressão atmosférica

Isóbaras → linhas que une valores de igual pressão atmosférica

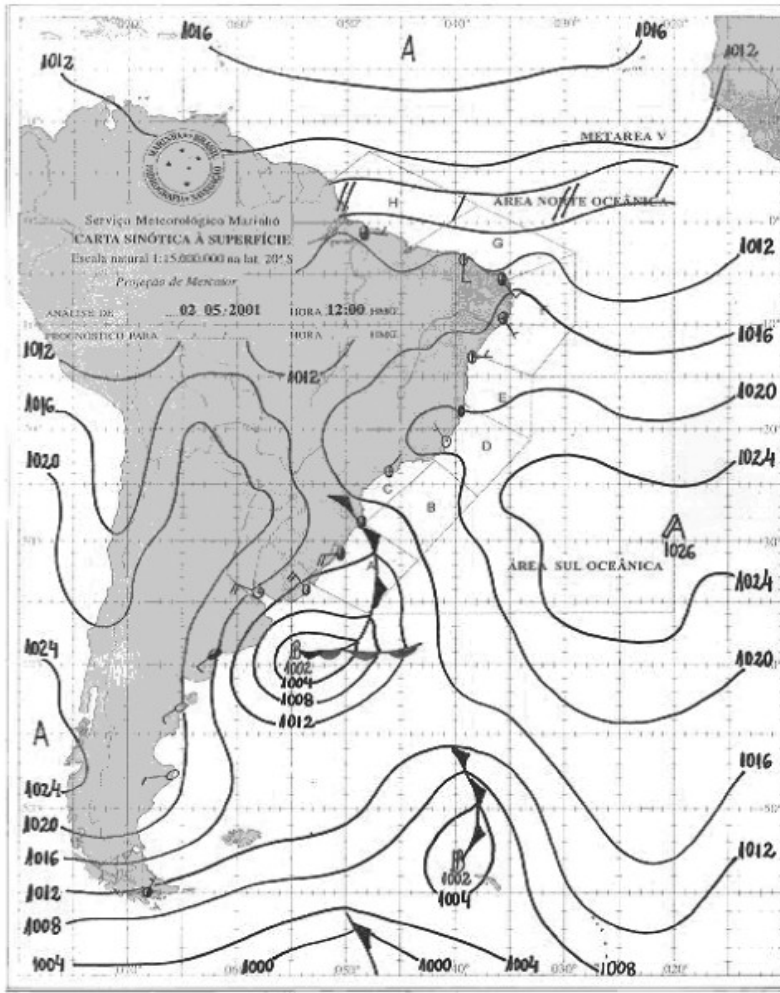
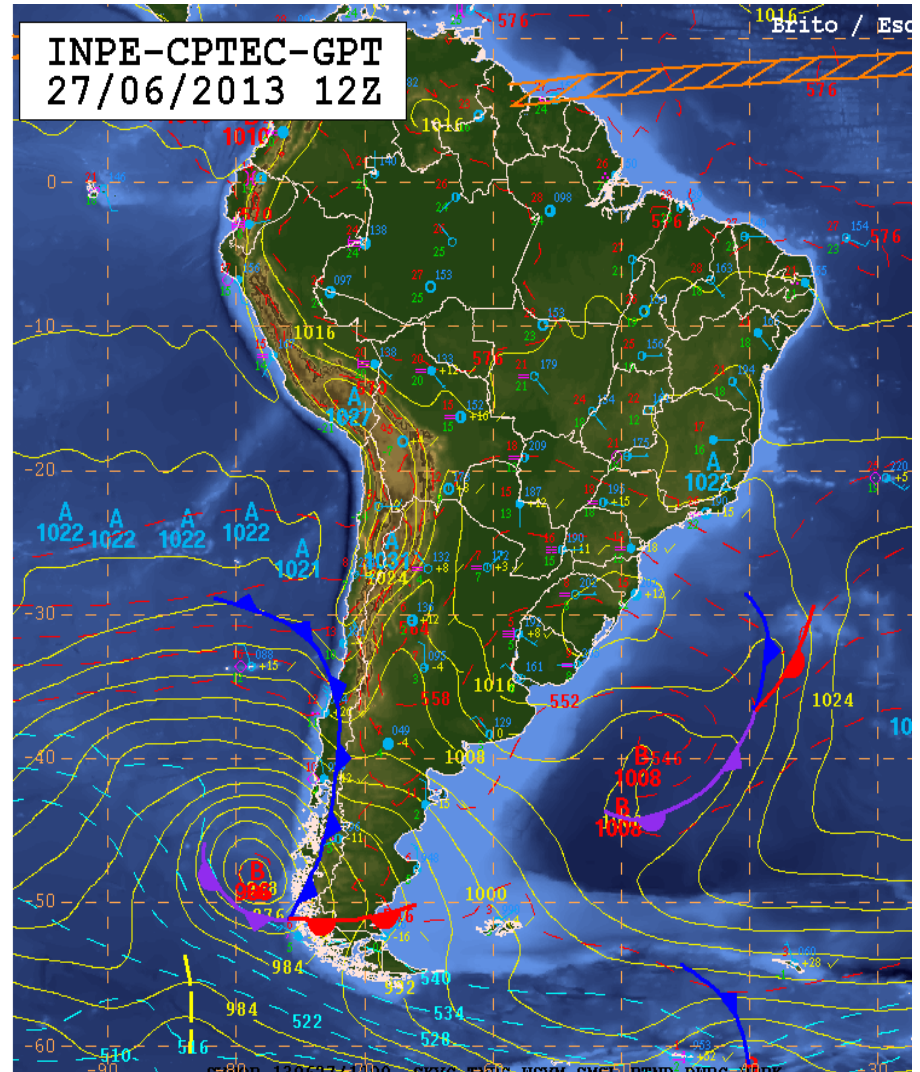


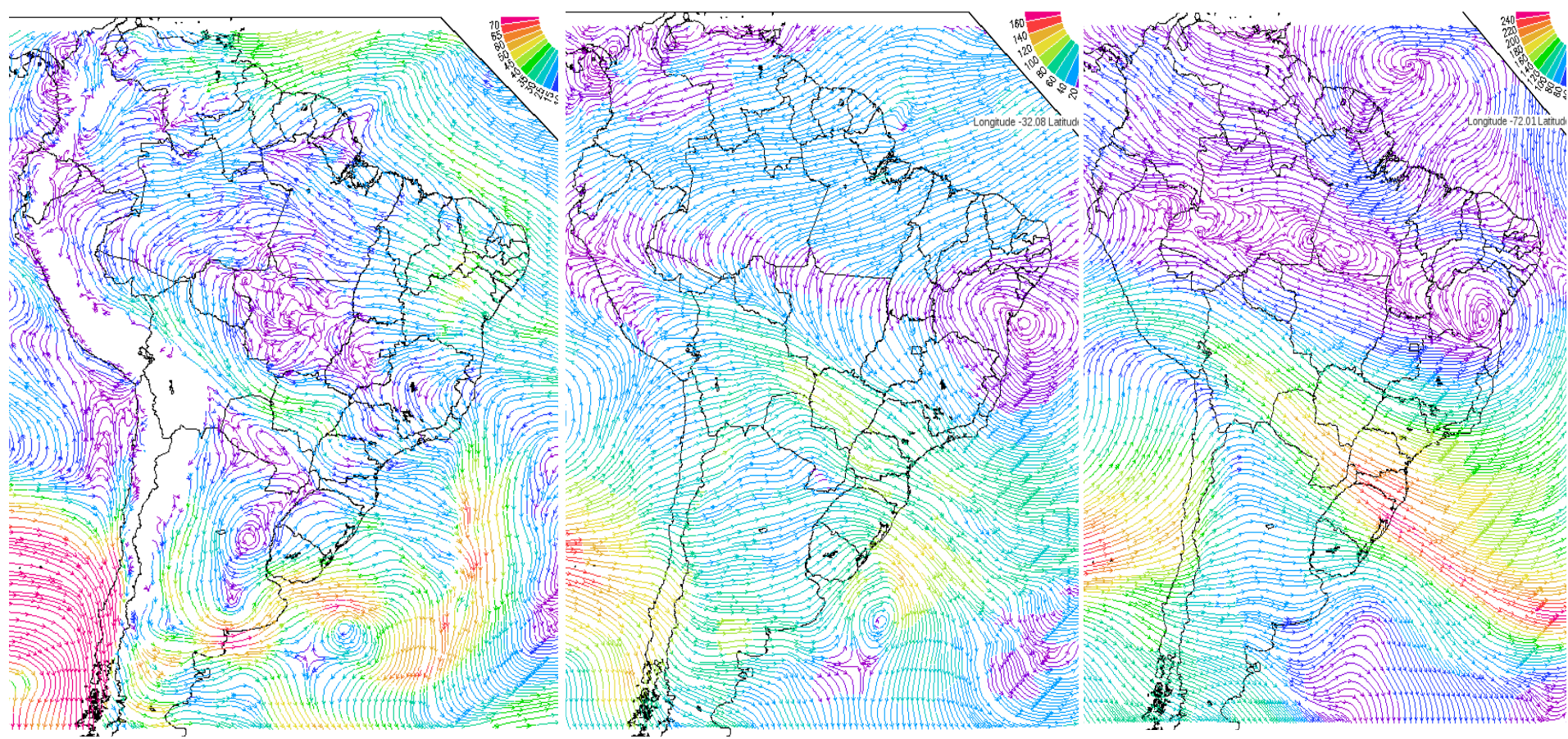
Figura 4 – Cartas DHN de 20010502 12Z e 20010504 00Z. Sistema q



Pressão atmosférica

Isóbaras caracterizam a distribuição geográfica da pressão atmosférica e por sua vez o comportamento dos ventos (em um mesmo nível e na vertical)

Cartas isobáricas – em diferentes níveis de PRESSÃO ATMOSFÉRICA (ex.: 850, 500, 200 hPa)

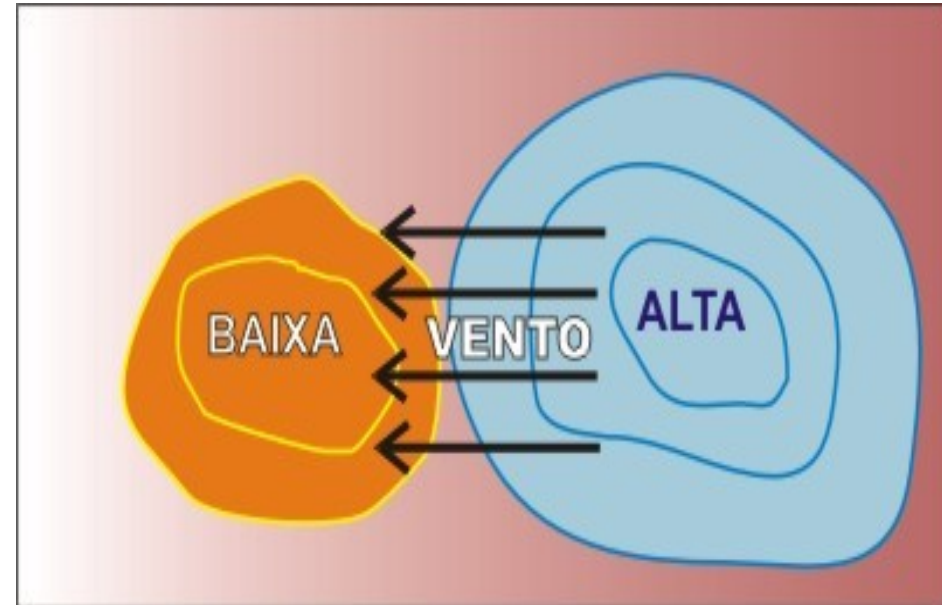


Pressão atmosférica

Ar é um fluído:

- Tendência de movimentar-se sempre da região de maior pressão (alta pressão) para uma região com pressão relativamente mais baixa (baixa pressão)

Força do Gradiente de pressão
→ Força resultante da variação horizontal da Pressão atmosférica segundo uma direção perpendicular às isóbaras em direção aos valores de pressão mais baixa

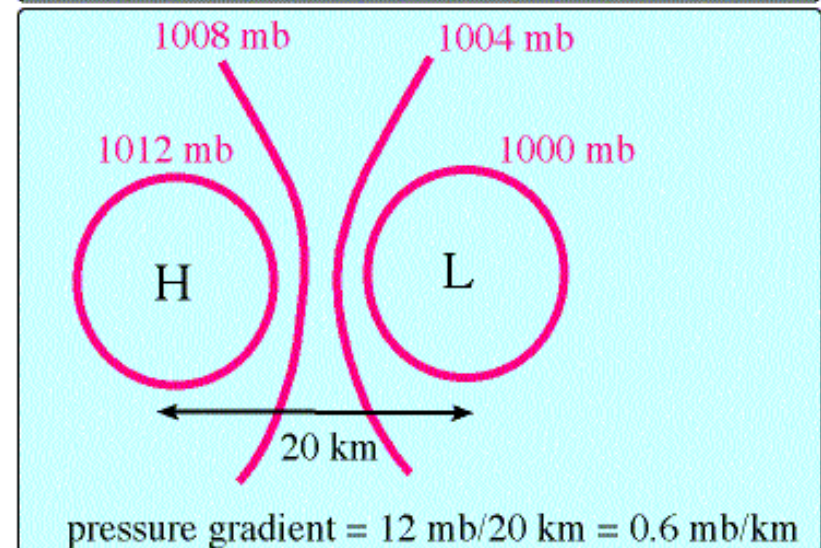
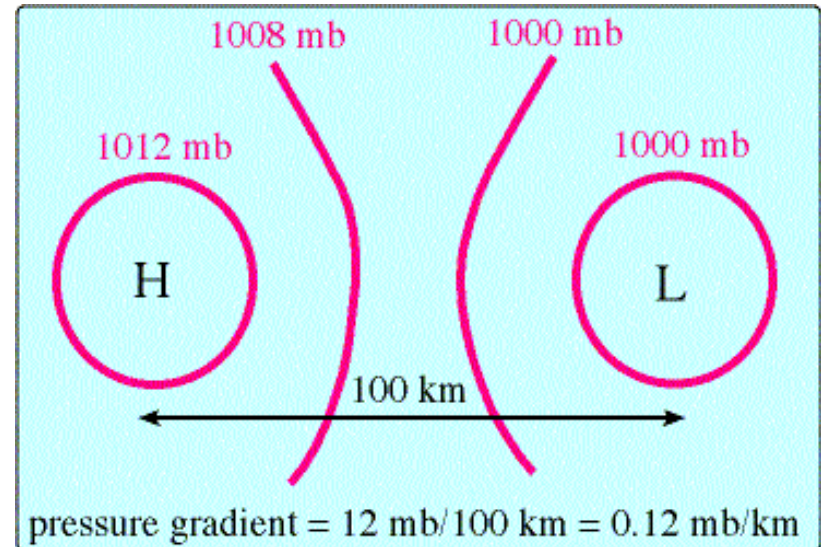
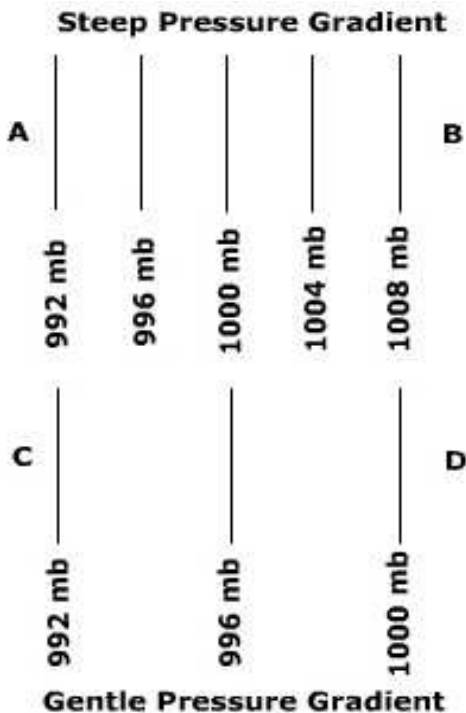


- Controla a velocidade do vento

Pressão atmosférica

Gradiente de pressão

- Isóbaras mais próximas significa um gradiente de pressão maior.
- Quando a pressão não varia entre dois pontos → gradiente de pressão nulo



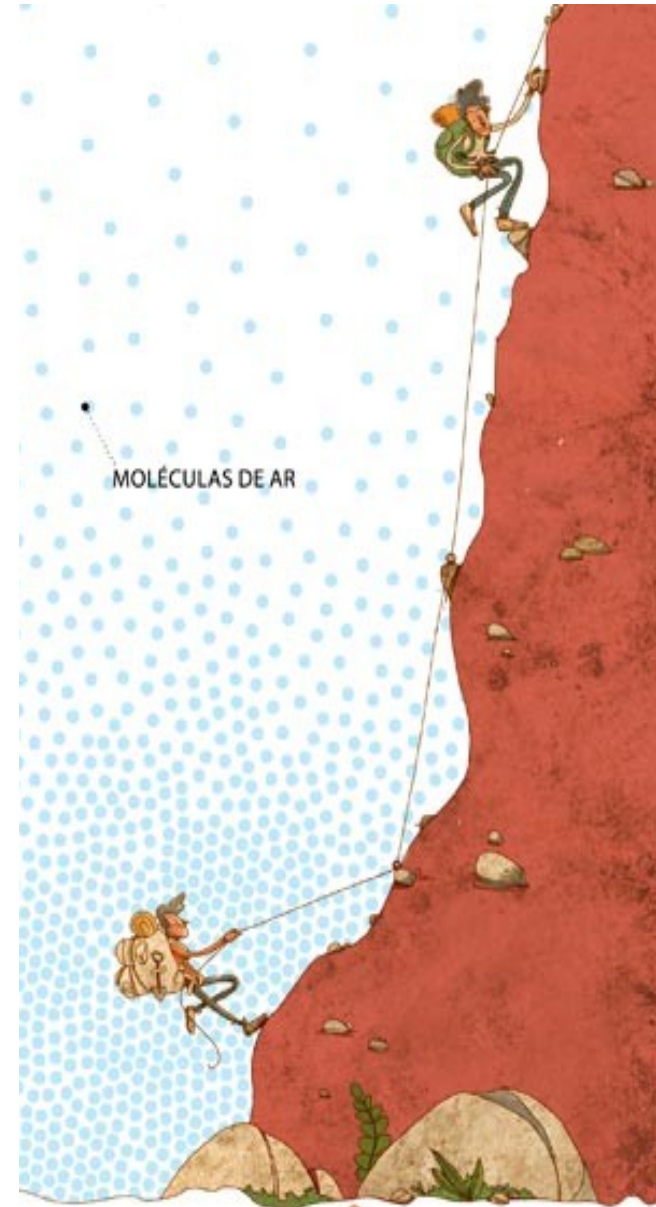
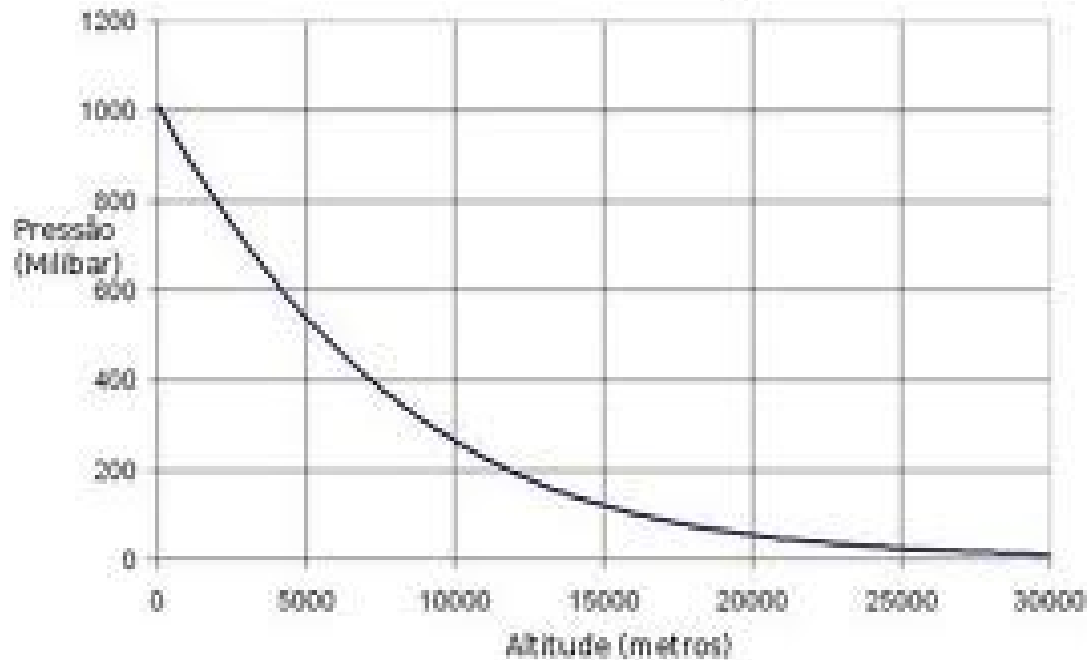
Pressão atmosférica

Variação com altura

- Torricelli → Experimento?

Massa da atmosfera varia com a altura.

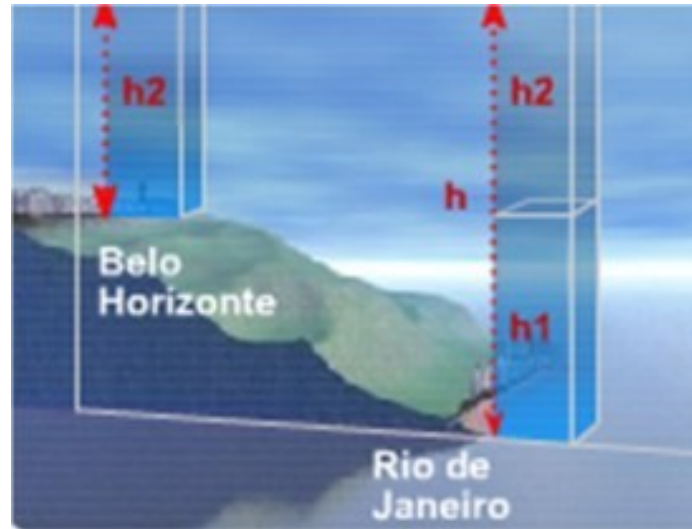
Por que?



Pressão atmosférica

Ajuste da pressão ao Nível Médio do Mar

Comparação entre valores de pressão em altitudes diferentes (ex.: ao NMM x montanha) → estaria correto fazer isso?



Eliminação do efeito do relevo → “Correção” ou “ajuste” da pressão atmosférica para N.M.M

Pressão atmosférica

Ajuste da pressão ao Nível Médio do Mar

Locais com altitudes positivas (maior parte) → adicionar um incremento

Locais com altitude negativas → retirar um incremento

Considera-se que a pressão atmosférica deve diminuir de 10 mb a cada 100m de altitude

Ex.:

Ponto 1 – 0m → $P_{atm} = 1000\text{mb} \dots\dots\dots 1000\text{mb} + 0\text{mb} = 1000\text{mb}$

Ponto 2 – 300m → $P_{atm} = 979 \text{ mb} \dots\dots\dots 979\text{mb} + 30\text{mb} = 1009\text{mb}$

Ponto 3 – 1100m → $P_{atm} = 894\text{mb} \dots\dots\dots 894\text{mb} + 110\text{mb} = 1004\text{mb}$

Variações de pressão em superfície (mudança na densidade do ar)

A pressão atmosférica em superfície possui variação conforme a distribuição de energia e umidade do globo terrestre além da dinâmica dos movimentos atmosféricos

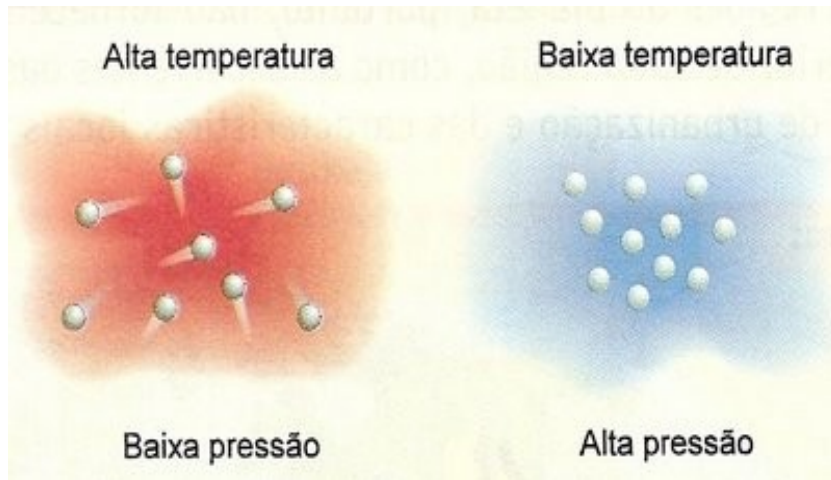
Por que ocorreria uma variação do peso da coluna de ar acima de um ponto?

Mudança na densidade do ar

Variações de pressão em superfície (mudança na densidade do ar)

Temperatura

Aumento ou diminuição
da energia cinética



Umidade

Alteração no peso da coluna

Peso molecular:

$H_2O = 18,016 \text{ kg/mol}$

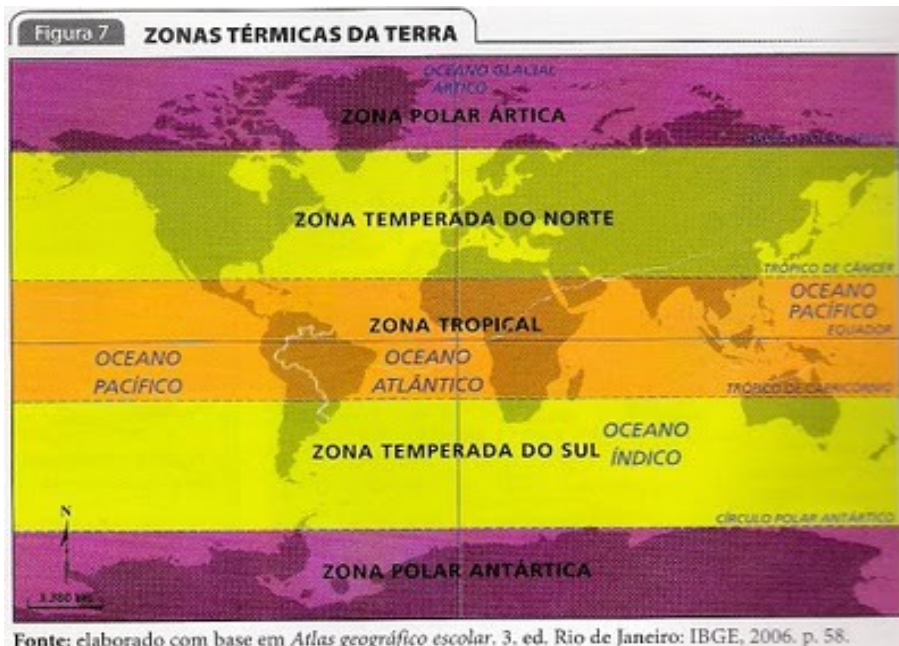
$\text{Ar seco} = 28,97 \text{ kg/mol}$

**Portanto, aumento de Temperatura e/ou
umidade o que provoca na densidade do ar?**

Variações de pressão em superfície (mudança na densidade do ar)

Distribuição da pressão atmosférica em função da distribuição de energia

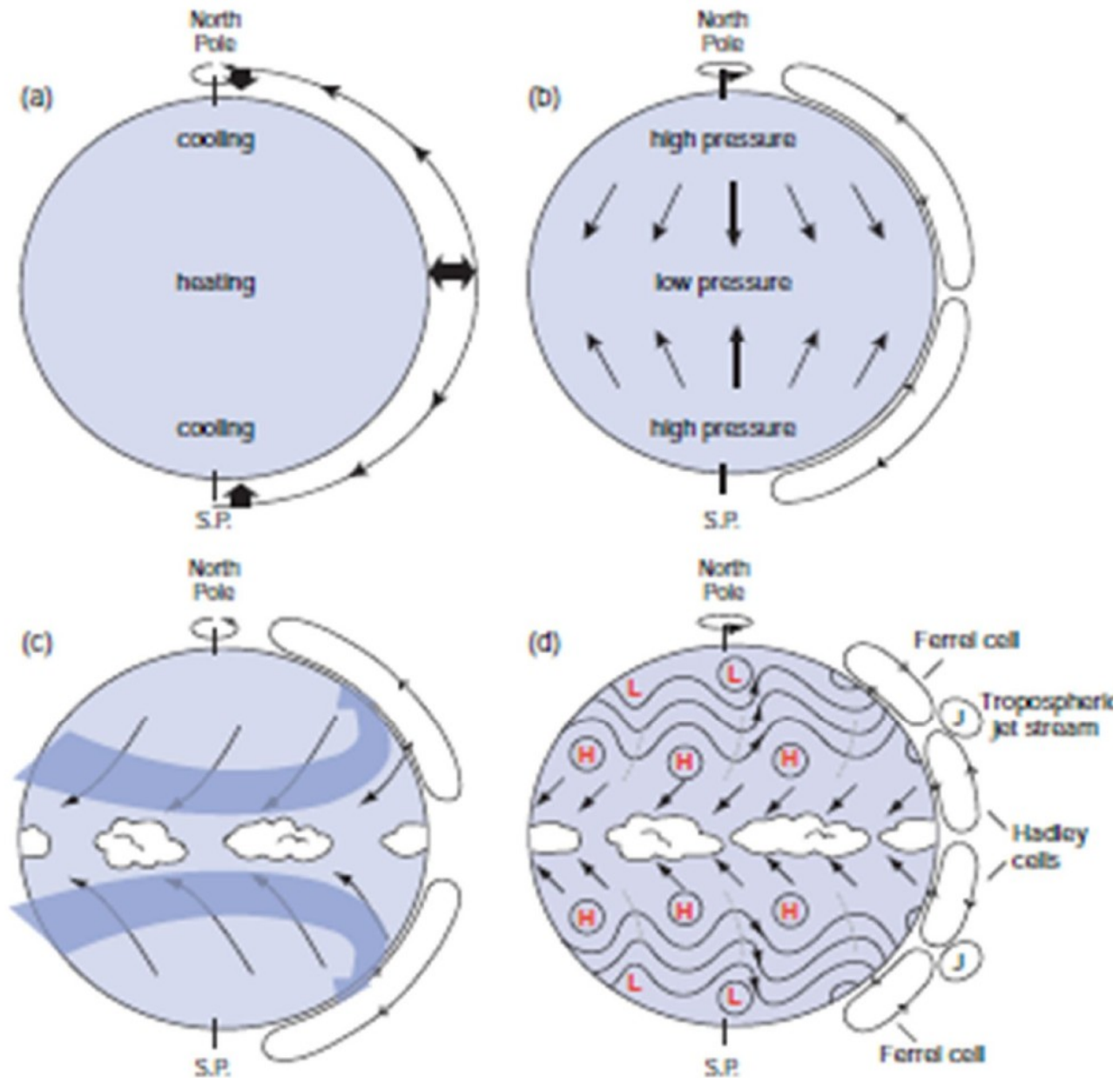
Distribuição de energia no globo → zonas climáticas



Fonte: elaborado com base em *Atlas geográfico escolar*, 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. p. 58.

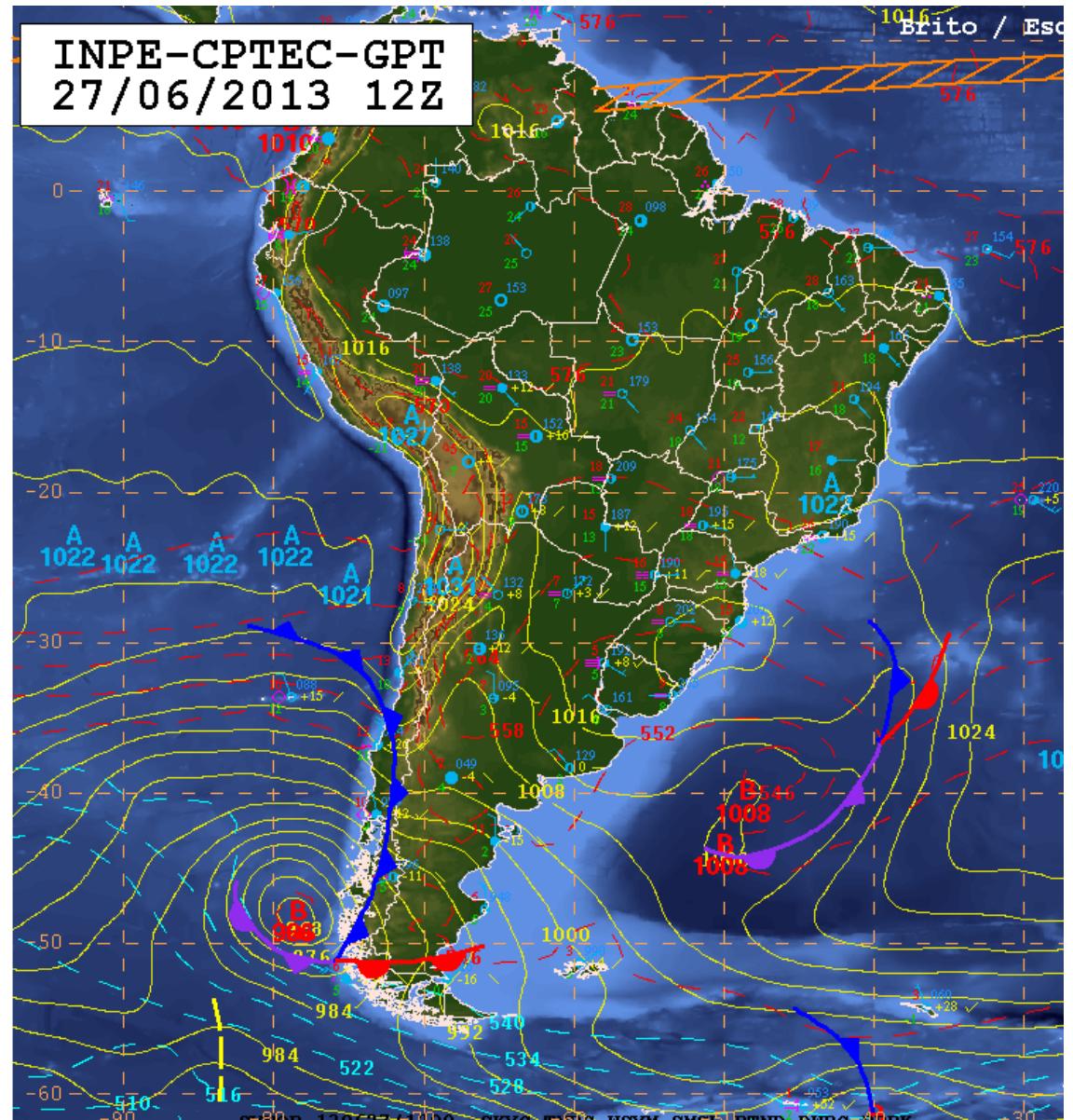
Como seria o comportamento da pressão atmosférica conforme a latitude?

Modelo de 01 célula



Centros de alta e baixa pressão atmosférica

Percebe-se, observando o campo de pressão atmosférica, a presença de 01 ou mais isóbaras fechadas (centros), concêntricos ou não, delimitando uma área onde a pressão é maior/menor em qualquer ponto a sua volta.



Centros de alta e baixa pressão atmosférica

Centros de alta pressão

Centros anticiclônicos → INDICADO PELA LETRA A (H)

Anticiclones

Centros de baixa pressão

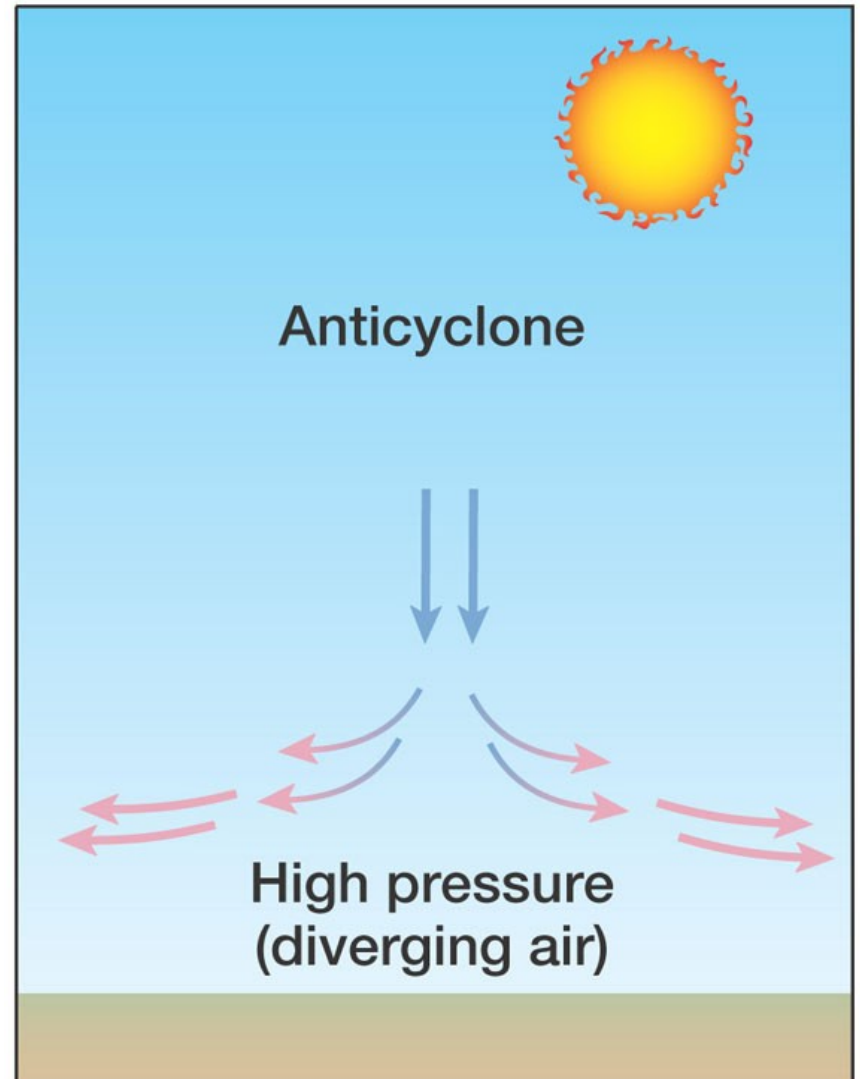
Centros ciclônicos → INDICADO PELA LETRA B (L)

Ciclones

Centros de alta e baixa pressão atmosférica

Alta pressão → Ar tende a se afastar do seu centro → divergência de massa em superfície → devido a força do gradiente de pressão.

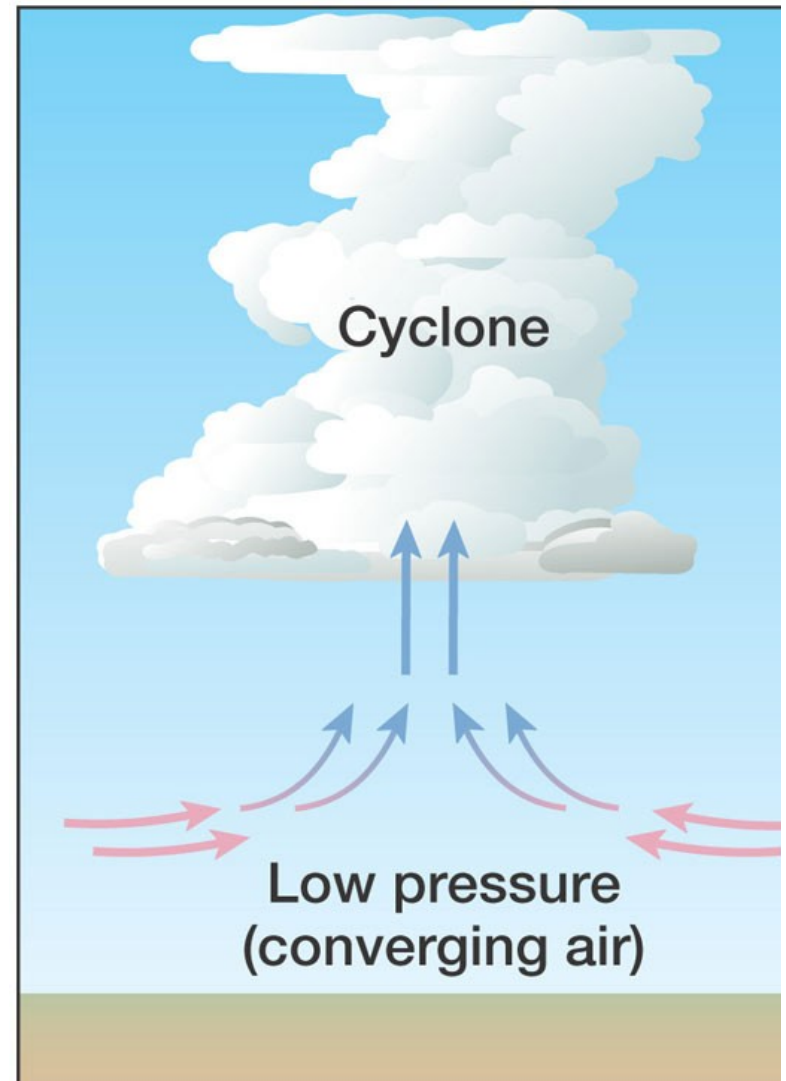
Ao afastar do seu centro ele deverá ser substituído pelo ar que procede de camadas mais elevadas da atmosfera. → movimento vertical de subsidência



Centros de alta e baixa pressão atmosférica

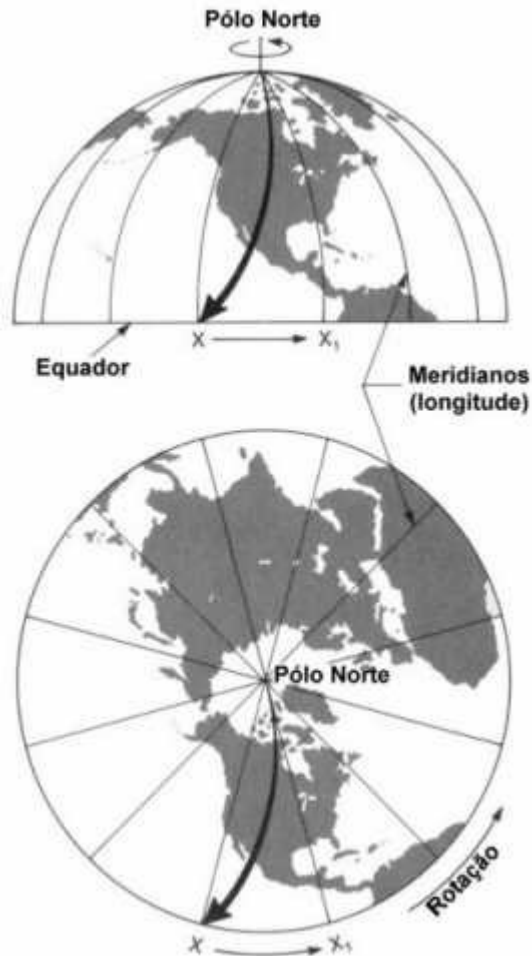
Baixa pressão → Ar tende a se convergir em direção ao seu centro → convergência de massa em superfície → devido a força do gradiente de pressão.

Ao se dirigir ao centro → conservação de massa → a camada de ar deverá ascender → movimento vertical de ascensão do ar (convecção)



Efeito da rotação da Terra

Força de Coriolis

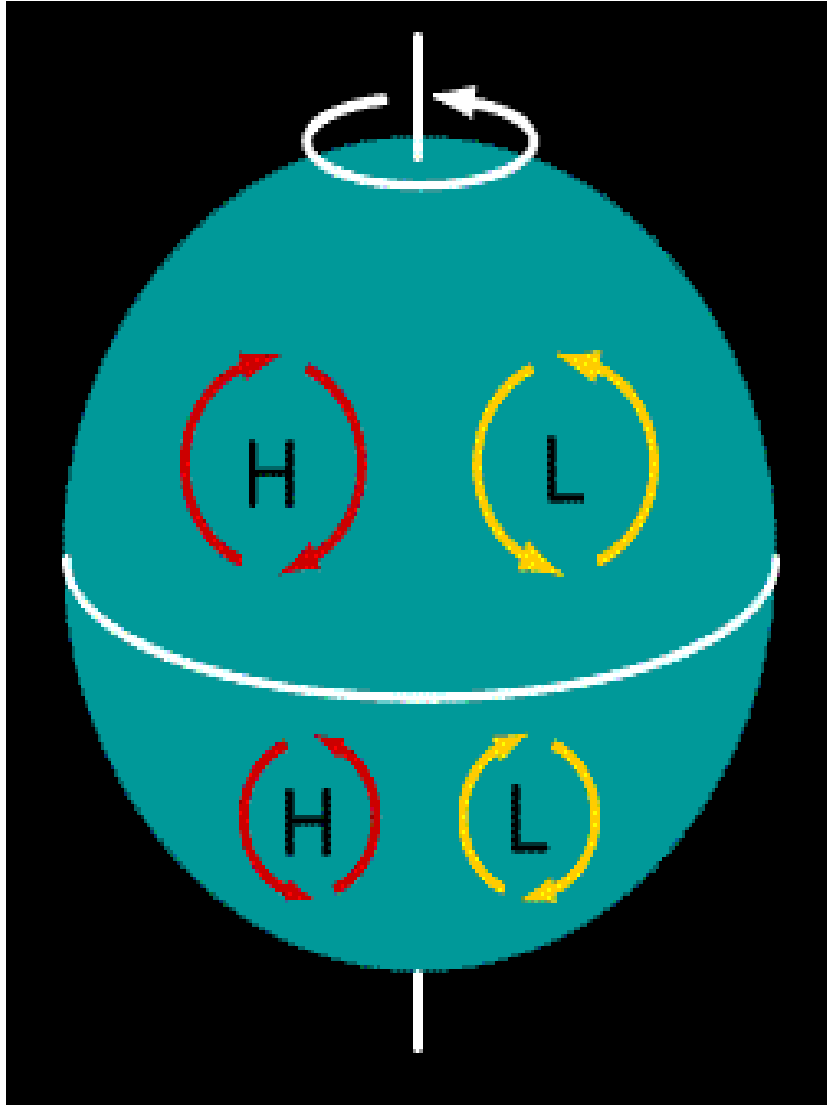


Partindo do pressuposto de um foguete se deslocando do pólo (Norte ou Sul) para o Equador com 1 hora de duração.

O que acontece com a Terra nesse período?

Efeito da rotação da Terra

Força de Coriolis



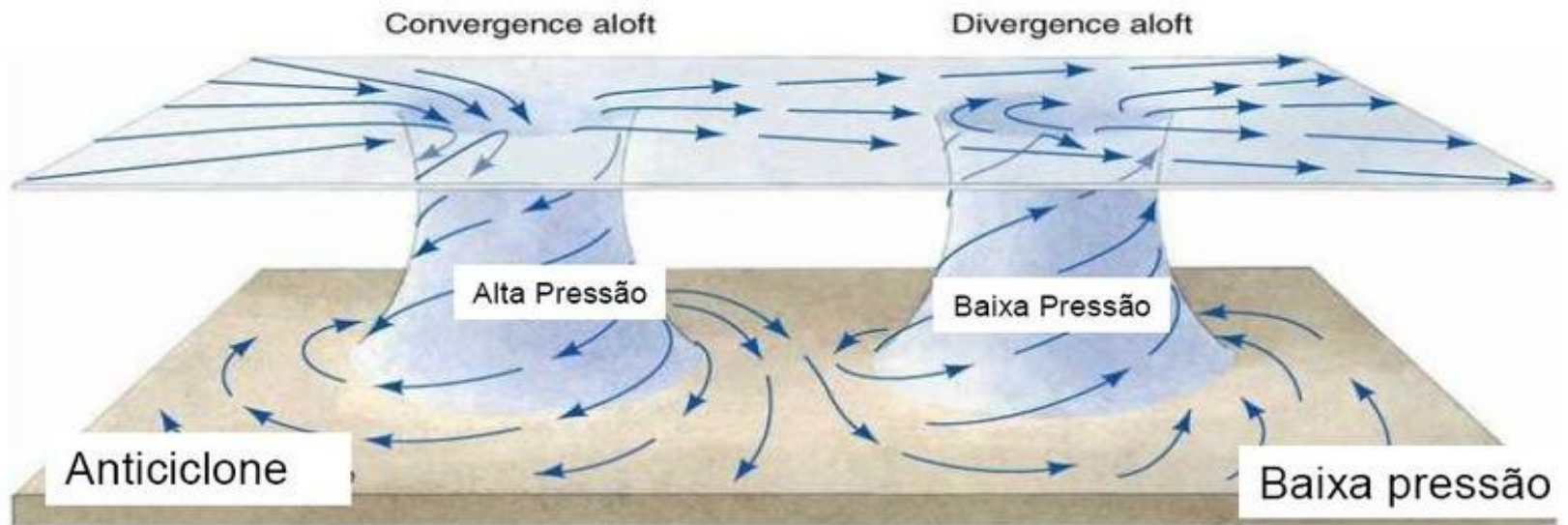
HS → Desvio para esquerda
Anti-horário

HN → Desvio para direita
Horário

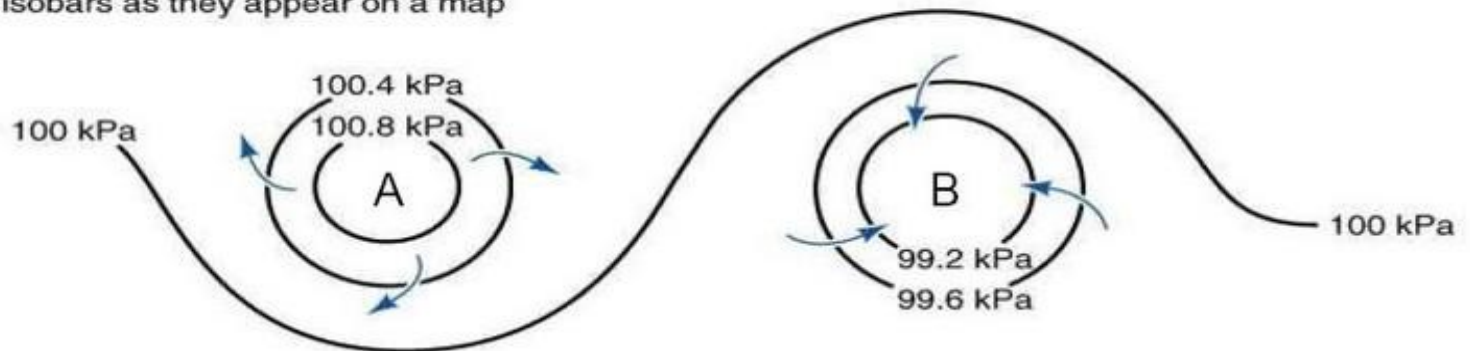
Direção do deslocamento da
parcela de ar será resultante da
força de coriolis + força do
gradiente de pressão

Efeito da rotação da Terra Força de Coriolis

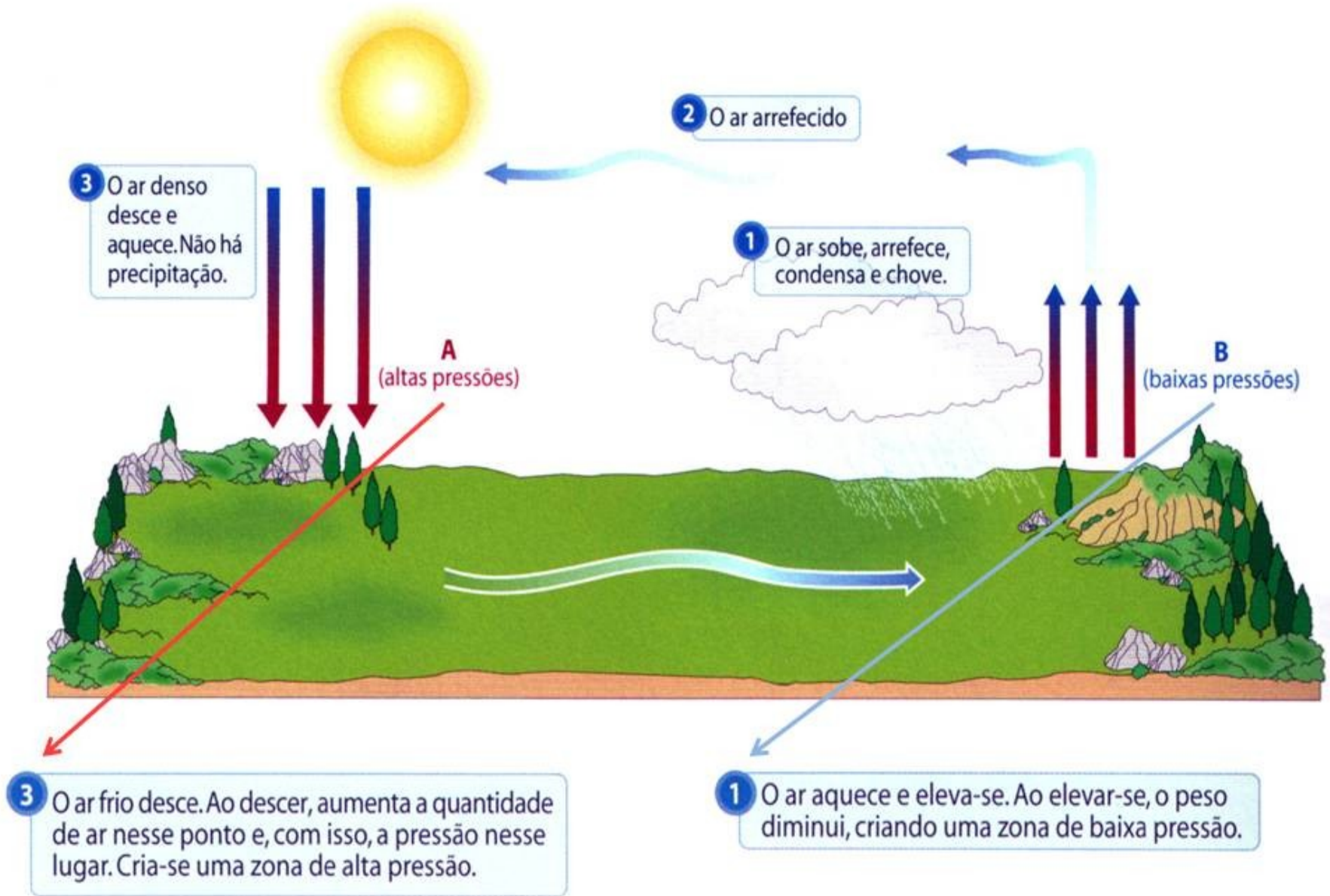
Hemisfério Norte



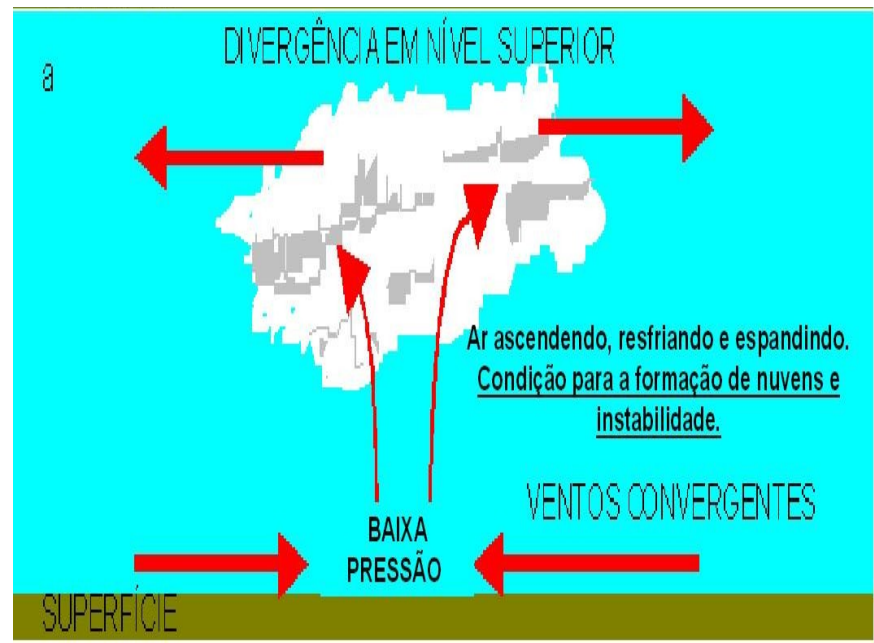
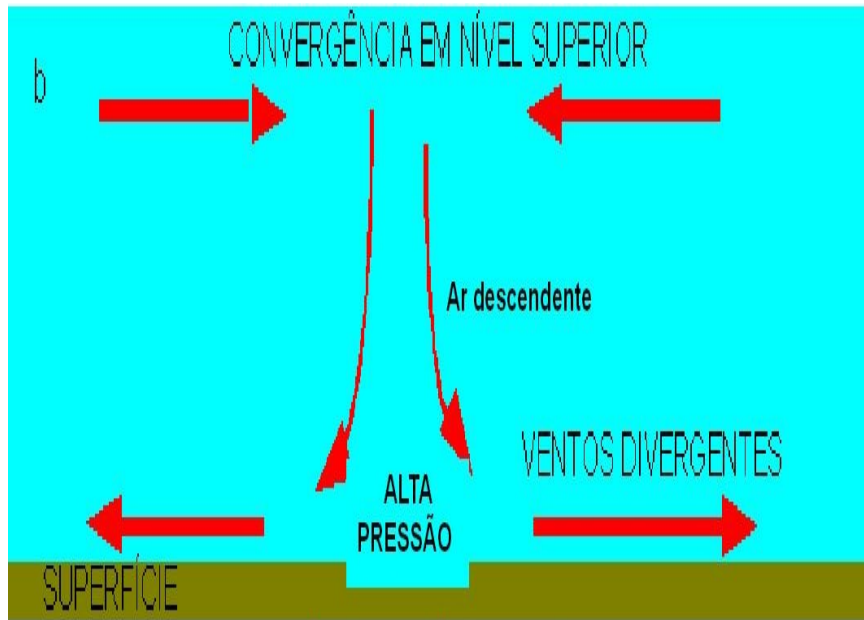
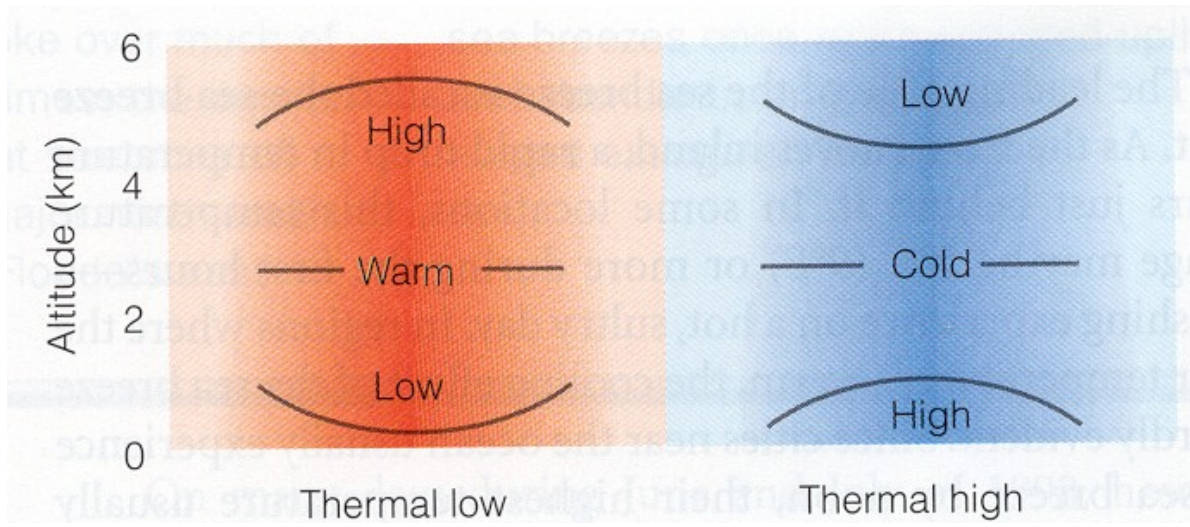
Surface isobars as they appear on a map

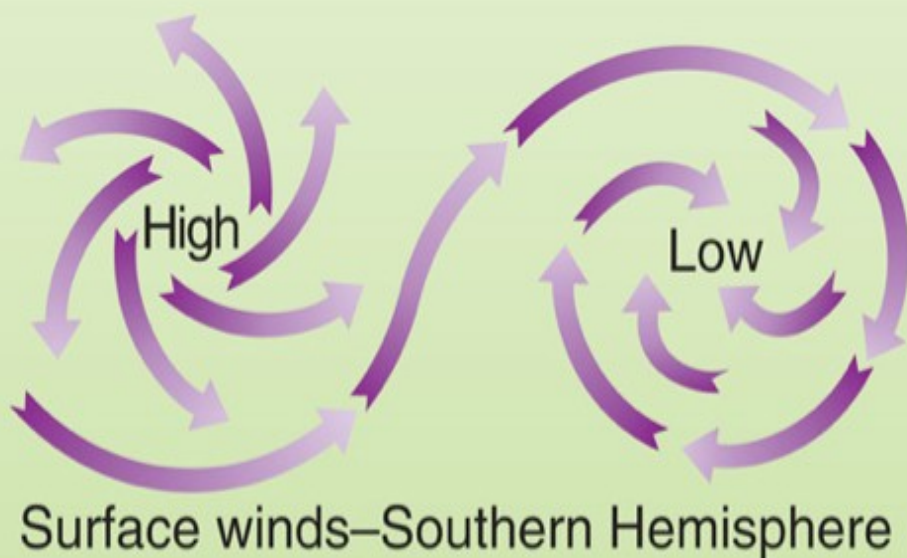
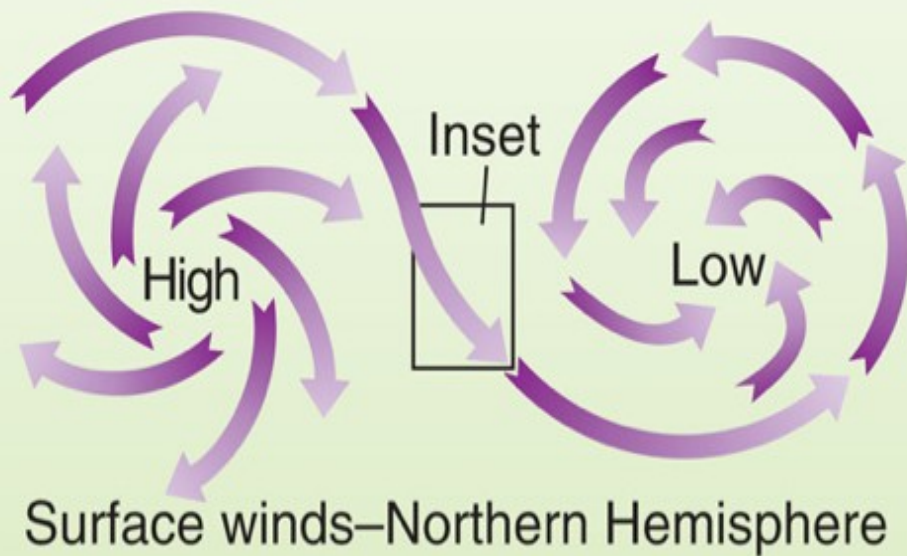


CENTROS DE PRESSÃO

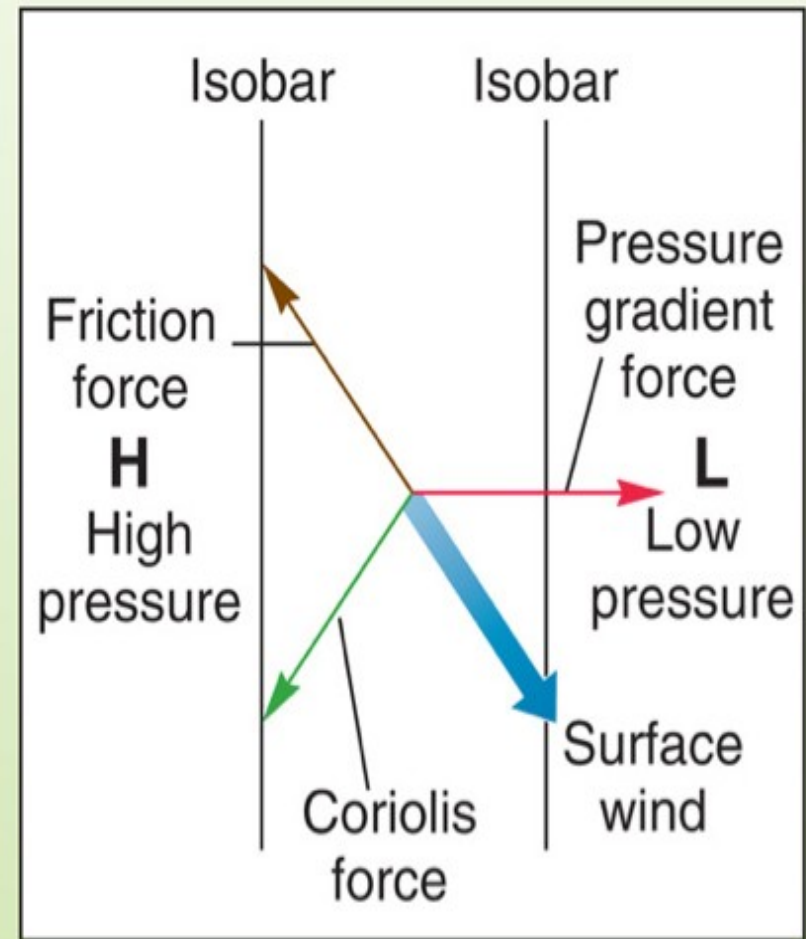


Doc. 1





Northern Hemisphere



(c) Pressure gradient + Coriolis + friction forces (surface winds)

Circulação Geral da Atmosférica

Movimento atmosférico = Movimento em relação à superfície da Terra + Movimento em conjunto com a Terra (efeito de rotação)

CGA → Movimento atmosférico em longa escala de tempo e espaço

ESTIMATIVA COMPLEXA:

- Diferenças nas propriedades térmicas da superfície da Terra
- Diferença devido à topografia
- Transformação de energia dentro da atmosfera
- Escalas de movimentos diferentes

Circulação Geral da Atmosférica

Diversos modelos de CGA → Desde os mais simples (Aristóteles) até mais complexos considerando efeito de rotação, diferença entre latitudes,....

- Aristóteles

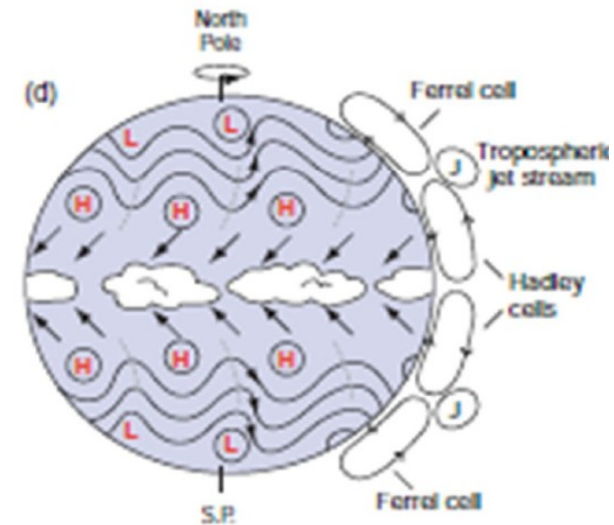
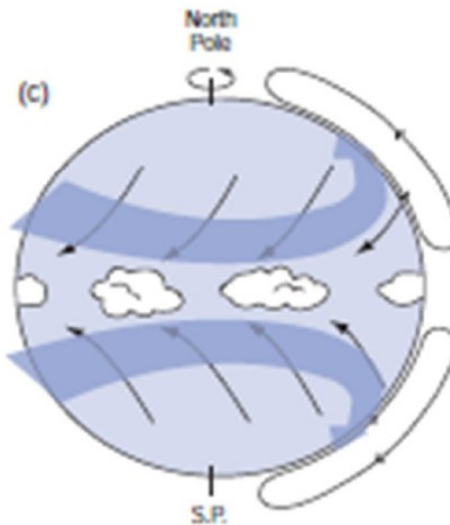
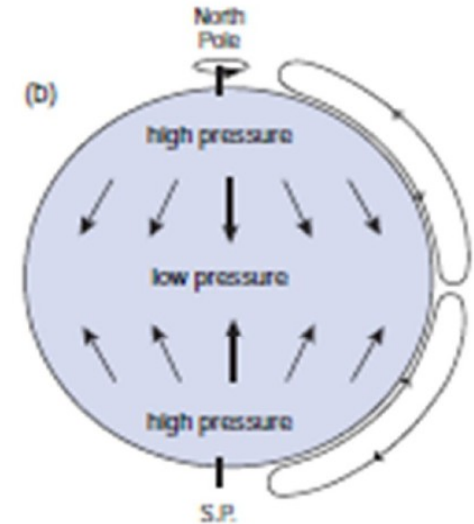
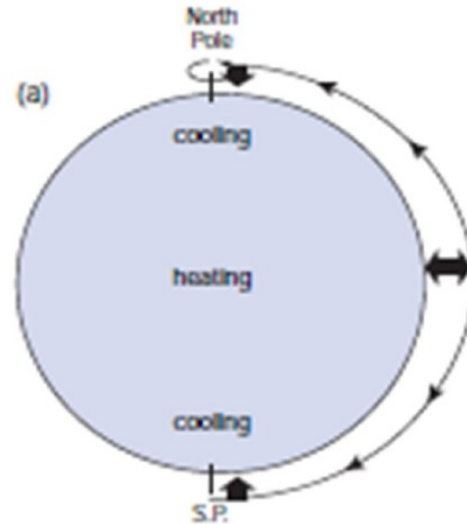
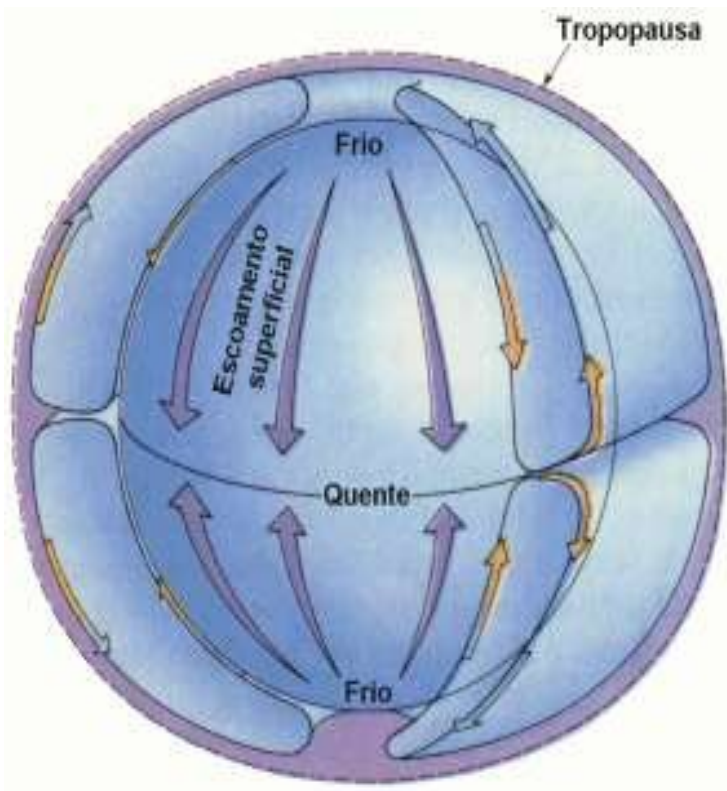
- Edmund Halley (1686) → Aquecimento no Equador e resfriamento nos pólos

Considerações:

- 1) Superfície terrestre coberta somente de água
- 2) Sol sempre “sobre” o Equador
- 3) Terra não realiza movimento de rotação

Circulação Atmosférica

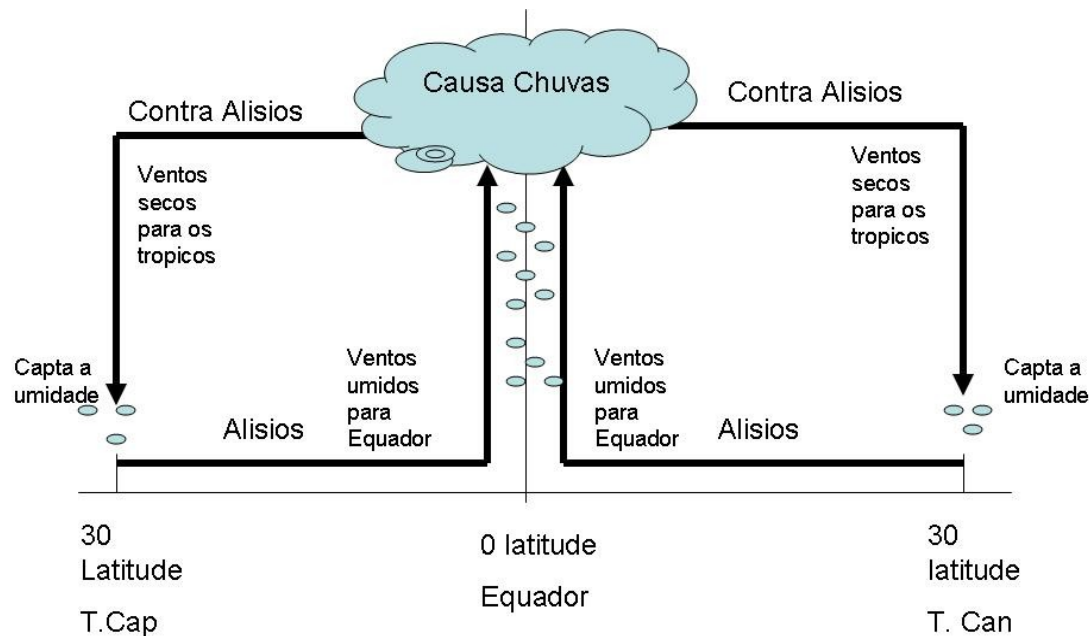
Modelo de 01 célula

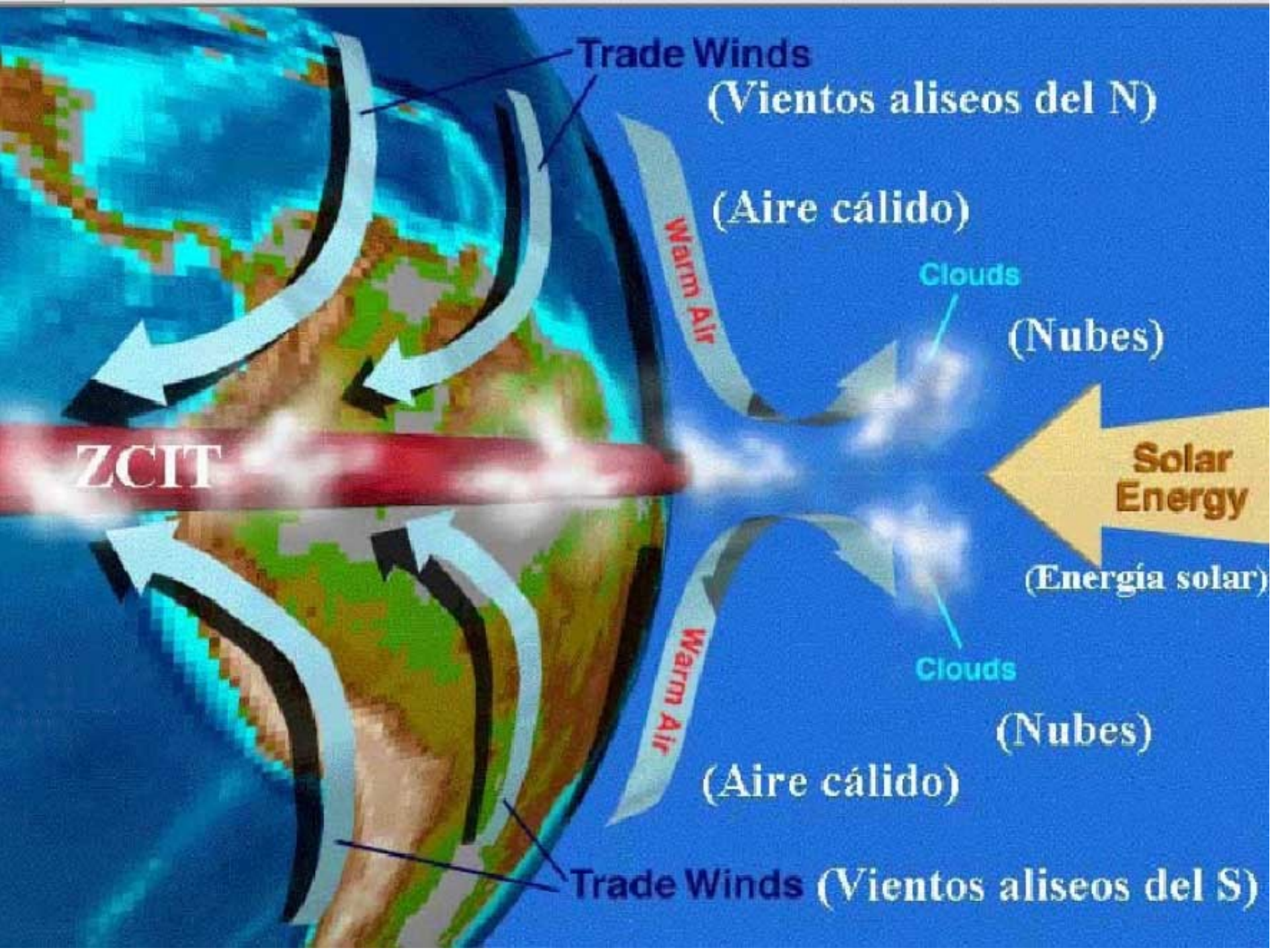


Circulação Geral da Atmosférica

- George Hadley (1735) → Incorporou os efeitos de rotação da Terra (explicando os ventos Alísios)

Ele acreditava somente 01 célula em cada hemisfério. Por sua contribuição → “Célula de Hadley” e “Circulação de Hadley”





Trade Winds

(Vientos aliseos del N)

(Aire cálido)

Warm Air

Clouds

(Nubes)

ZCIT

Solar Energy

(Energía solar)

Clouds

(Nubes)

(Aire cálido)

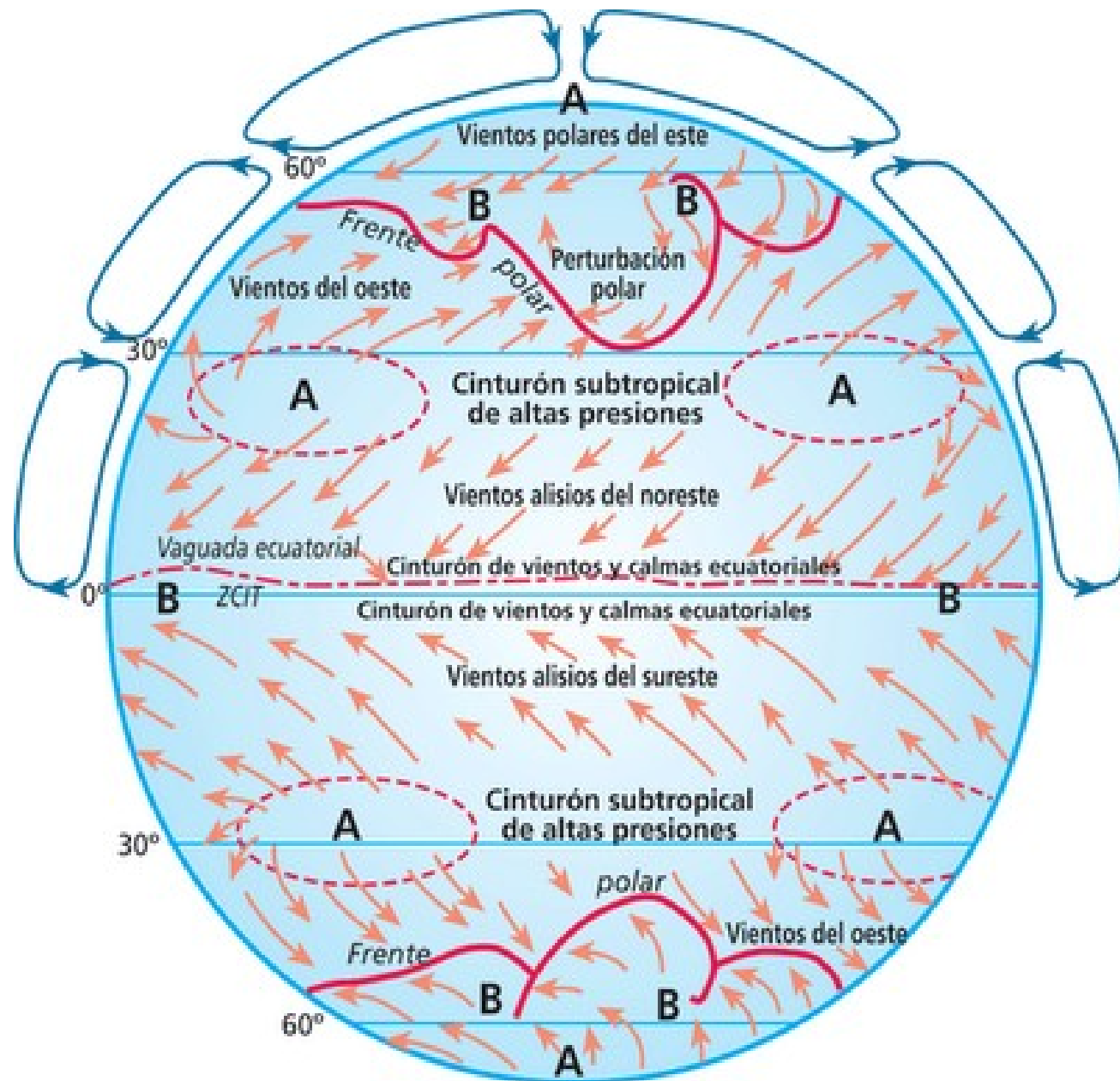
Warm Air

Trade Winds (Vientos aliseos del S)

Circulação Geral da Atmosférica

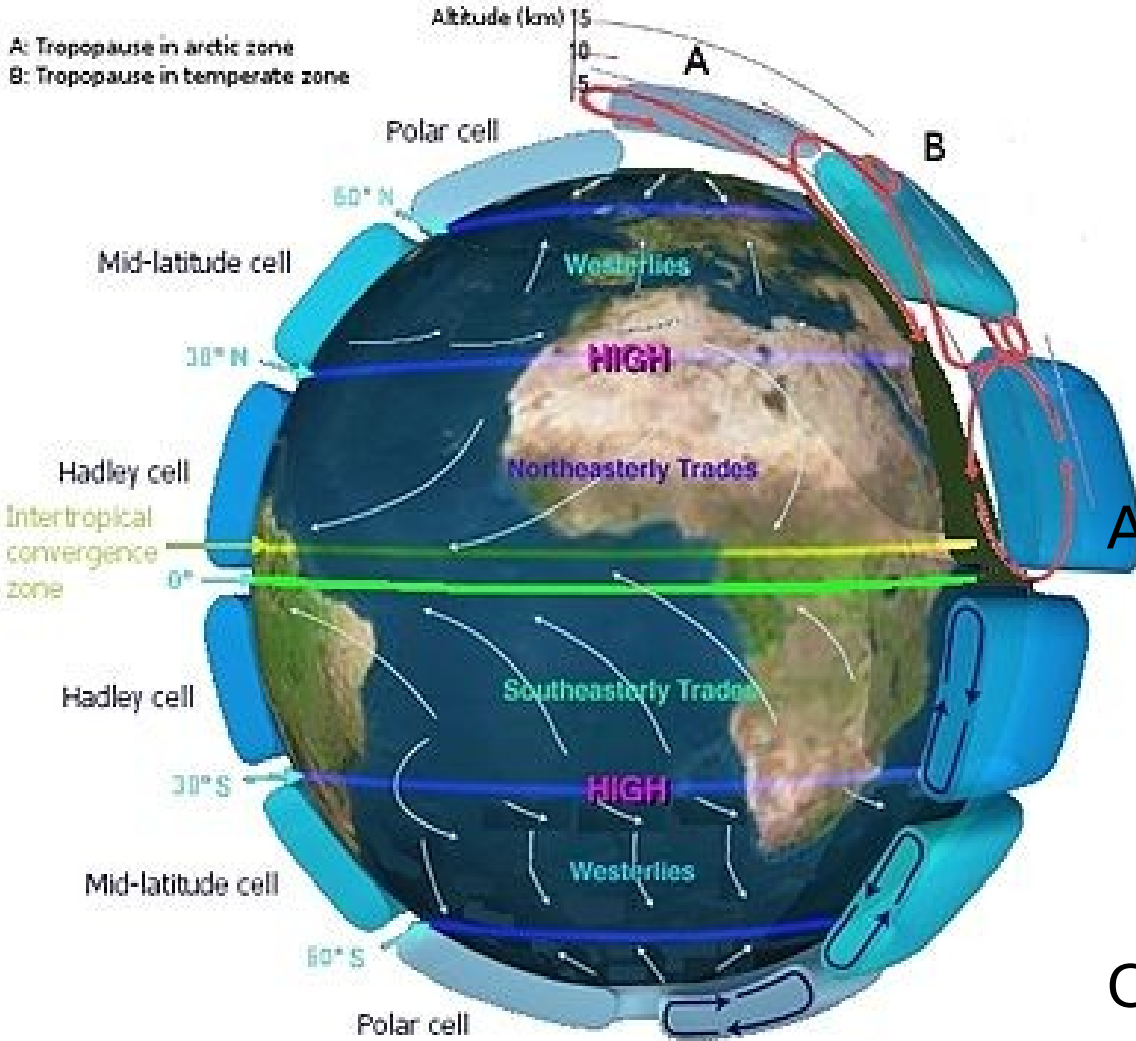
- William Ferrel (1856) → Professor secundário sugeriu a existência de 03 células em cada hemisfério para justificar os ventos em latitudes médias e polares.
- Vários autores contribuíram ao longo dos anos:
- Bergeron (1928)
- Rossby (1941)
- Palmen (1951)

Modelo de 03 células



Ventos Alísios → A convergência desses ventos resulta a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) - Equador Térmico.

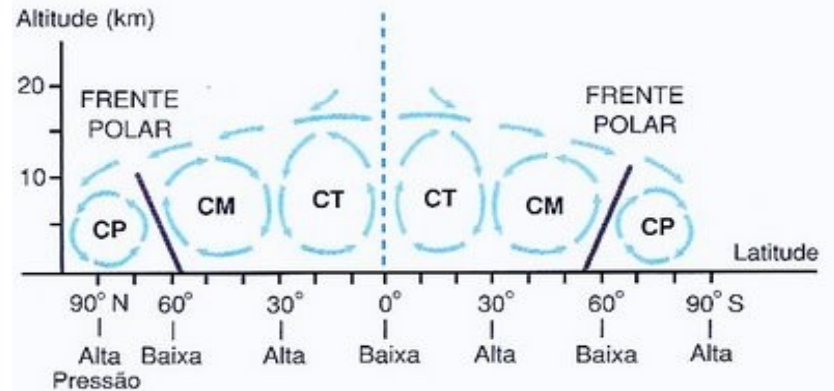
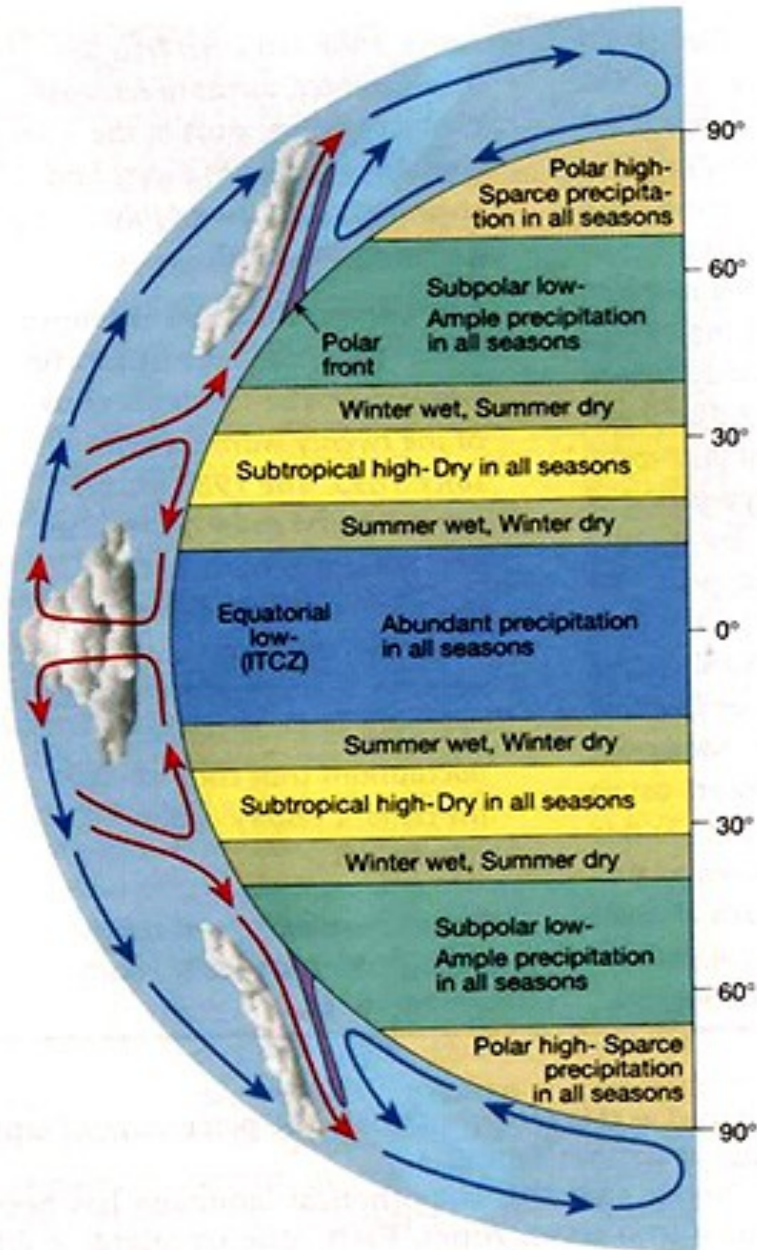
A: Tropopause in arctic zone
B: Tropopause in temperate zone



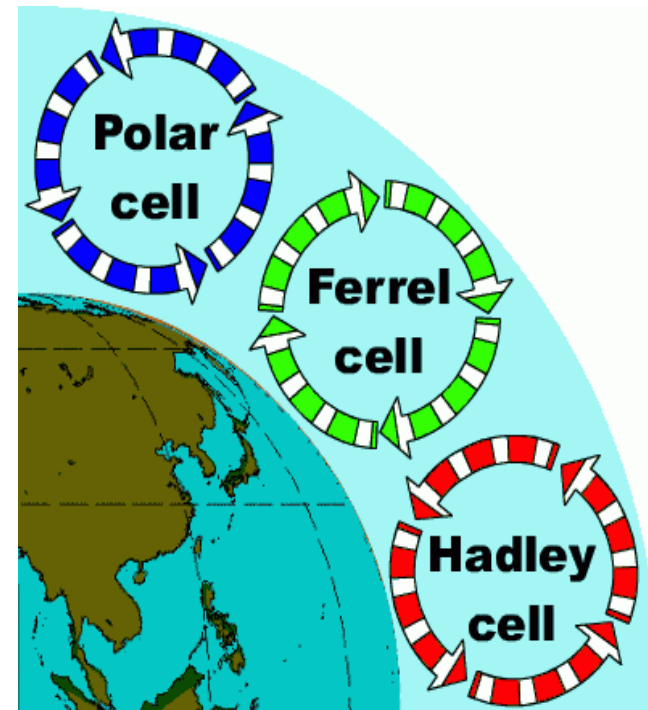
As faixas de alta e baixa pressão variam conforme a estação do ano (Norte-Sul) ou mesmo (leste-oeste).

Células só atuam na troposfera

AS TRÊS CÉLULAS DA CIRCULAÇÃO GERAL ATMOSFÉRICA



CP = Célula Polar CM = Célula de Meia Latitude CT = Célula Tropical



Circulação atmosférica

©2008 HowStuffWorks

Chave

Ar quente



Ar frio



frente polar

tropopausa polar

célula polar

tropopausa de latitude média

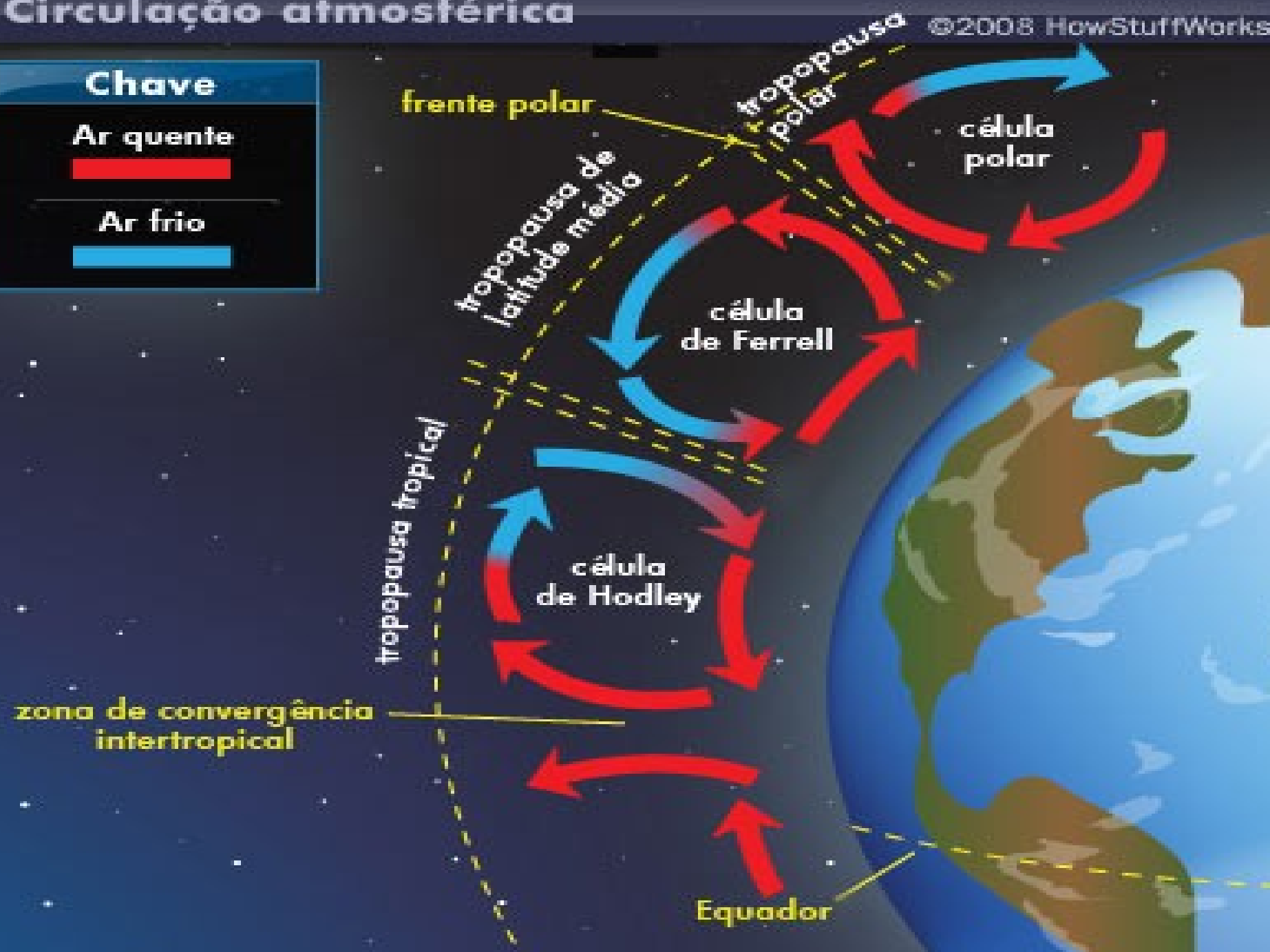
célula de Ferrell

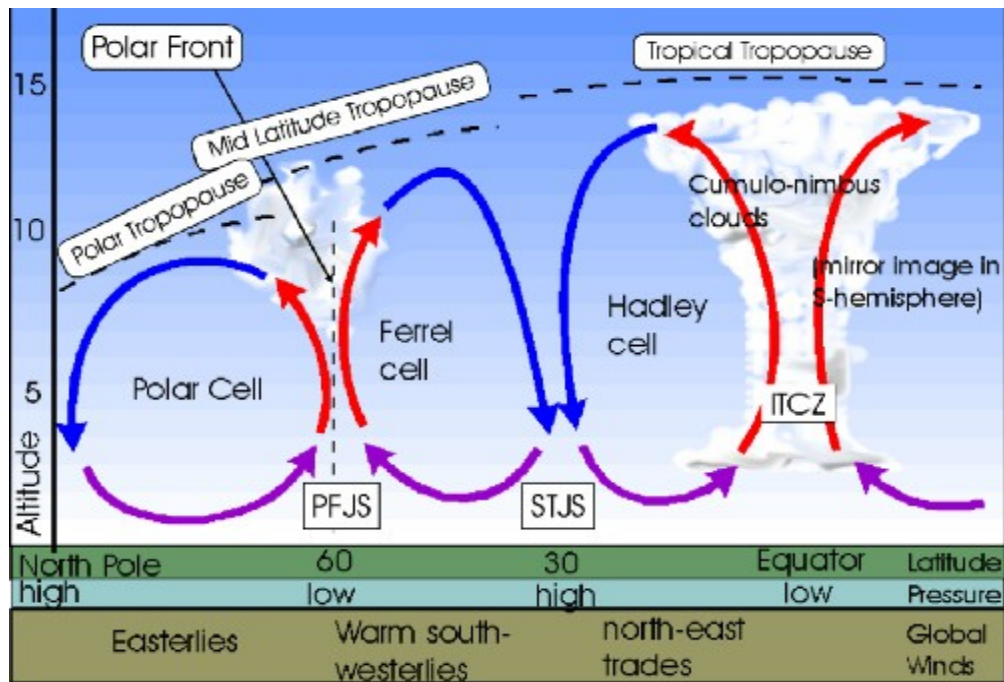
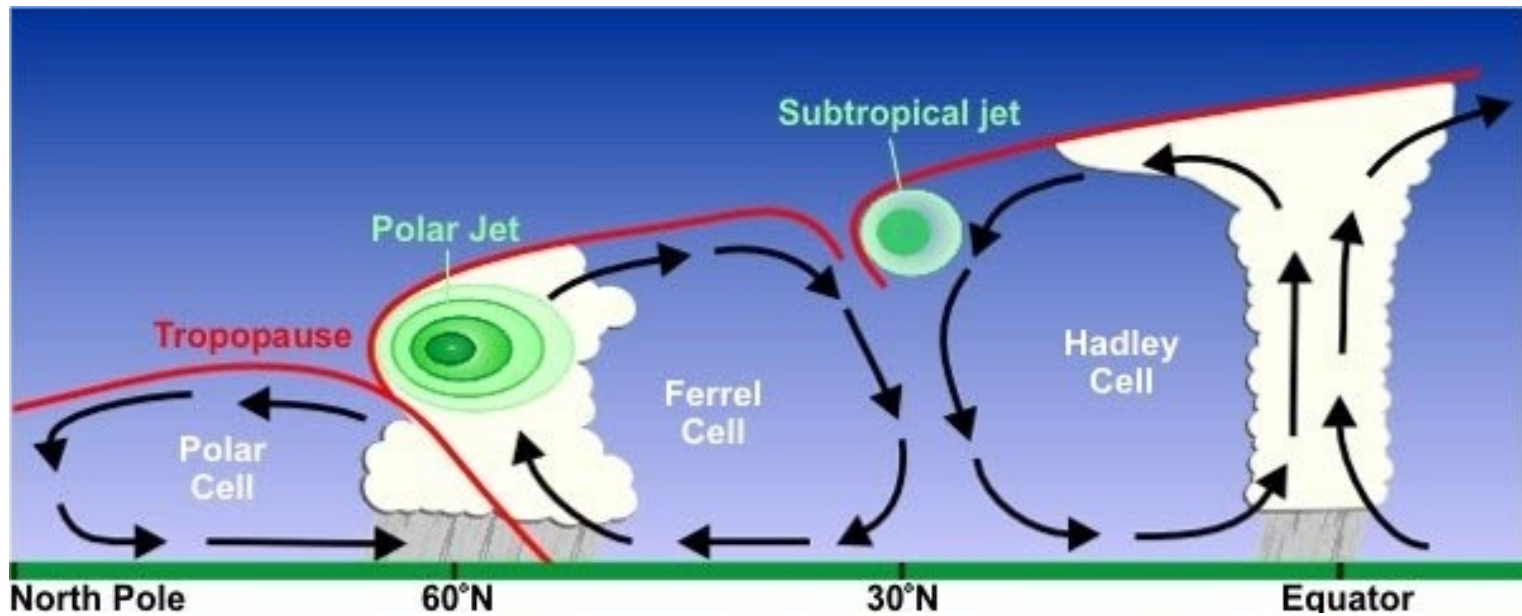
tropopausa tropical

célula de Hadley

zona de convergência intertropical

Equador

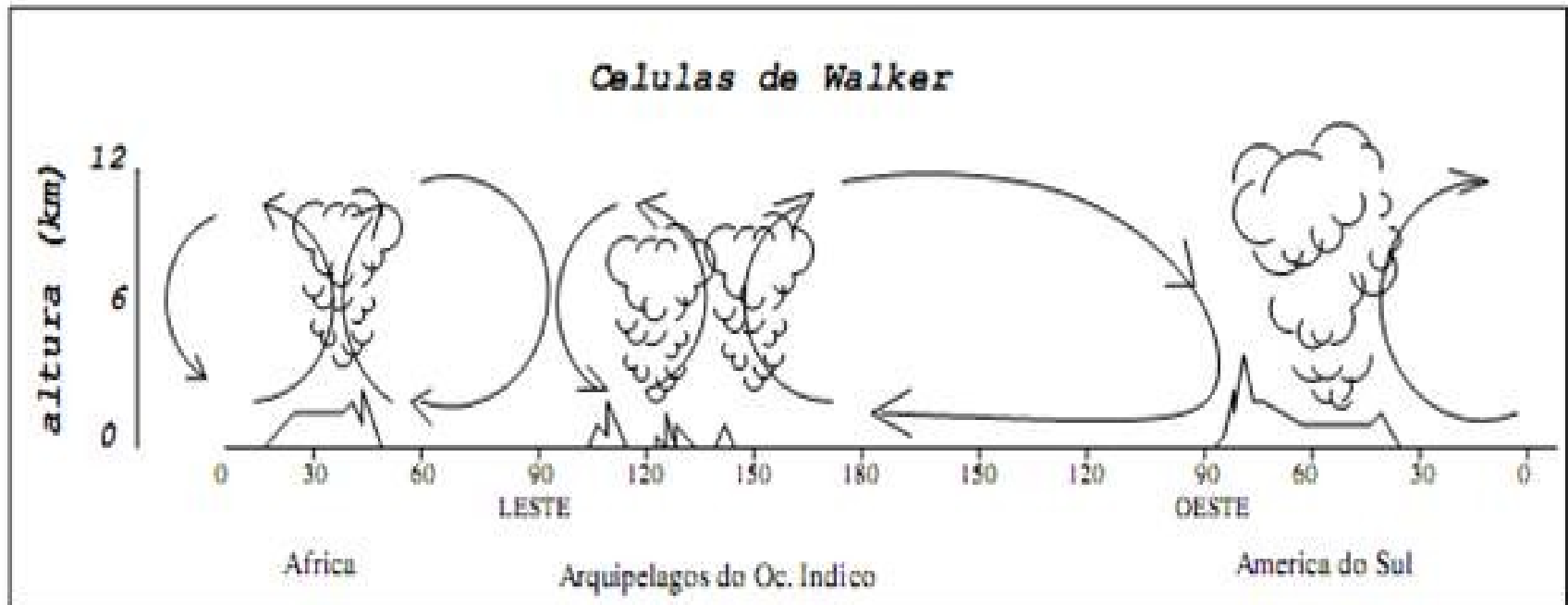




Célula de Walker (1932)

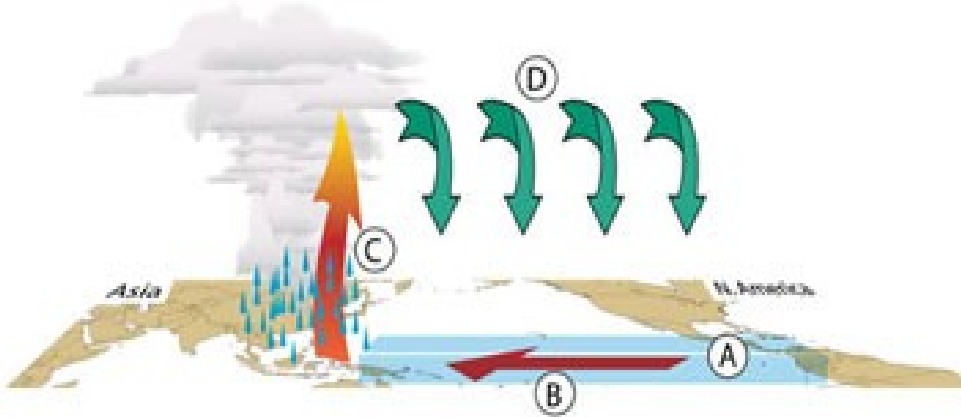
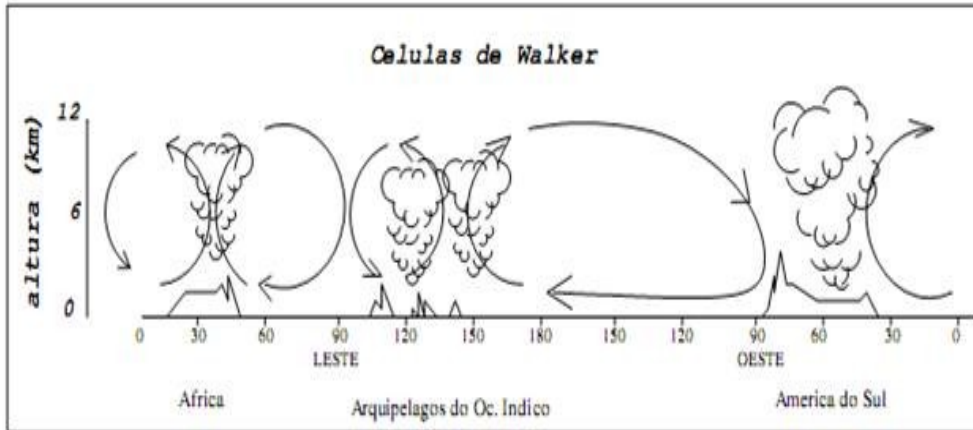
Circulação só varia com a latitude? (Circulação Meridional)?

Região tropical → Circulação zonal em larga escala



Causa? → Aquecimento diferencial entre continentes e Oceanos

Circulação de Walker (1932)

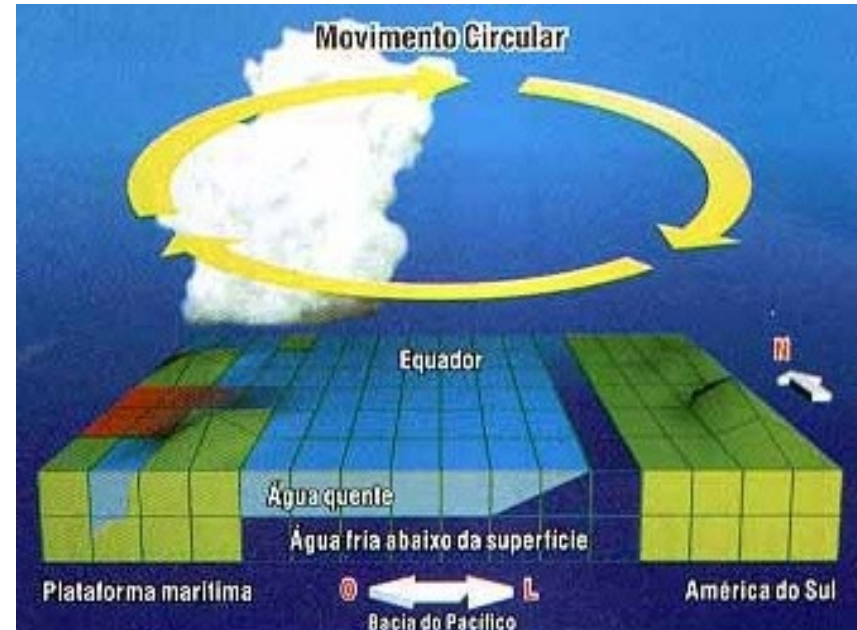


Walker circulation

- (A) Evaporation from warm ocean moistens lower atmosphere.
- (B) Trade winds carry moisture west
- (C) Moist air rises and feeds rain
- (D) Dry air cools and sinks

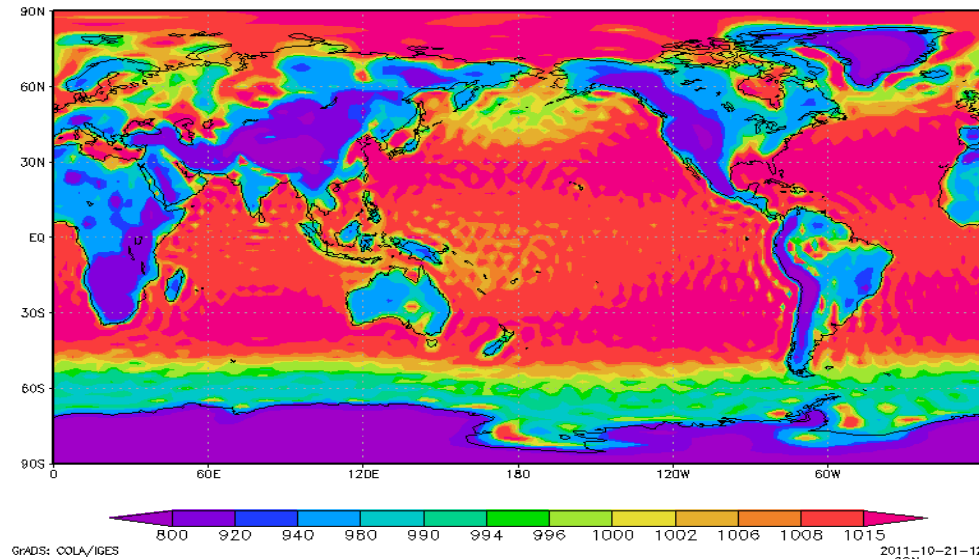
Warm climate

- (A) Atmospheric moisture increases strongly.
 - (C) Rainfall increases more slowly than moisture
- To compensate, winds slow.

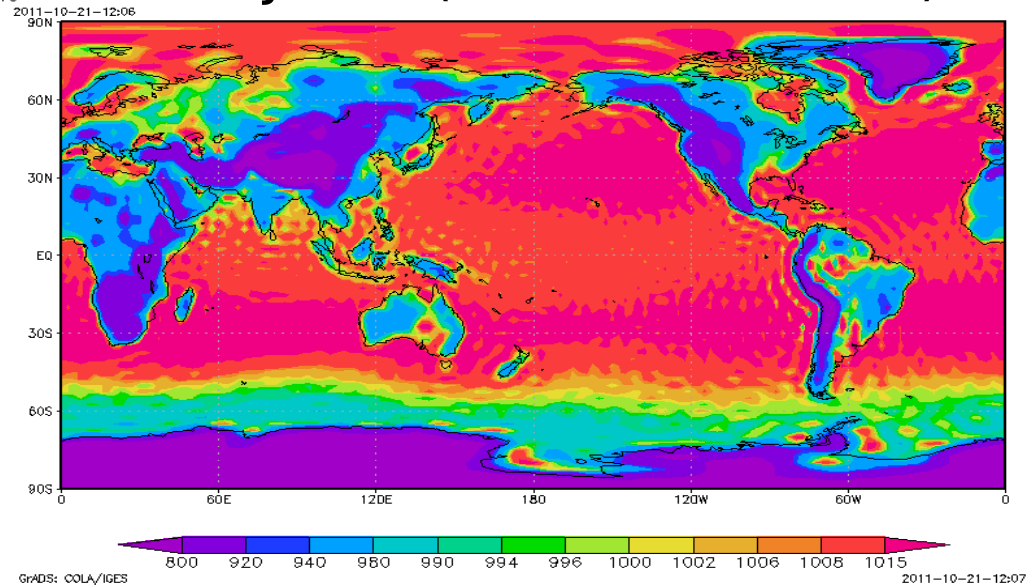


Variação da Pressão Atmosférica

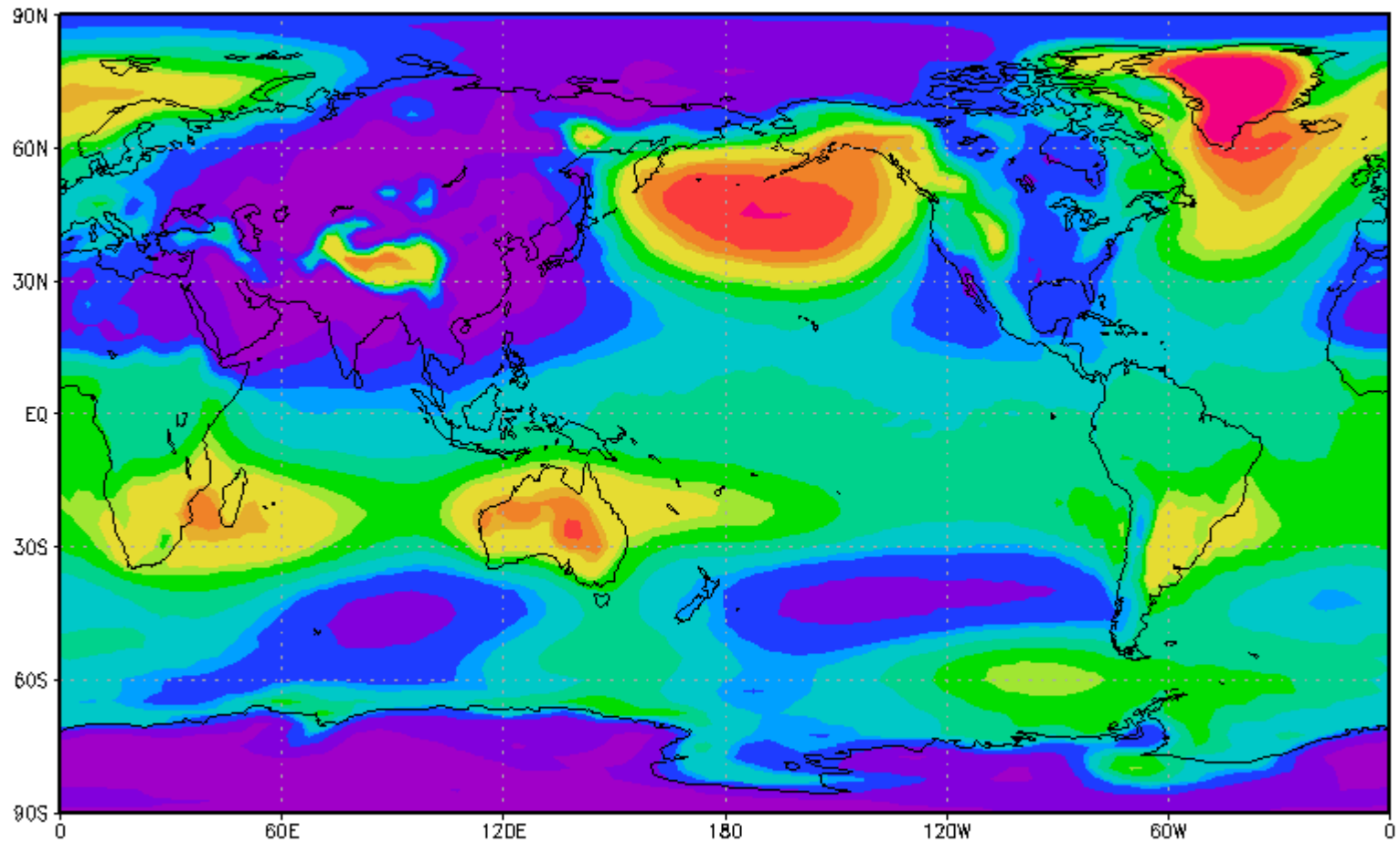
Janeiro (Média 1948-2011)



Junho (Média 1948-2011)



Junho - Janeiro(Média 1948-2011)

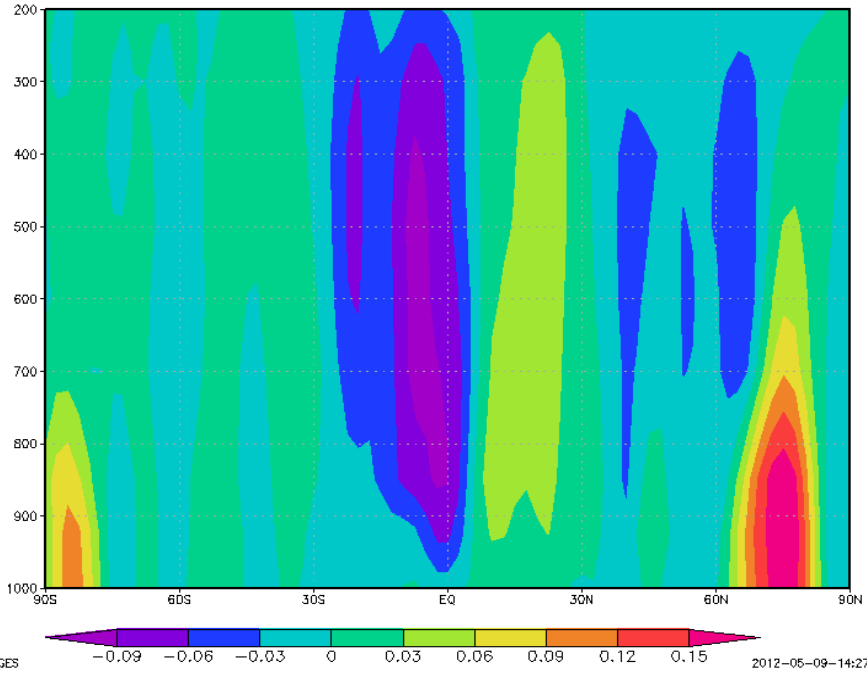


GrADS: COLA/IGES

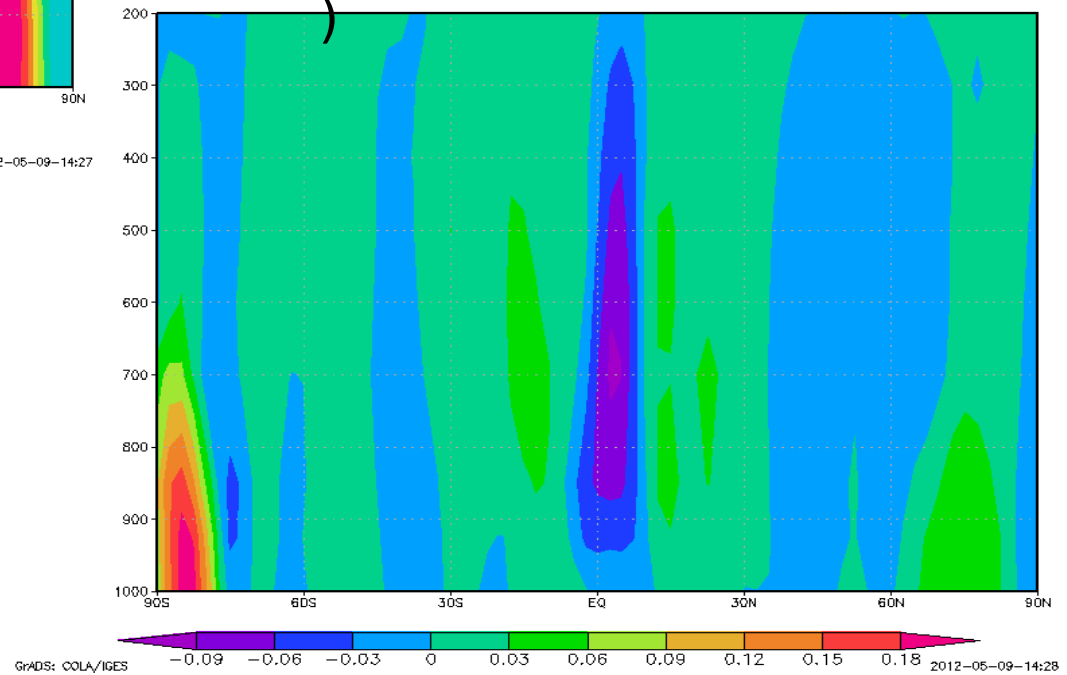
2012-05-09-15:34

Omega

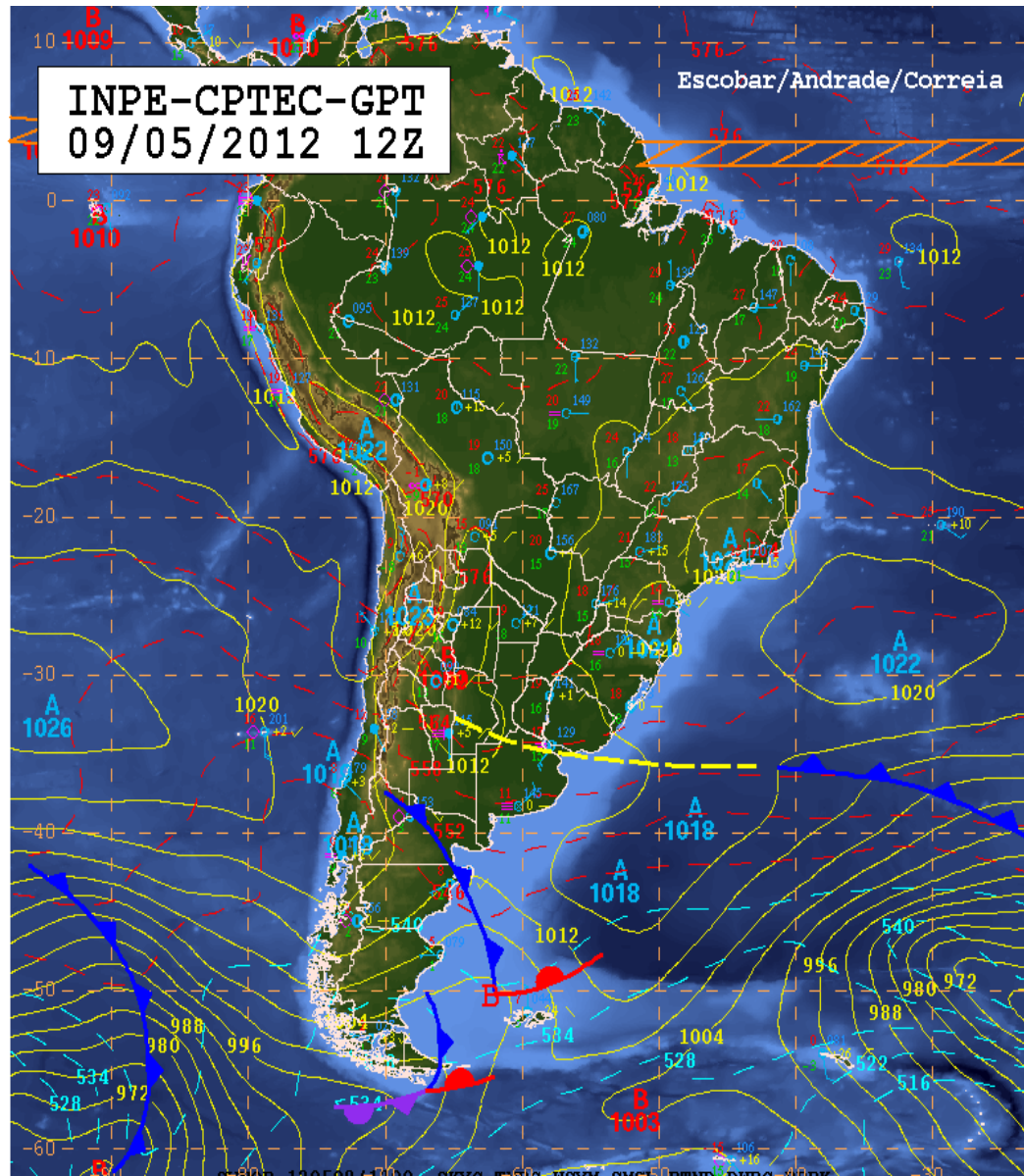
- Janeiro (Média 1948-2011)



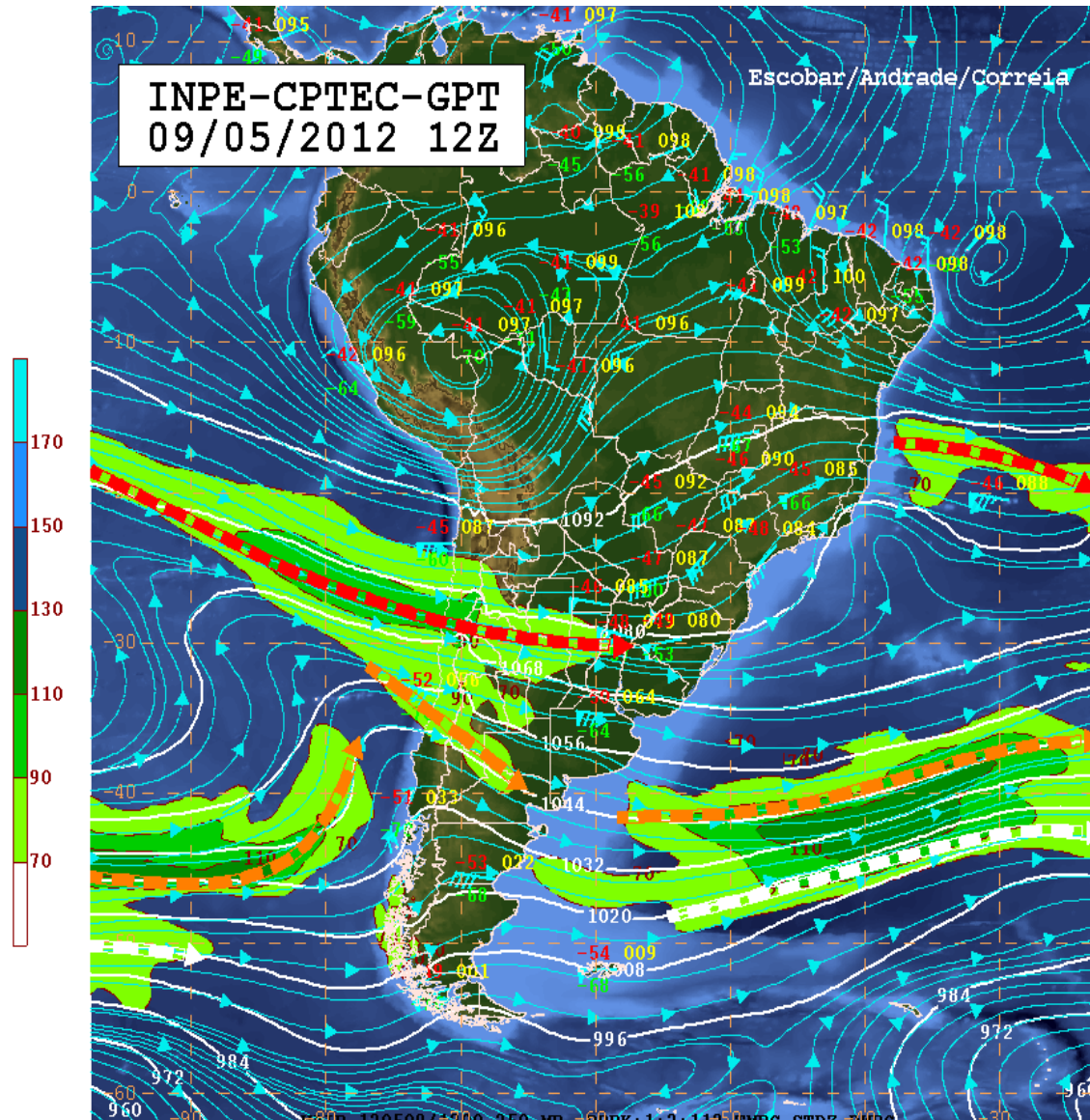
- Junho (Média 1948-2011)



Carta de Superfície



Carta de Altitude



Circulações Locais e Sazonais

As variações sazonais do vento são pequenas nos oceanos quanto comparado aos continentes

Monções

Árabe: Maujin (estações)

- Principal causa → Aquecimento diferencial de grandes áreas continentais e oceânicas conforme a estação do ano

Variação INVERNO / VERÃO

- O que acontece no continente durante verão? O que isso provoca na pressão atmosférica? E no gradiente de pressão entre continente e oceano?

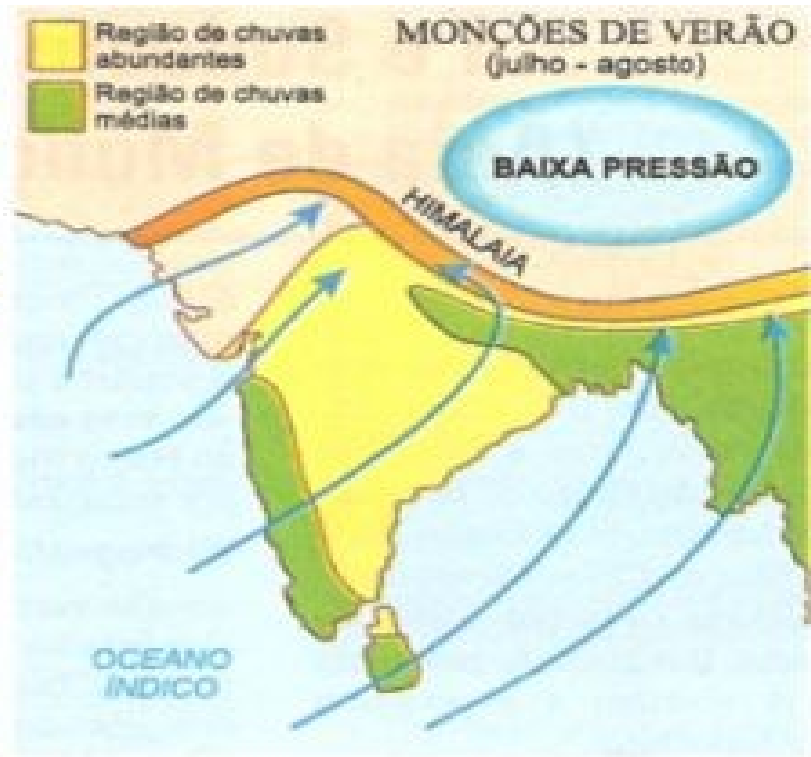
Circulações Locais e Sazonais

Monção da Índia

Papel importante:

- Topografia (himalaia)

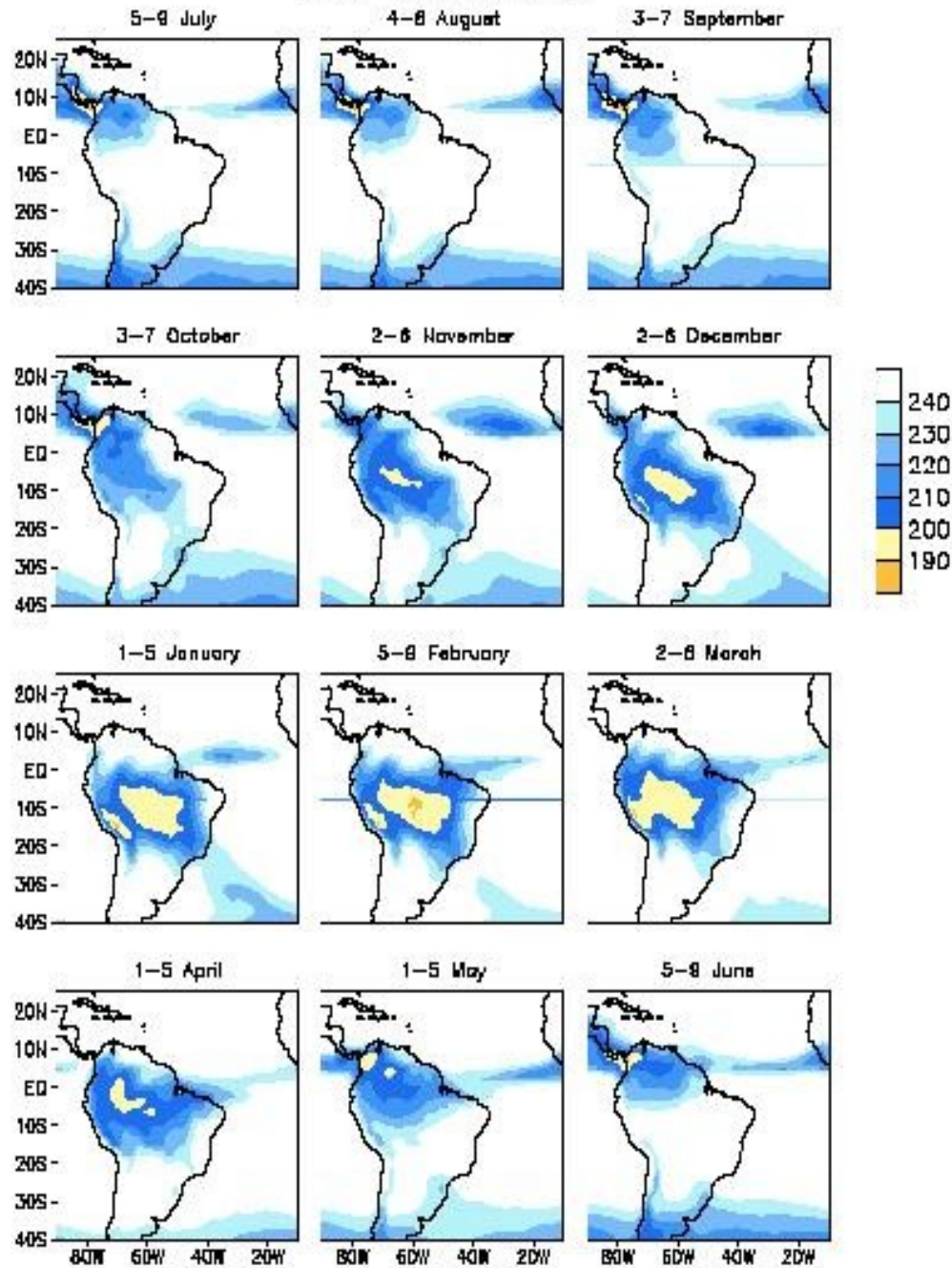
Monções ao redor do mundo?



Sistema de Monções na América do Sul

- Circulação de verão sobre América do Sul apresenta padrões característicos de monção.
- Conceito utilizado: Mudança sazonal do padrão de precipitação sobre o continente e da anomalia do vento
- Fase de desenvolvimento: Primavera (setembro-novembro) quando ocorre uma migração da convecção do extremo norte da AS para a região central da Amazônia (forte aquecimento pelo calor sensível – platô boliviano)
- Fase Máxima: Verão – máximo de precipitação sobre a Amazônia e região Sudeste do Brasil (Alta da Bolívia, cavado do NEB e ZCAS)

OLR Climatology



Diferenças Ásia x América do Sul

- Aquecimento platô boliviano > platô tibetano
- Entretanto, gradiente continente-oceano de temperatura é mais intenso na Ásia do que na AS (oceano pacífico tem águas mais frias).

Forma e localização dos platôs contribui para diferença:

- Andes bloqueia e deflete o escoamento de baixos níveis em direção à latitudes subtropicais
- Tibet impede o escoamento em direção à latitudes mais elevadas

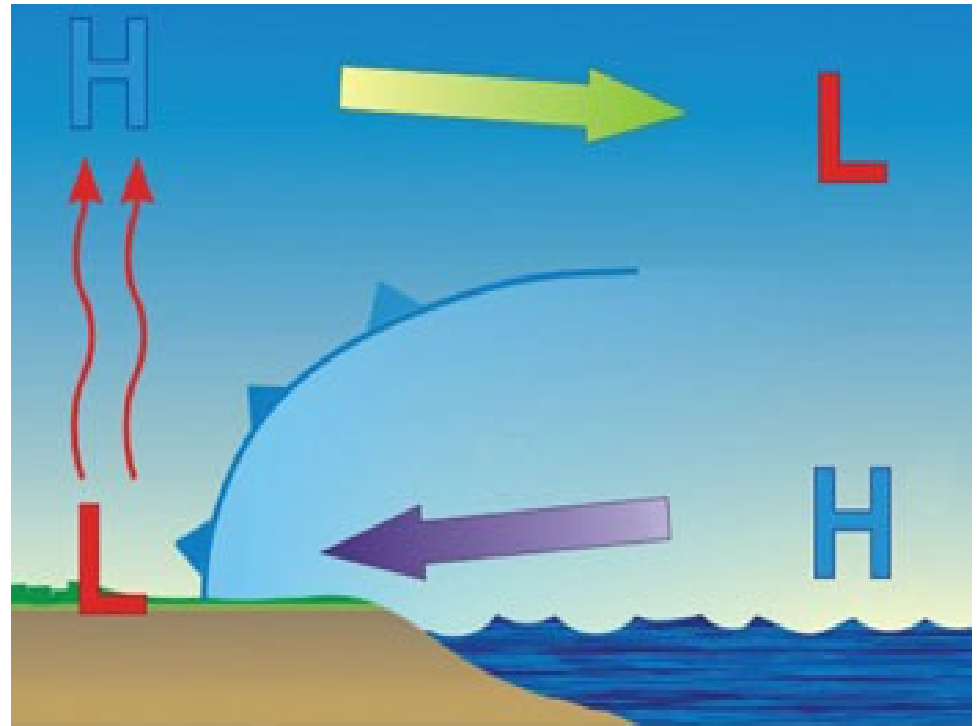
Circulações Locais → Brisas (Marinha e terrestre)

- Aquecimento diferenciado entre continente e oceano (em escala de tempo menor):

- fluxos de energias diferentes para a atmosfera
- divergência e convergência em diversos pontos

Circulação térmica direta
(ar quente sobe e frio desce)

Brisa marítima (Diurna) →



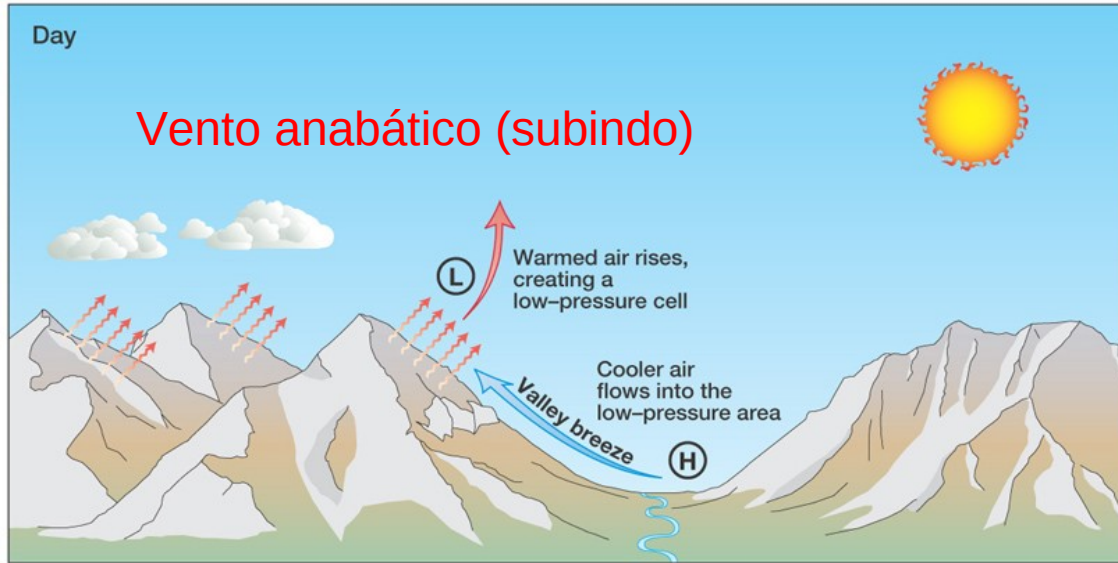
Circulações Locais → Brisas (Marinha e terrestre)

- Brisas marinhas são importantes por transportar umidade para o interior do continente modificando a precipitação por elas atingidas.
- Brisas são mecanismos que produzem chuvas leves e de curta duração.
- Confluência dos Alísios com a brisa noturna pode ser um mecanismo importante na produção de chuva na costa leste do nordeste (Nobre e Molion, 1988) – Kousky, 1980.

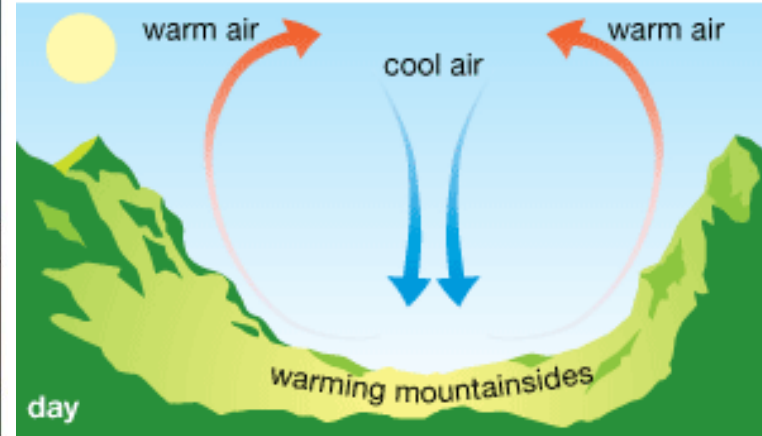
Brisa Vale-Montanha

Day

Vento anabático (subindo)

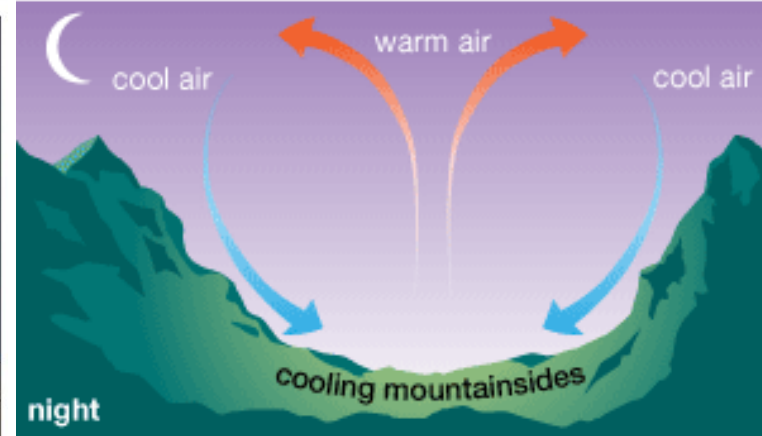
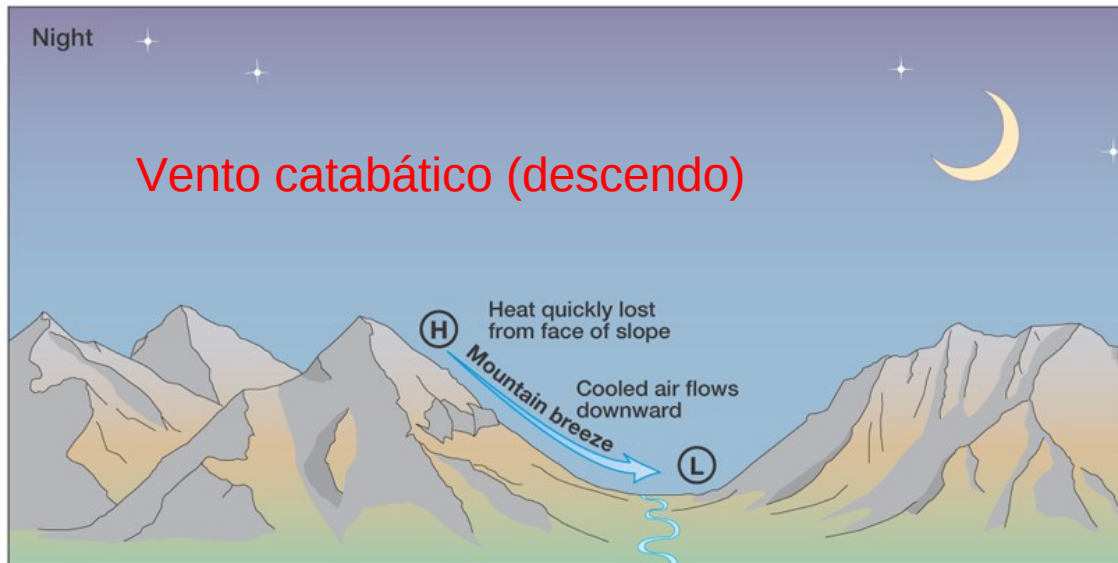


Valley and mountain breezes



Night

Vento catabático (descendo)



© 2008 Encyclopædia Britannica, Inc.

Ventos Locais

- **Vento Fohn** → Alpes e montanhas da Ásia Central
- **Vento Chinook** → Montanhas rochosas nos EUA

Ventos quentes e secos que se desenvolvem a sotavento das montanhas (após passar as montanhas)

- **Vento Mistral** → França, norte da Itália e Grécia

Vento frio de origem polar que ocorre no Inverno

- **Vento Minuano** → Sul do Brasil, Uruguai e Argentina

Vento frio oriundo das massas polares

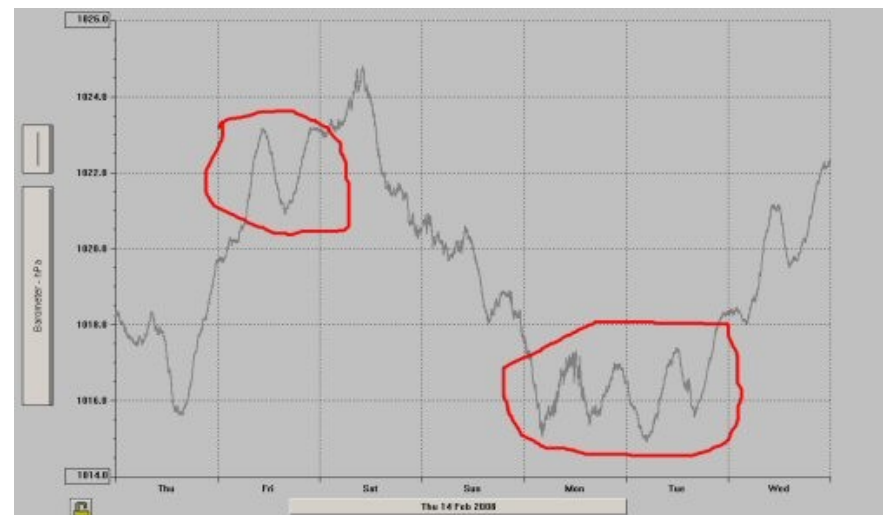
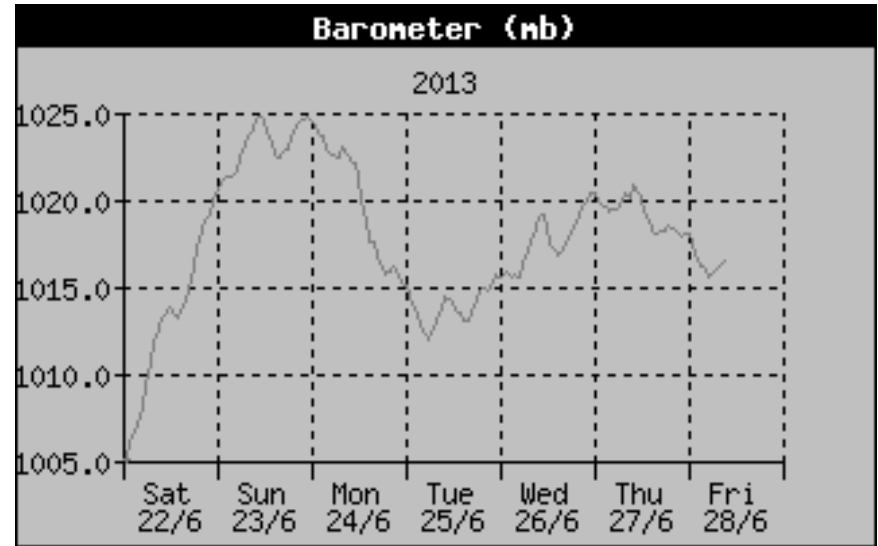
Variação diária da pressão atmosférica

- Na região tropical → a curva diária da pressão atmosférica possui 02 máximos (10 e 22h) e 02 mínimos (04 e 16h) diários.

Marés e marés barométricas

Atuação das forças gravitacionais durante 24h50min → 2altas e 2baixas

Pressão atmosférica em condições não-perturbadas → sistemas atmosféricos



Variação mensal e anual da pressão atmosférica

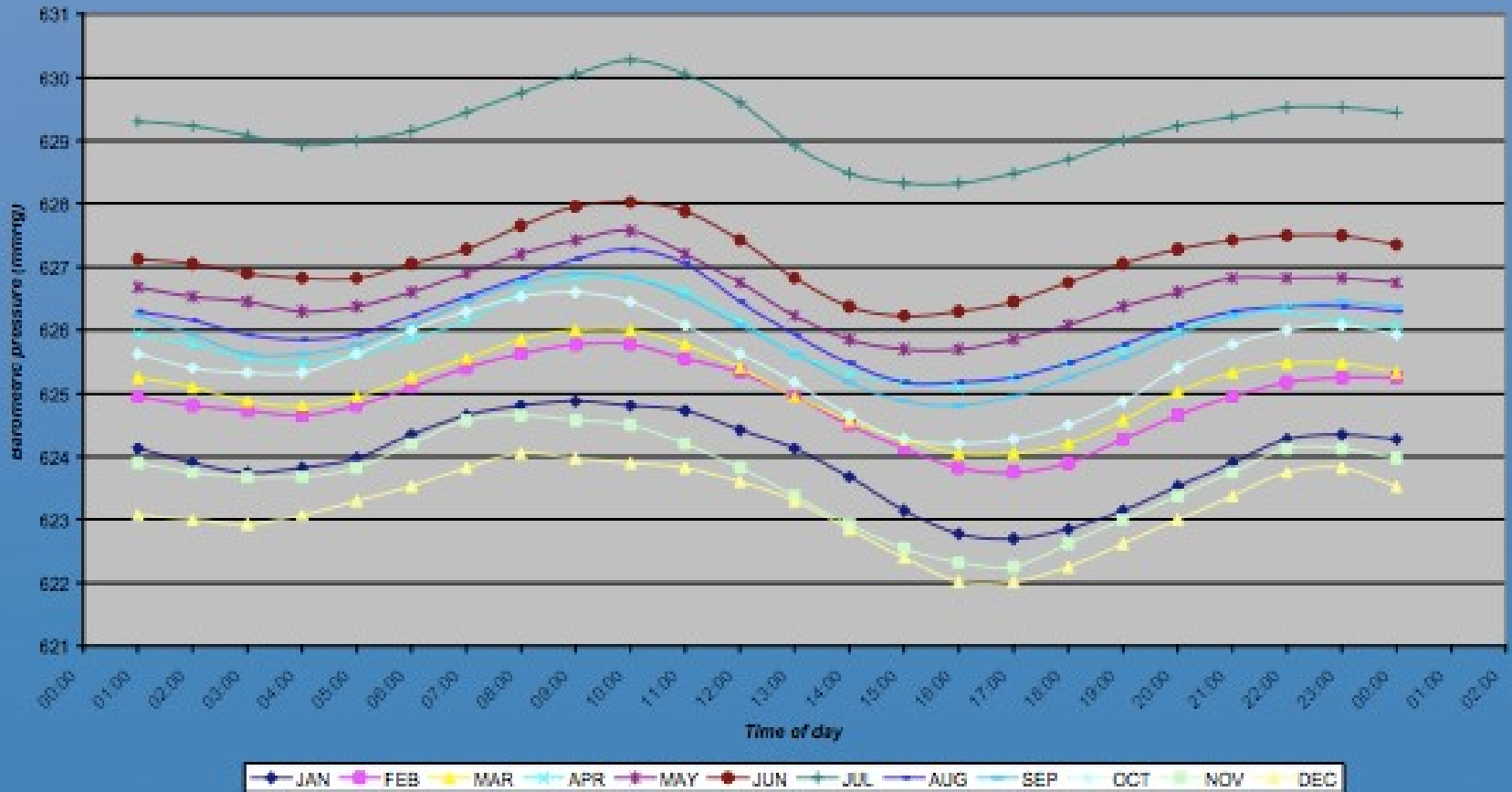


Figure 1: Daily and monthly variation in barometric pressure during 2005 for Johannesburg (1695)

Variação da pressão atmosférica devido à sistemas meteorológicos

Perturbações atmosférica → Provoca variações na pressão atmosférica em um local

Precipitação

- Aquecimento da superfície → Baixa pressão → Movimento ascendente → umidade “suficiente” → precipitação
- Redução da umidade → aumento da pressão atmosférica
- * Antes da chuva → Pressão mais baixa
- * Após a chuvas → Pressão mais alta

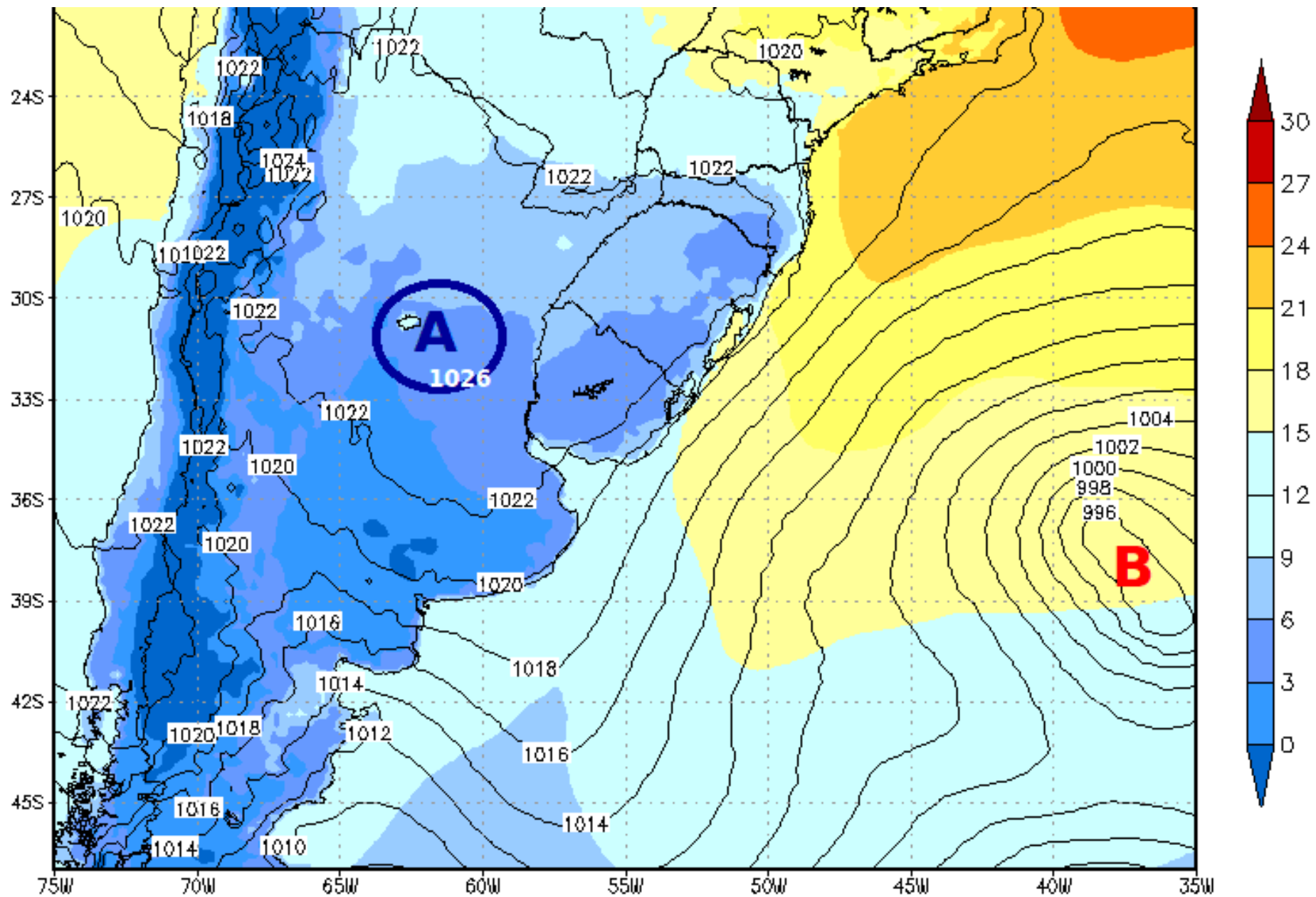
Variação da pressão atmosférica devido à sistemas meteorológicos

Perturbações atmosférica → Provoca variações na pressão atmosférica em um local

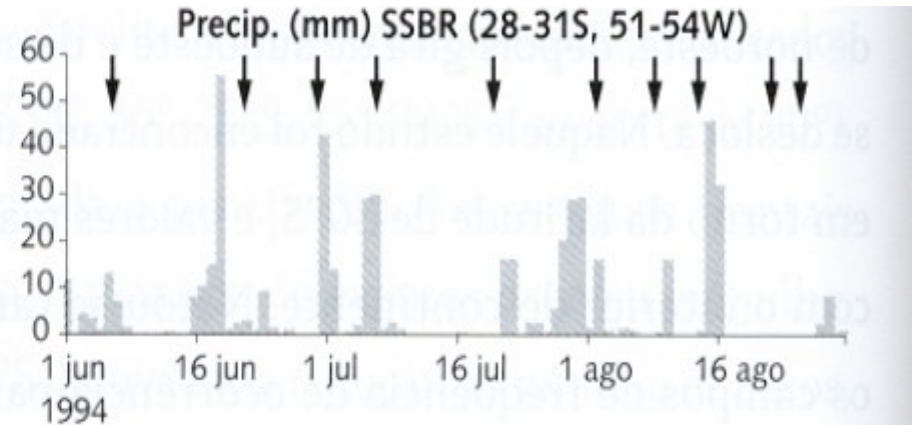
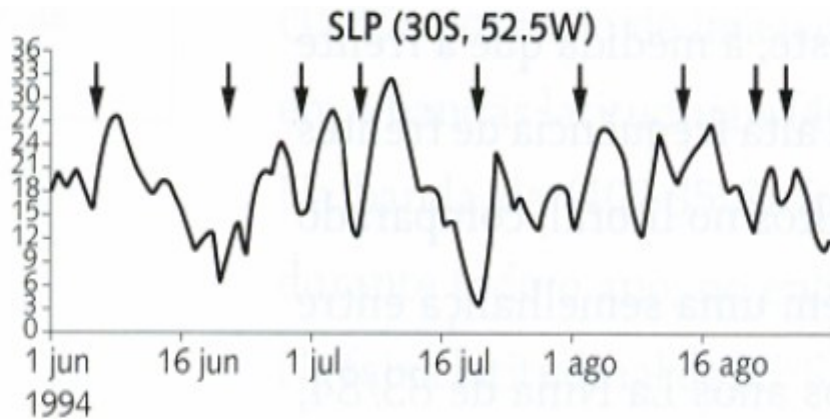
Sistemas frontais

- Antes da chegada/passagem de uma frente fria → Temperaturas mais altas → Baixa pressão
- Após a passagem da frente fria → Temperatura mais baixa → Alta pressão

Por que o céu fica normalmente sem nuvens APÓS a passagem de uma frente fria?



9.2 CLIMATOLOGIA DA PASSAGEM DE FRENTES FRIAS PARA O PERÍODO DE 1979 A 2005



Vento

Componente HORIZONTAL do vetor velocidade do ar

$$\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}$$

A caracterização do vento em qualquer ponto da atmosfera requer 02 parâmetros: direção e velocidade

DIREÇÃO DO VENTO

Exprime a posição do horizonte aparente do observador a partir de onde o vento provem.

Expressa o ângulo que o vetor velocidade do vento forma com o norte geográfico (0°) → Aumenta em sentido horário

Vento

VELOCIDADE DO VENTO

Expressa em m/s, km/h ou knots (kt)

m/s \rightarrow km/h (x3,6)

1 kt = 0,514m/s

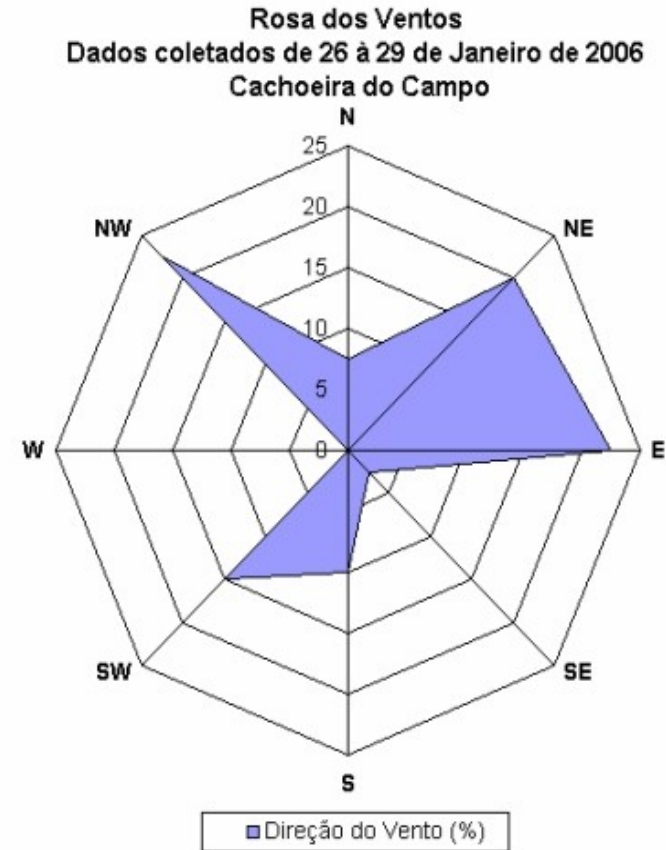
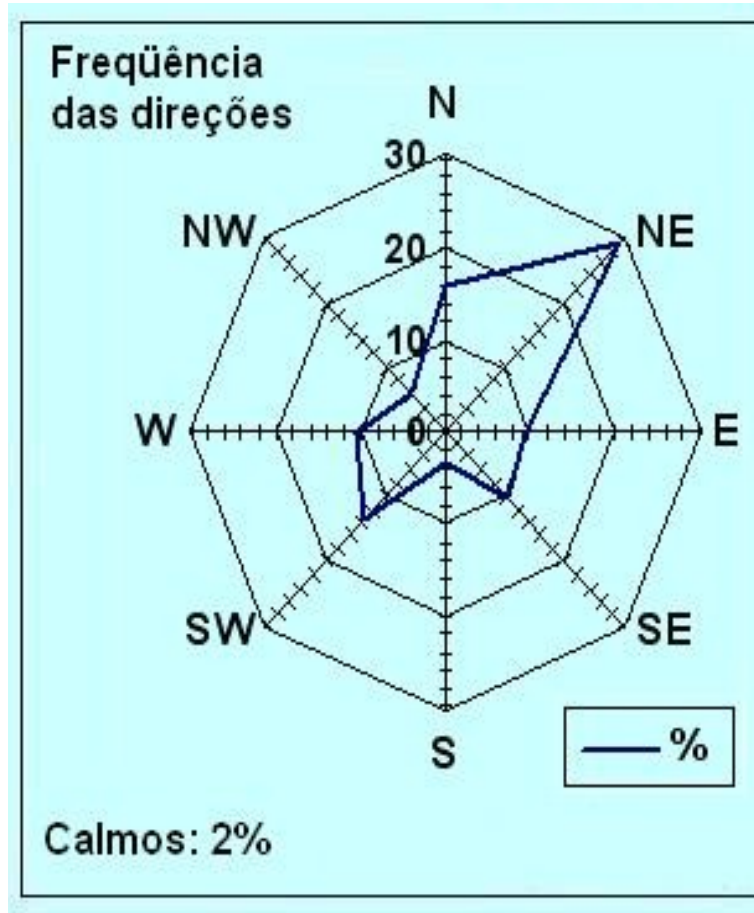
1m/s = 1,944kt

RAJADA \rightarrow Variação brusca da velocidade do vento (curto período de tempo)

Usualmente usa-se médias/distribuição de frequência

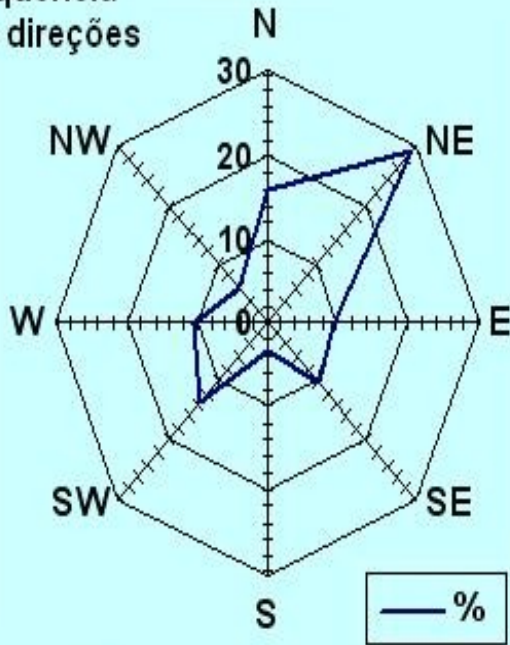
Vento

Direção do vento expressa em graus ou em pontos cardeais



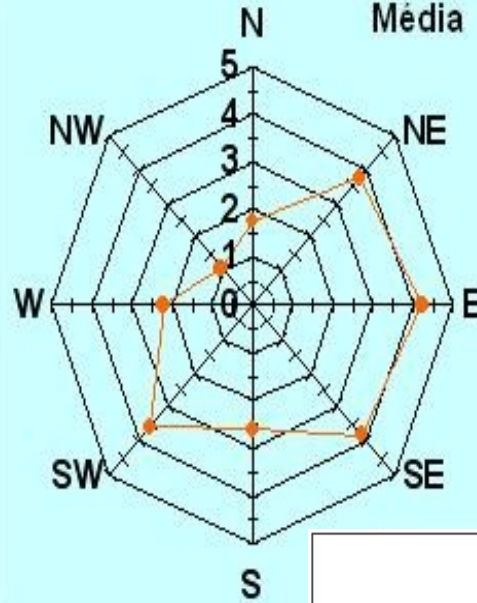
Diagramas polares (tipo “radar”)

Frequência das direções

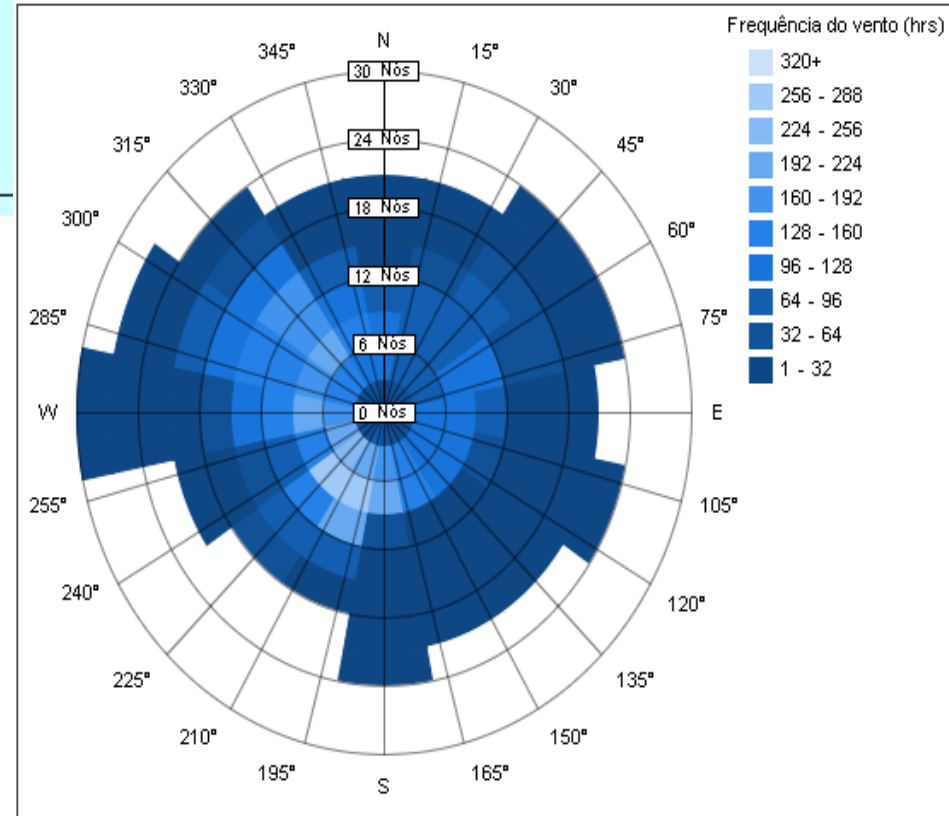


Calmos: 2%

Velocidade Média

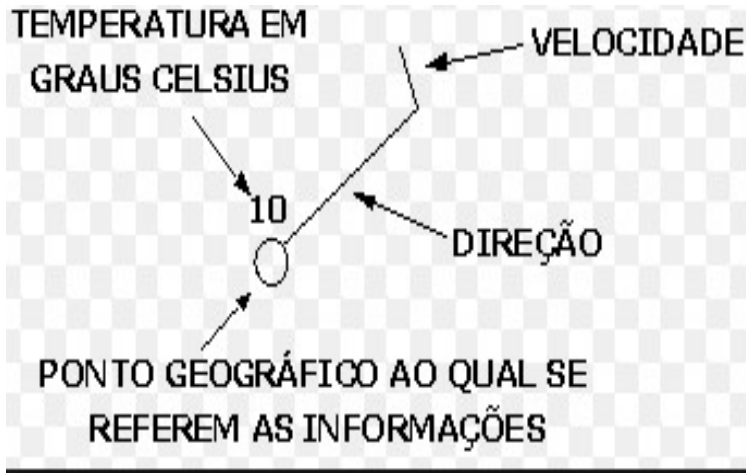


Diagramas polares (tipo “radar”)



Vento

Raque (DD) e barbela de vento (VV) → cartas sinóticas



ISOLINHAS

DD → Isogônicas

VV → Isotacas

Velocidade em m/s

Velocidade em nós (Kt)

0,5 - 1



1 - 2

1,5 - 3,5



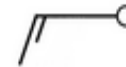
3 - 7

4 - 6



8 - 12

6,5 - 8,5



13 - 17

9 - 11



18 > - 22

11,5 - 13,5



23 - 27

14 - 16



28 - 32

16,5 - 18,5



33 - 37

19 - 21



38 - 42

21,5 - 23,5



43 - 47

24 - 26



48 - 52

A Escala Beaufort de Ventos - The Beaufort Wind Scale

- Projeto Proantar Meteoro -

Beaufiab.doc as01020

Beaufort	Condição Condition	Vento, m/s Wind, m/s	Vento, km/h Wind, km/h	Vento, nós Wind, kt	Efeitos observados em terra e no mar Observed effects on land and at sea
0	Calma Calm	< 0,3	< 01	< 01	Fumaça sobe verticalmente; nada se move com o vento. Mar como um espelho. Smoke rises vertically; no movements because of the wind. Sea as a mirror.
1	Aragem Light Air	0,3 – 1,5	01 – 05	01 – 03	Direção do vento dada pela fumaça; cataventos não se movem. Ondinhas escama de peixe. Smoke drift shows wind direction; wind sensors stand still. Wavelets as fish scales
2	Brisa Leve Light Breeze	1,6 – 3,3	06 – 11	04 - 06	Folhas e pequenos arbustos movendo-se; sente-se o vento no rosto. Ondinhas de 20 cm. Leaves rustle; small twigs move; wind felt on face. Wavelets with 20 cm.
3	Brisa Fraca Gentle Breeze	3,4 – 5,4	12 – 19	07 - 10	Folhas e pequenos arbustos em agitação contínua; bandeiras abrindo. Ondinhas ainda não quebram, c/ 60 cm. Leaves and small twigs in constant motion; blows up dry leaves. Small waves that do not break, up to 60 cm.
4	Brisa Moderada Moderate Breeze	5,5 – 7,9	20 – 28	11 - 16	Pequenos galhos em movimento; poeira e papéis levantados. Ondinhas iniciando a formar espuma, mas ainda sem quebrar, com até 1m. Moves small branches; raises dust and paper. Waves display surf but do not break, with about 1m.
5	Brisa Forte Fresh Breeze	8,0 – 10,7	29 – 38	17 - 21	Galhos grandes e pequenas árvores começam a mover-se. Ondas com cristas, “carneirinhos”. Large branches and small trees begin to sway. Crested waves form.
6	Vento Fresco Strong Breeze	10,8 – 13,8	39 – 49	22 - 27	Galhos grandes de árvores agitados; fios de postes assobiam; difícil usar guarda-chuva. Ondas mais longas se formam, com até 3 metros. Veleiros usam rizo 2 nas velas. Large branches in continuous motion; electric wires whistle; umbrella use impaired. Longer waves formed, up to 3m. Sailig boats lower sails 2 levels.
7	Vento Forte Moderate Gale	13,9 – 17,1	50 – 61	28 - 33	Árvores com troncos oscilam; dificuldade em caminhar contra o vento. Mar grosso com ondas de até 4 m cuja espuma é arrancada pelo vento. Barcos pequenos não navegam. Whole trees in motion; inconvenience in walking. Rough seas; 4 m waves whose crests are swept by winds producing spray clouds Small boats stay docked.
8	Ventania Fresh Gale	17,2 – 20,7	62 – 74	34 - 40	Quebram-se galhos nas árvores; difícil andar contra o vento. Ondas com 5 m cujos topos iniciam-se a quebrar, gerando nuvens brancas com o vento. Barcos permanecem no porto. Break twigs and small branches; difficult to walk. 5 waves with breaking tops and dense spray clouds; Boats remain at harbour.
9	Ventania Forte Strong Gale	20,8 – 24,4	75 – 88	41 - 47	Pequenos danos em edificações, com telhas e chaminés arrancadas. Ondas de 7 m com mar rugindo e visibilidade difícil. Looses bricks on chimneys; blows roofing slates; broken branches litter the ground. 7 m waves with roaring seas and difficult visibility.
10	Tempestade Whole Gale	24,5 – 28,4	89 – 102	48 - 55	Árvores são derrubadas; danos estruturais em edificações. Ondas de 9 m em mar revolto, perigoso e ruidoso. Trees uprooted; considerable structural damage. 9 m waves in revolt, dangerous and roaring.
11	Tempst. Violenta Storm	28,5 – 32,6	103 – 117	56 - 63	Prejuízos e perigos generalizados. Mar com ondas de 11 m e muita espuma; grande perigo para todos navios. Widespread danger and damages. Sea with 11 m waves and foam; great danger for all ships.
12	Furacão Hurricane	32,7 – 36,9	118 – 133	64 - 71	Prejuízos e destruição graves e generalizados. Mar revolto branco com ondas de 14 m e ar cheio de espuma. Severe and extensive damage. Revolt and white sea with 14 m waves air full of foam.