



Meteorologia

Aula - Pressão atmosférica e ventos

Parte 02

Prof. Reinaldo Haas
Universidade Federal de Santa
Catarina - UFSC

Leis de Movimento

Nosso entendimento porque os ventos sopram vem de estudos feitos por cientistas á muitos anos atrás. O movimento, no entanto é devido aos estudos feitos por Isaac Newton que formulou as várias leis fundamentais associadas ao movimento.

A primeira lei de Newton diz que:

Um objeto em repouso permanecerá em repouso e um objeto em movimento permanecerá em movimento, a menos que seja efetuada alguma força sobre este objeto.

A segunda Lei de Newton diz que uma força exercida em um objeto é igual sua massa vezes a aceleração produzida:

$$F = \text{massa} \times \text{aceleração}$$

A aceleração representa uma variação da velocidade (magnitude ou direção)
Para identificarmos em que direção os ventos irão soprar temos que identificar quais forças atuam no movimento do ar.

As Leis de Newton

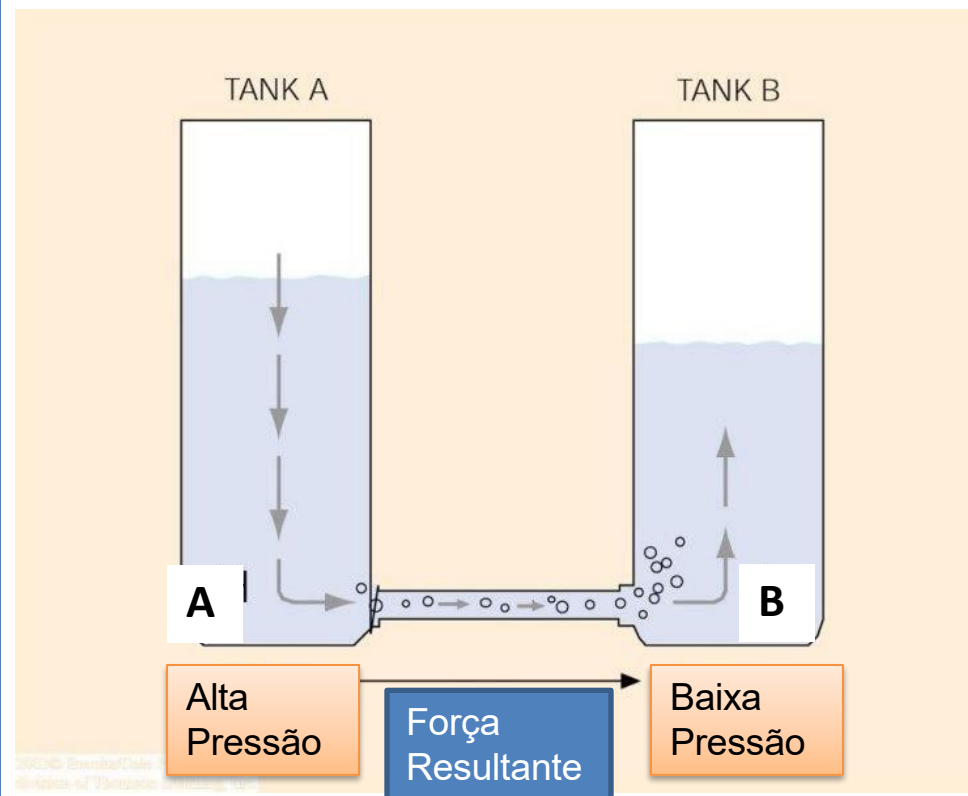
As forças que afetam o movimento do ar são:

- **Força gradiente de pressão;**
- **Força de Coriolis;**
- **Força Centrípeta;**
- **Atrito.**

Força Gradiente de pressão

Na figura ao lado temos dois tanques que estão conectados. O tanque **A** possui o dobro do líquido do tanque **B**. Como a pressão na base de cada tanque é proporcional ao peso de água acima, a **pressão** na base do tanque **A** é maior do que a pressão na base do tanque **B**.

Portanto, temos uma pressão maior direcionada a partir do tanque **A** para o tanque **B**.



Como **pressão** é uma **força** por unidade de área, devemos ter também uma força direcionada a partir do tanque **A** para o tanque **B**.

Esta força causa um fluxo de água do tanque **A** para o tanque **B** (da esquerda para a direita).

Quanto maior a diferença de pressão, maior a força, e a água move-se mais rápido. Da mesma forma, **diferenças de pressão atmosférica** causam movimento de ar.

A figura abaixo mostra uma região de **alta pressão** no lado esquerdo do mapa e **baixa pressão** do lado direito do mapa.

As isóbaras mostram as variações espaciais da pressão.

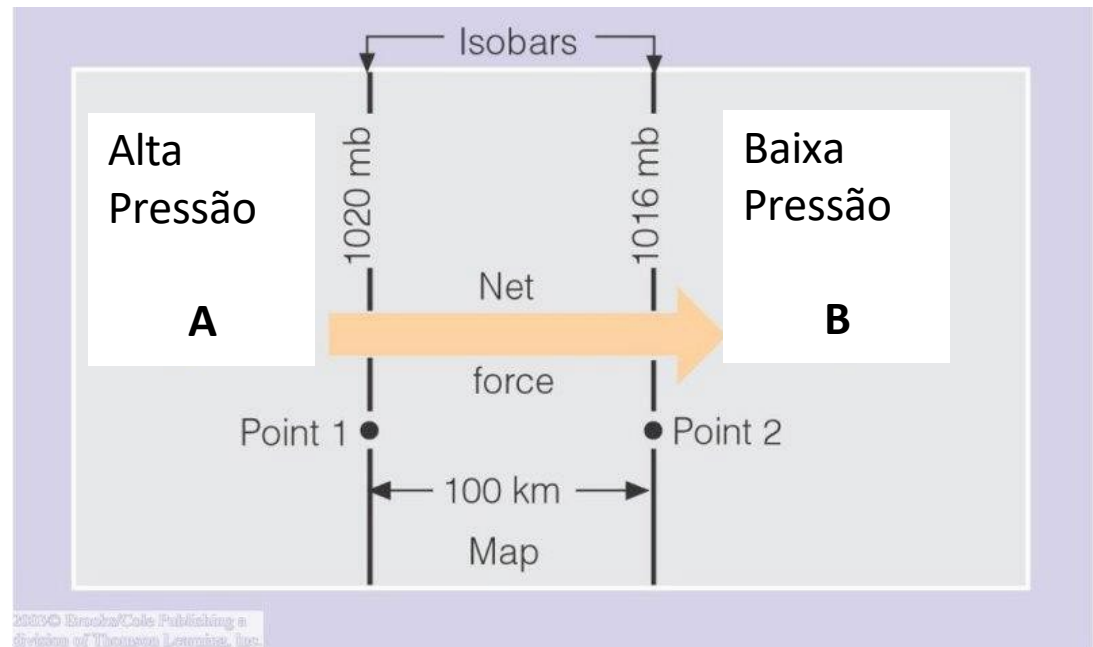
Se calcularmos a variação espacial da pressão que ocorre em uma dada distância, temos o gradiente de pressão:

Gradiente de pressão = diferença de pressão / distância;

ou **GP = Δp / d**

Na figura temos **Δp = 4 mb (=hPa)** entre os pontos 1 e 2, e **d = 100 km**.

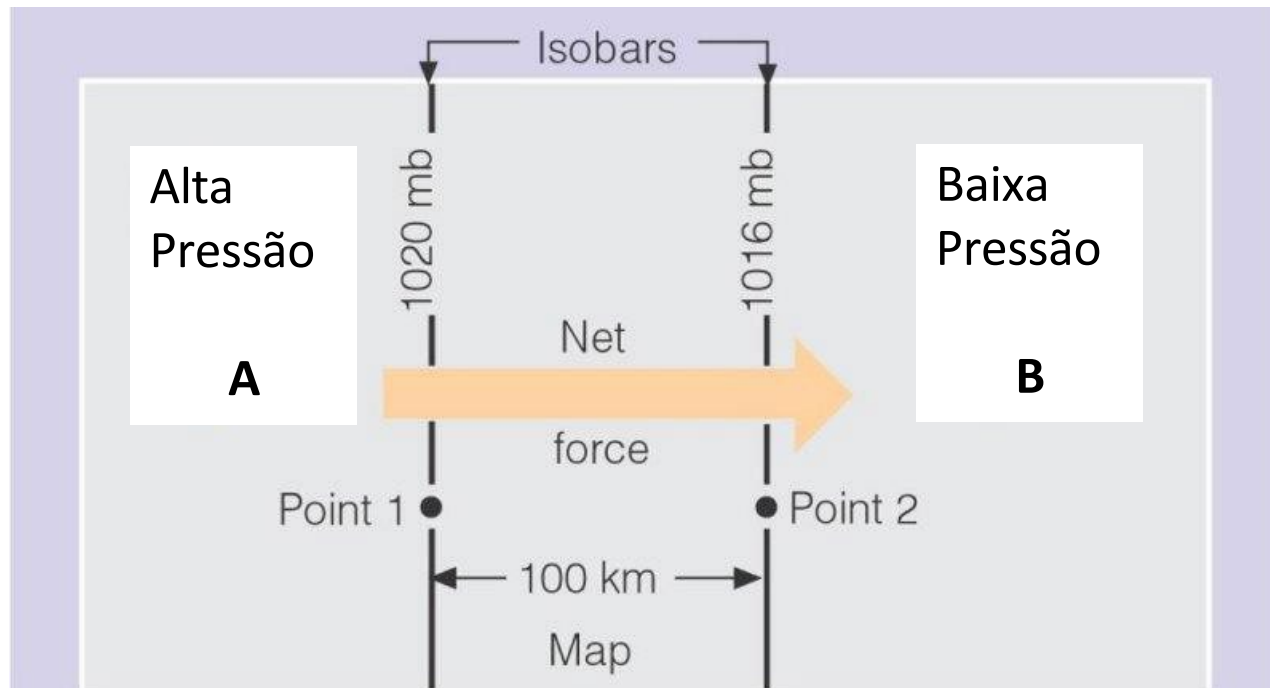
Para o caso de termos variação da pressão de forma que as isóbaras estejam mais próximas uma das outras temos um forte gradiente de pressão.



Quando existe uma diferença na pressão do ar, temos uma força resultante agindo no ar.

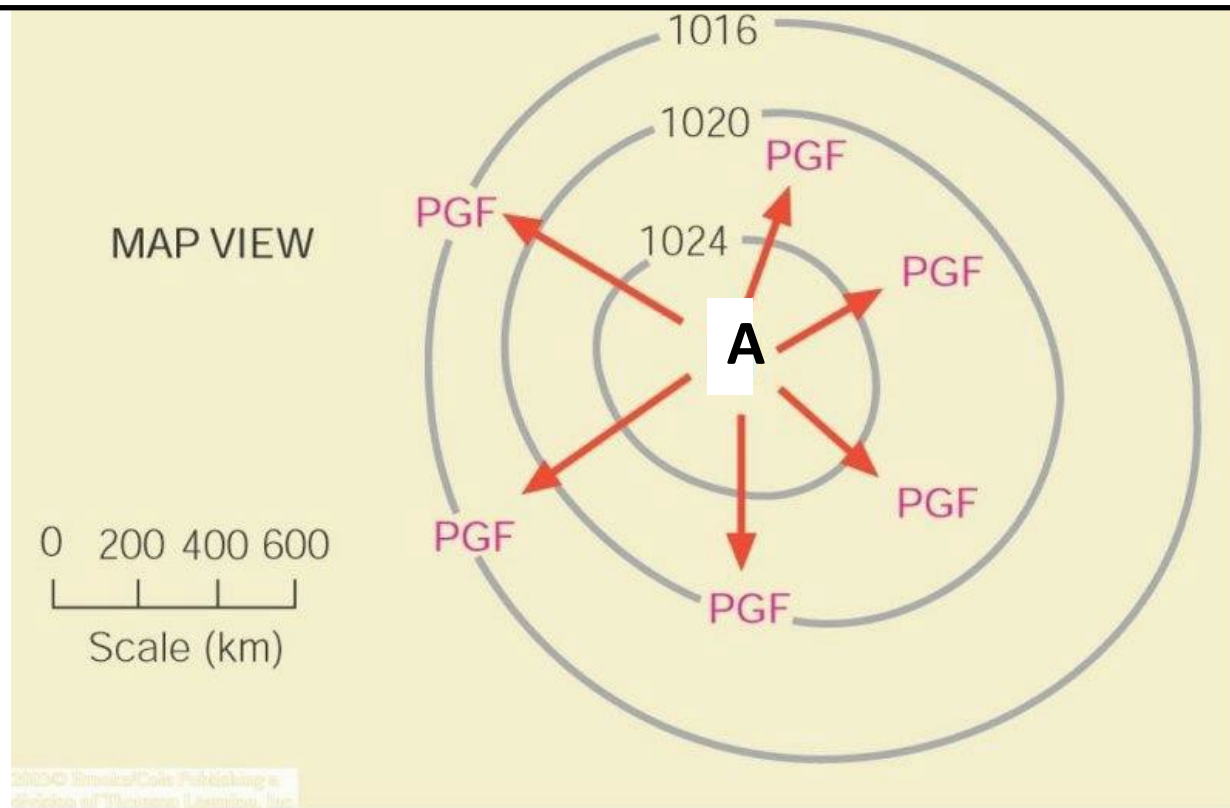
Esta força é denominada **Força Gradiente de Pressão (FGP)** e é direcionada da região de alta pressão para a região de baixa pressão.

Variações espaciais rápidas de pressão correspondem á forças mais fortes.



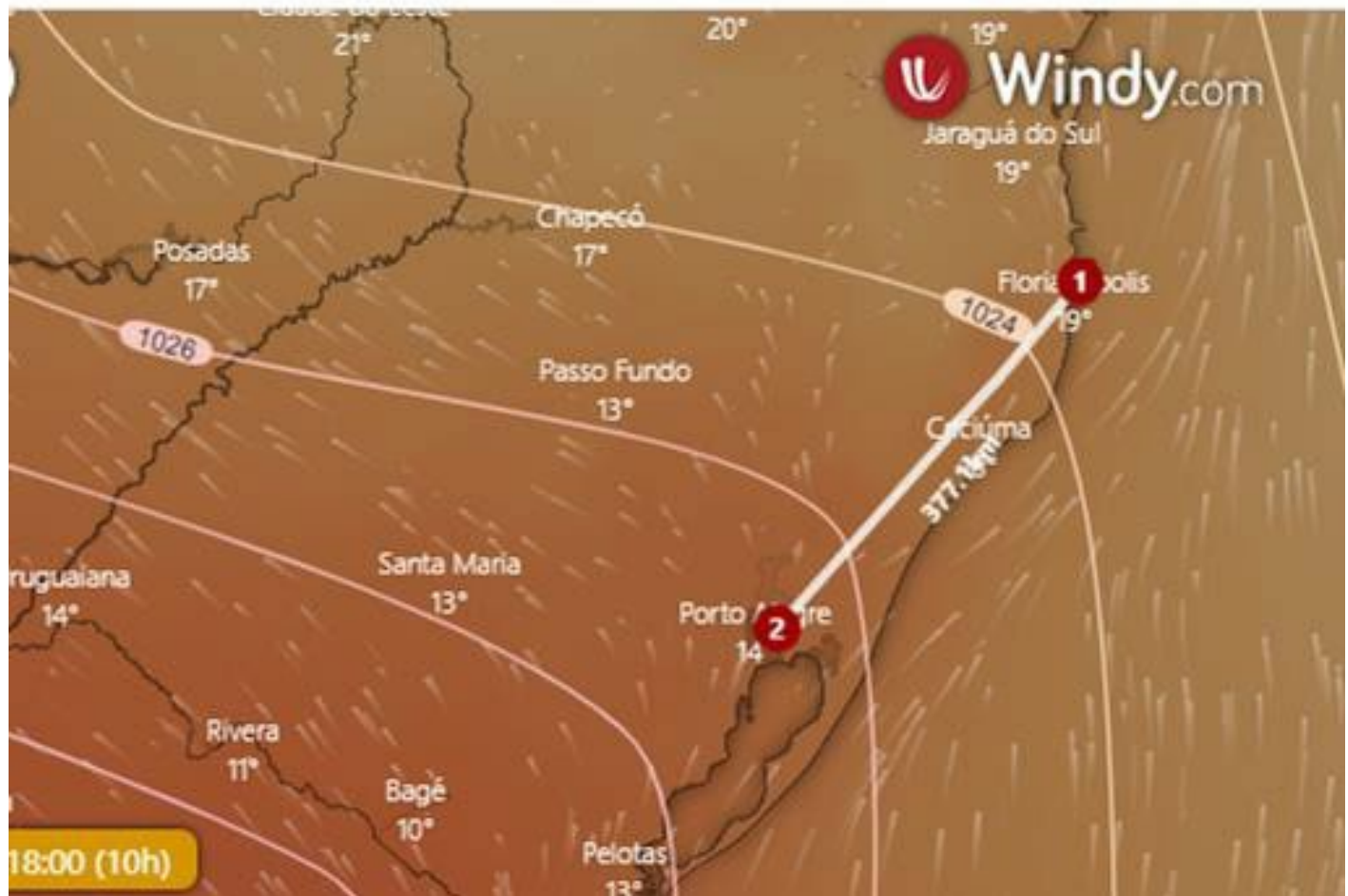
Na figura abaixo, temos as isóbaras e os vetores mostrando a direção da **força gradiente de pressão (FGP ou PGF em inglês)**. A força gradiente de pressão é a força que causa o movimento do vento.

Em um mapa meteorológico, regiões de muitas isóbaras próximas representam forte gradiente de pressão, forças atuantes fortes, e ventos fortes.



Lembre do Gradiente
de Pressão
 $GP = \Delta p / d$

Exemplo: Considere a distância entre Florianópolis e Porto Alegre de ~ 380 km e as pressões atmosféricas medidas são Florianópolis (1023 hPa) e Porto Alegre (1027 hPa).
Estime o módulo e direção da Força Gradiente de Pressão (FGP).

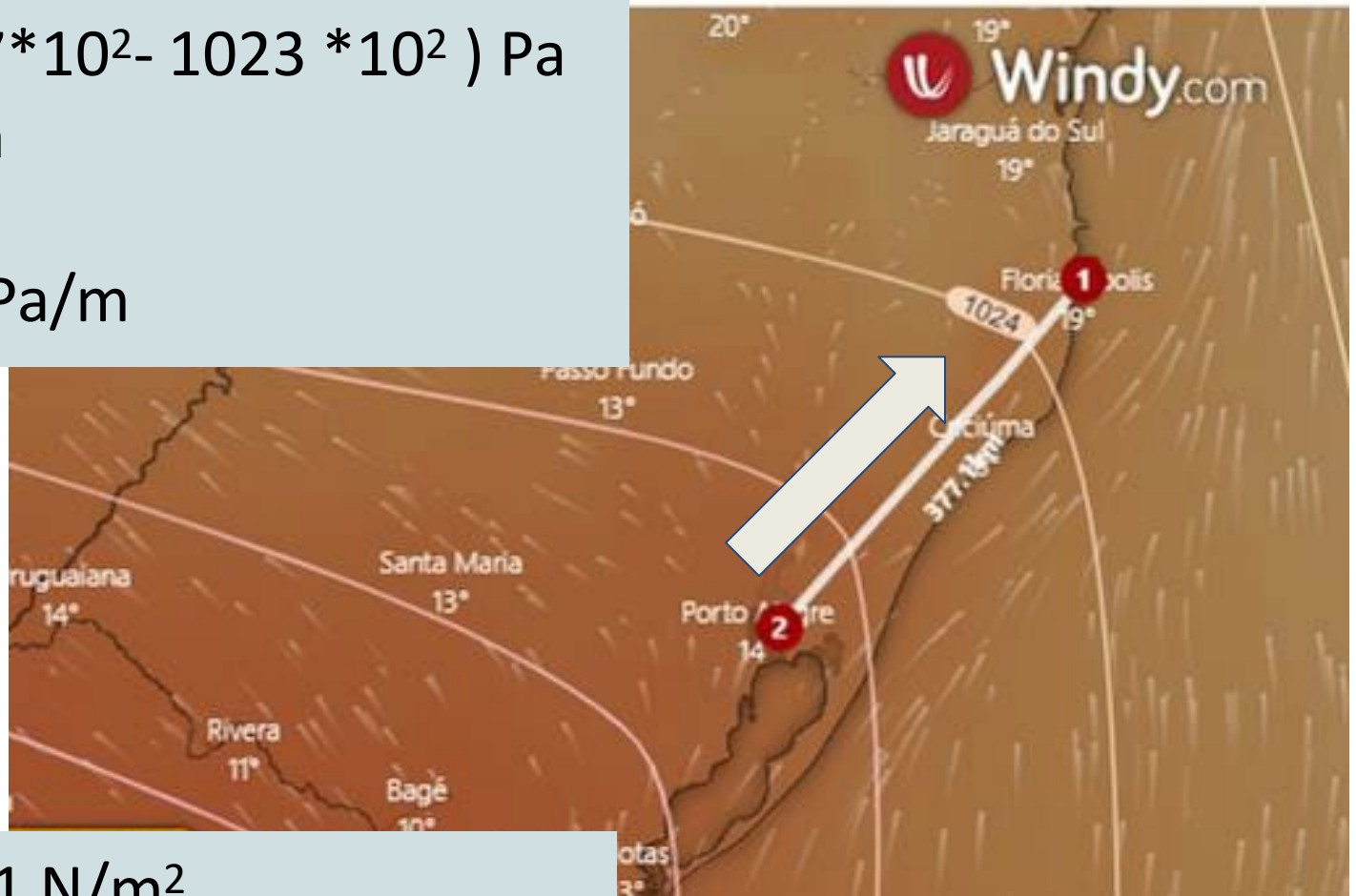


Exemplo: Considere a distância entre Florianópolis e Porto Alegre de ~ 380 km e as pressões atmosféricas medidas são Florianópolis (1023 hPa) e Porto Alegre (1027 hPa).

Estime o módulo e direção da Força Gradiente de Pressão (FGP).

$$\text{FGP} = (1027 \cdot 10^2 - 1023 \cdot 10^2) \text{ Pa} / 380\,000 \text{ m}$$

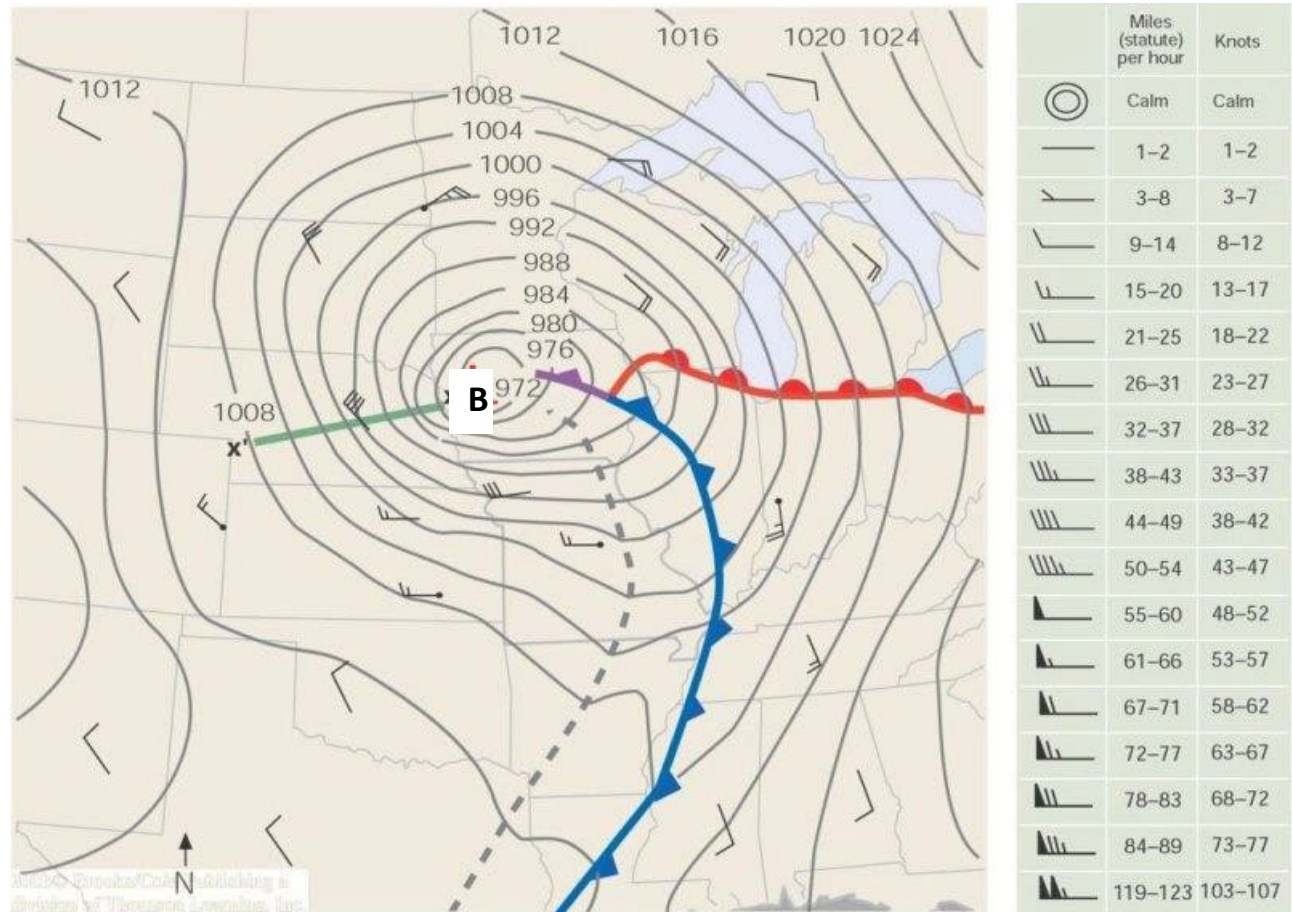
$$\text{FGP} \sim 0,01 \text{ Pa/m}$$



OBS: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

A figura abaixo mostra uma região de gradientes fortes de pressão e ventos. No exemplo, a linha verde representa uma variação de 32 hPa (mb) em uma distância de 500 km e ventos fortes (40 nós).

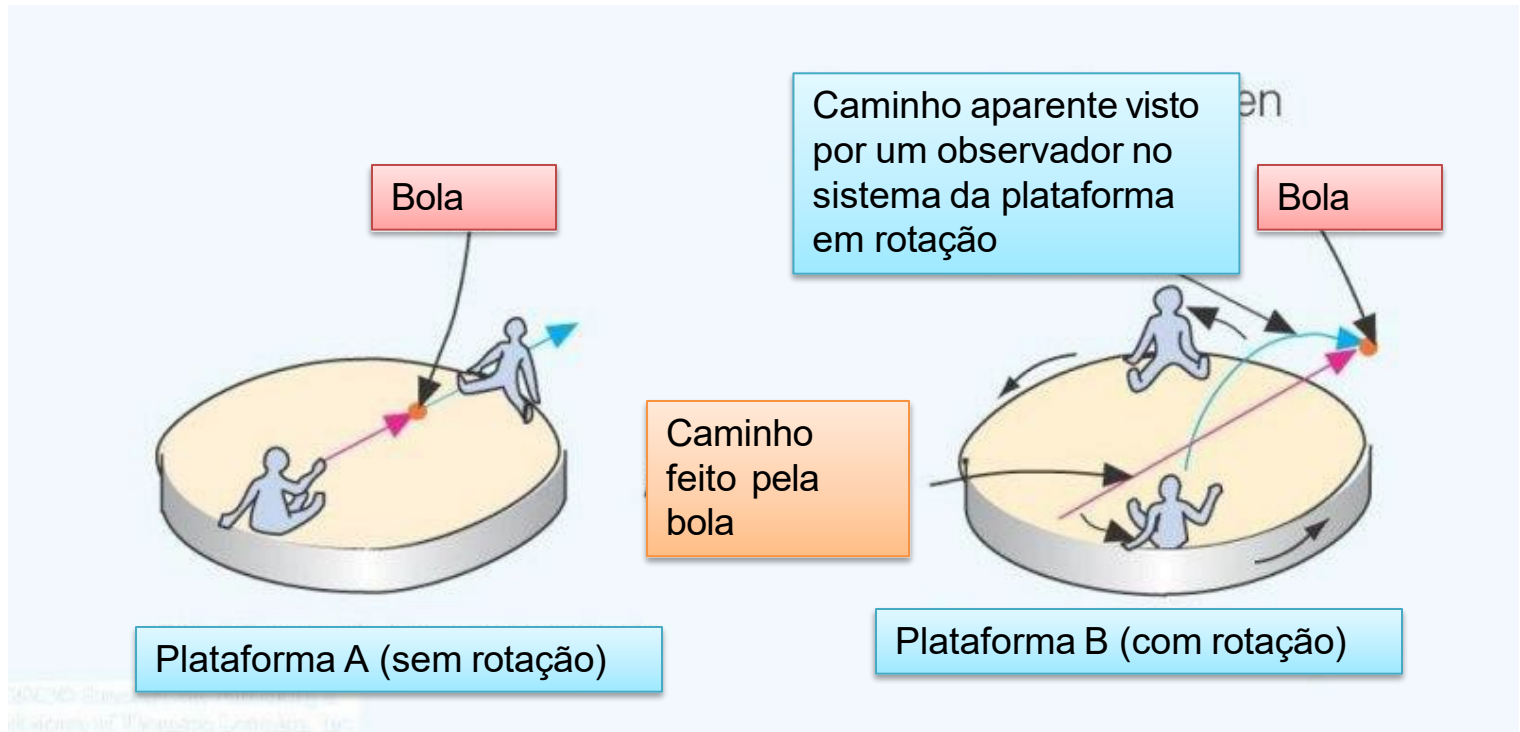
OBS: Se a força gradiente de pressão fosse a única força atuante no ar, encontraríamos sempre ventos indo de regiões de alta pressão para baixa pressão. No entanto, temos também uma deflexão dos ventos causada pela **força de Coriolis**.



A **força de Coriolis** descreve uma força aparente que ocorre devido á rotação da Terra.

Para entender como ela funciona, considere duas pessoas em uma roda giratória. Se a plataforma não gira quando uma pessoa joga uma bola para outra, esta bola segue uma linha reta.

Se considerarmos uma **rotação** da plataforma no sentido anti-horário (o mesmo da terra, visto a partir do polo norte), a bola aparentemente sofre uma virada para a direita.



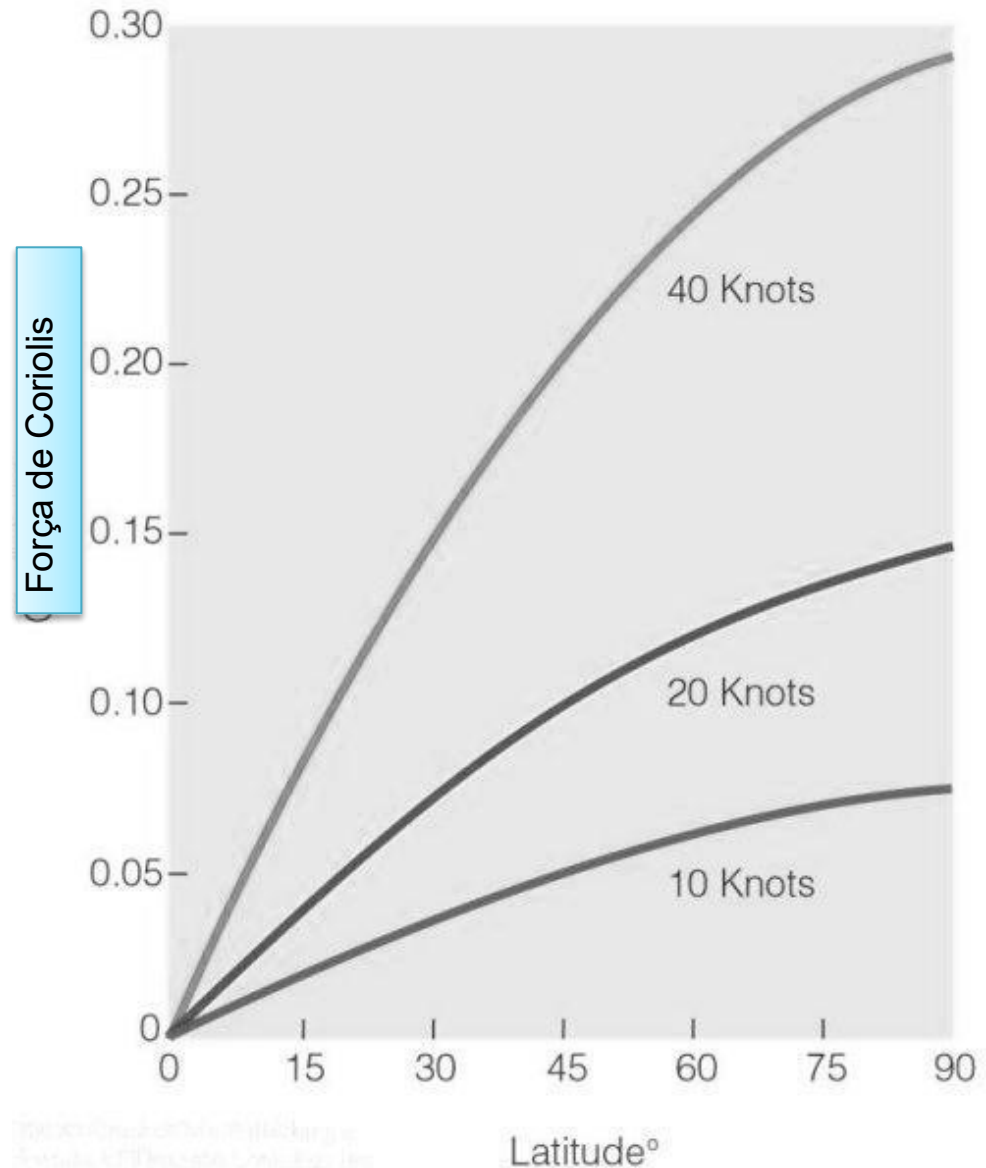
A magnitude da força de **Coriolis** varia com a velocidade e com a latitude.

A figura ao lado mostra a variação da Força de **Coriolis** para diferentes velocidades em função da latitude.

Conforme o vento intensifica a força de **Coriolis fica mais forte.**

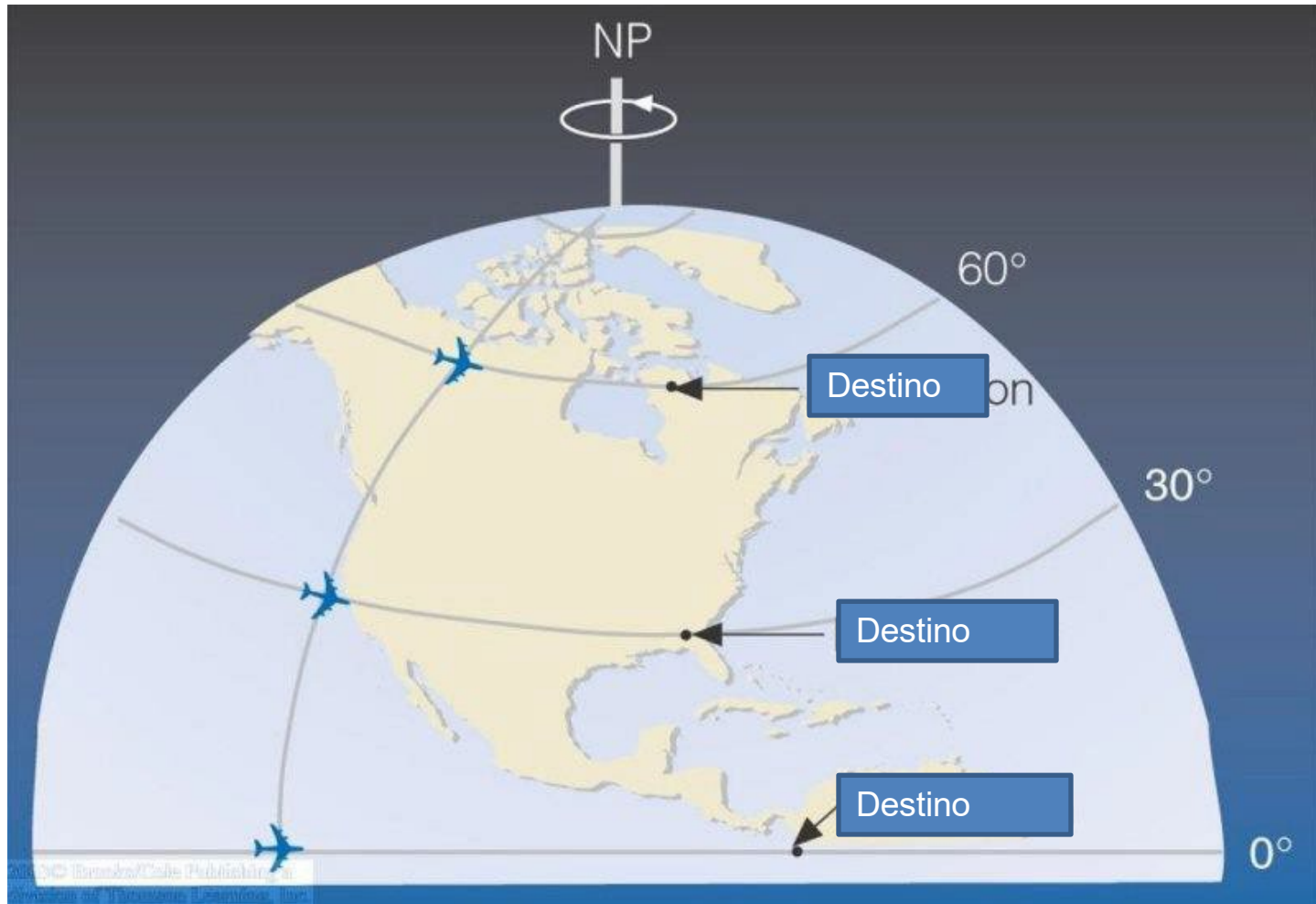
Quanto mais forte o vento, maior a deflexão.

Note também que, a força de **Coriolis** para todas as velocidades de vento passa de um valor nulo no equador até um valor **máximo nos polos**.

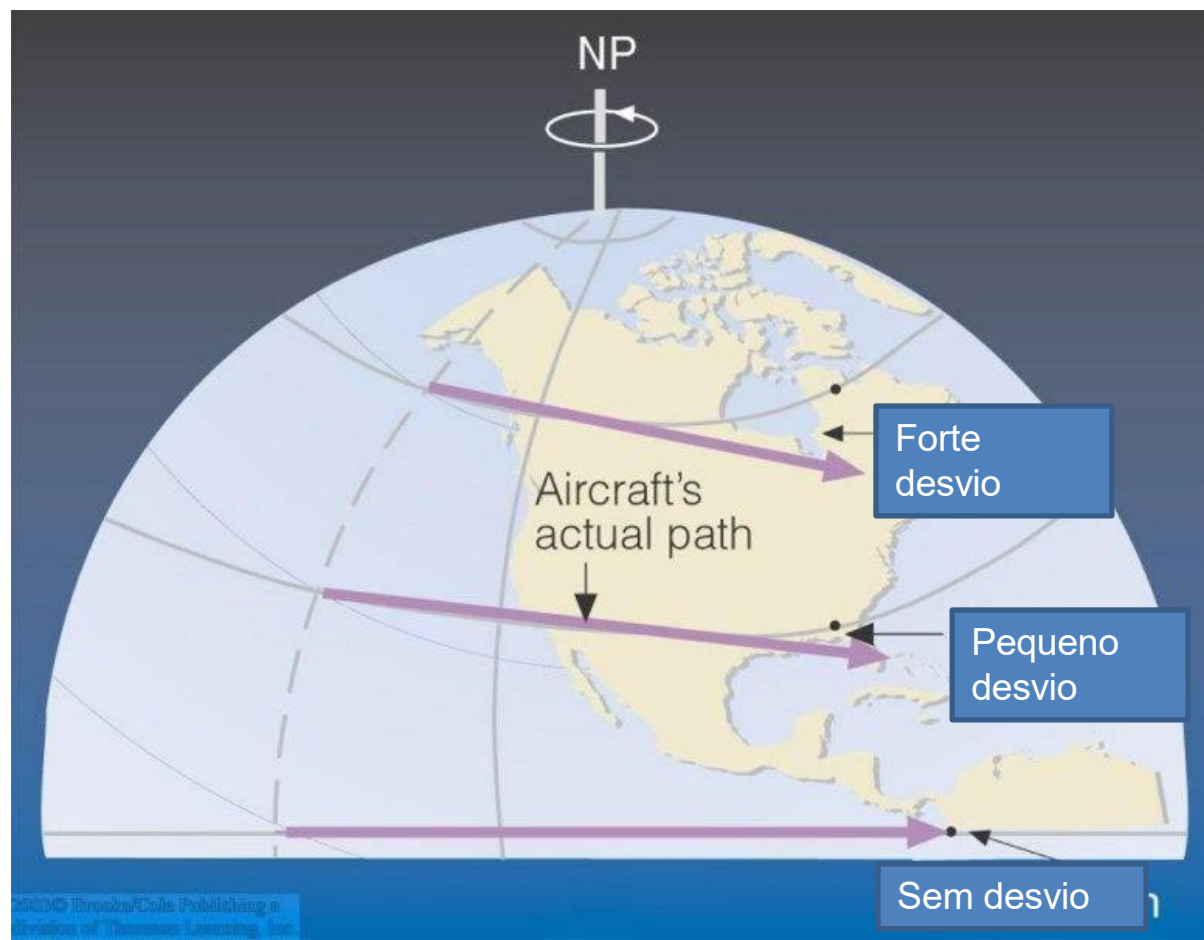


Imagine 03 **aviões**, cada um em diferentes latitudes, viajando ao longo de uma linha reta sem interferência de outras forças horizontais.

O destino dos aviões é em direção ao leste.



A Terra rotaciona abaixo dos aviões causando uma ligeira mudança de direção nas latitudes de 30 e 60 graus para um observador no espaço. O desvio é maior próximo dos pólos e não ocorre na linha do Equador. A força de **Coriolis** tem um efeito maior no avião que está localizado nas latitudes mais altas, e menor no avião localizado em baixas latitudes.

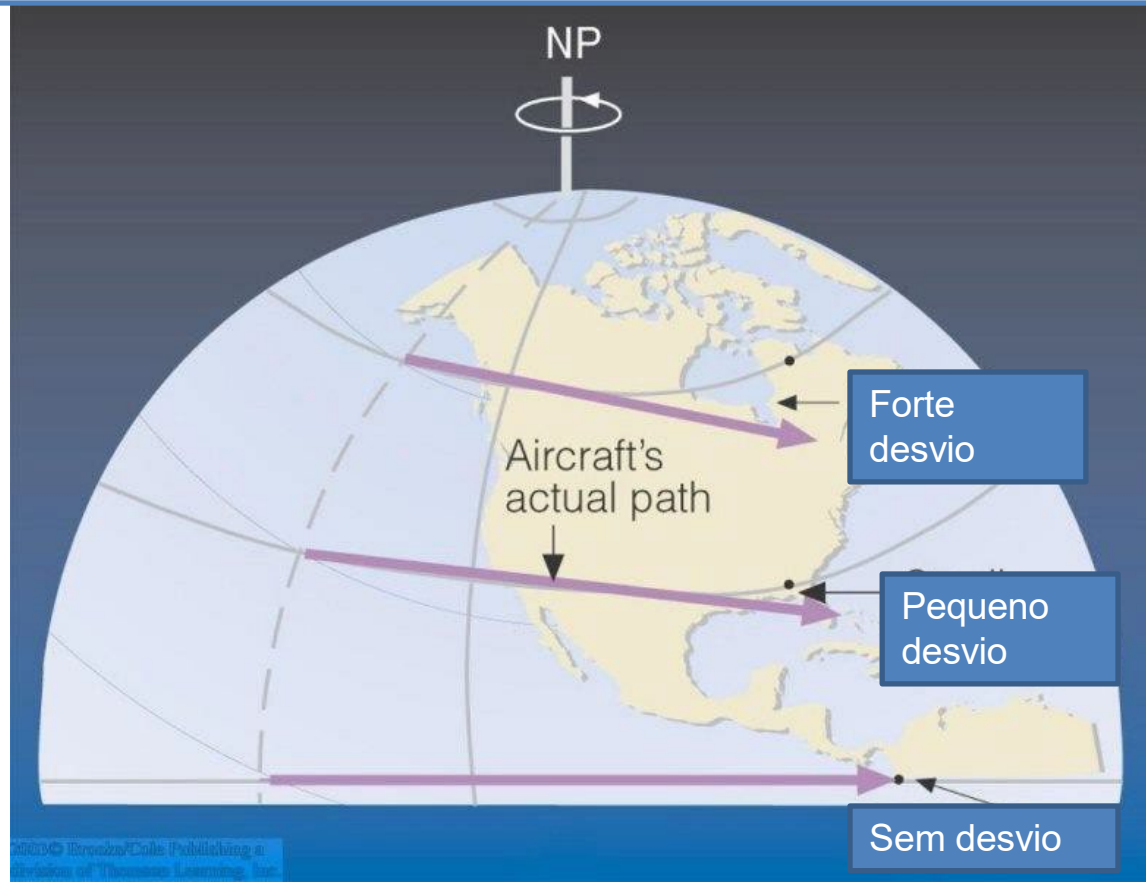


O mesmo efeito nos aviões ocorre com os **ventos**.

Em resumo, para um observador na Terra, objetos movendo-se em qualquer direção no hemisfério norte desviam-se para a direita e no hemisfério sul desviam-se para a esquerda.

A deflexão (**Coriolis**) depende:

- (i) da rotação da terra,
- (ii) da latitude, e
- (iii) da velocidade do objeto (e. g. ventos).



Breve resumo

Vimos que:

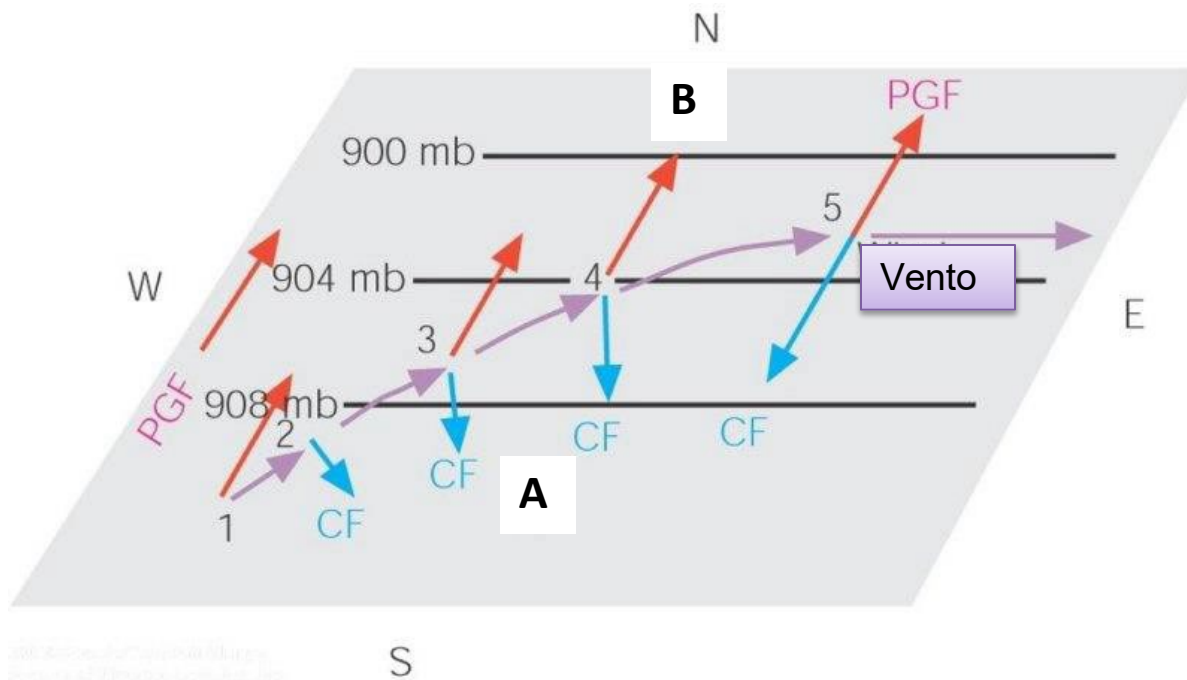
- A **pressão atmosférica** é a pressão exercida pela massa de ar acima de uma região;
- Uma **mudança na pressão** do ar na superfície pode ocorrer através da mudança da massa de ar acima de uma superfície;
- **Aquecendo** ou resfriando colunas de ar pode estabelecer variações horizontais na pressão atmosférica no alto e na superfície;
- Uma diferença horizontal na pressão do ar produz uma **força** de gradiente de pressão horizontal;
- A **força gradiente de pressão** é sempre direcionada a partir de uma região de alta pressão para uma região de baixa pressão, e é a força de gradiente de pressão que causa os movimentos do vento;
- **Isóbaras** muito próximas em uma carta meteorológica indica forte força gradiente de pressão e ventos intensos;
- A **força de Coriolis** causa uma deflexão nos ventos para a direita no hemisfério norte e para a esquerda no hemisfério sul.

A figura abaixo apresenta a evolução dos vetores de **vento** e os respectivos vetores da **força gradiente de pressão** (vermelho) e de **Coriolis** (azul) para um mapa de isóbaras do hemisfério norte.

As isóbaras indicam que temos uma **força gradiente de pressão (PGF)** direcionada de sul para norte.

Este mapa é de um nível atmosférico **acima da camada de atrito** ($\sim 1\text{km}$) onde a superfície não tem forte influência nos campos de vento.

Podemos nos perguntar, porque temos o vento apontando de oeste para leste?

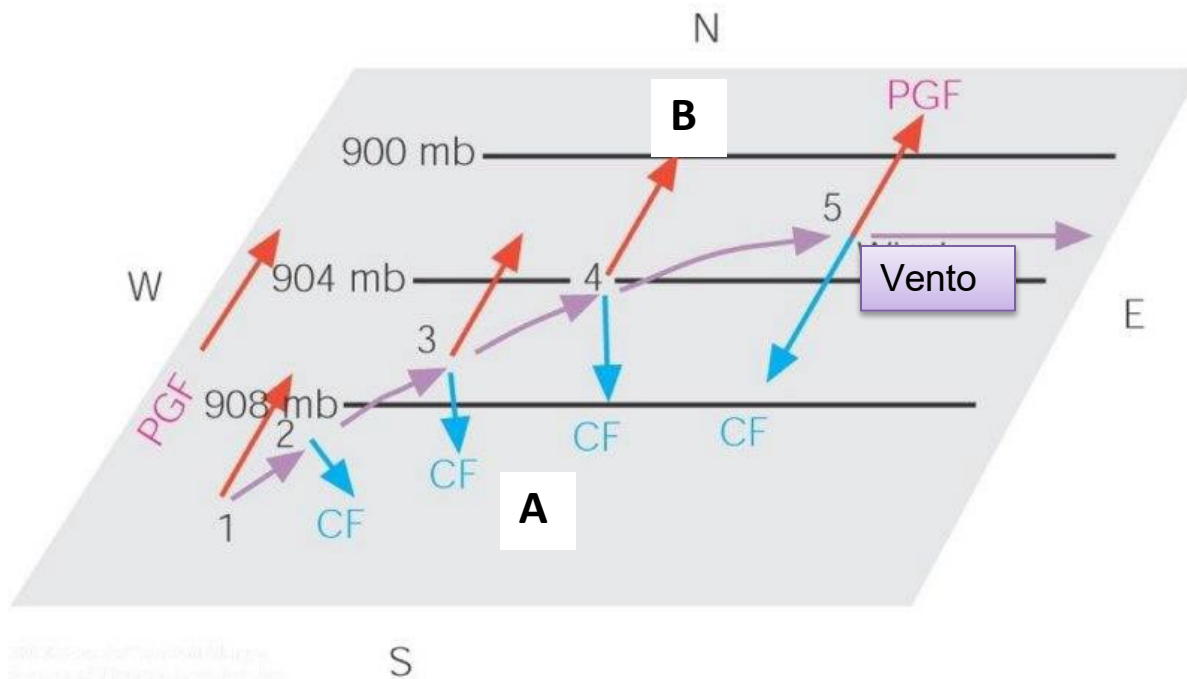


Na posição 1 a **força gradiente de pressão** age sobre a parcela de ar acelerando-a para o norte em direção à região de baixa pressão.

No entanto, no momento em que o ar começa a mover-se temos a deflexão devido à **força de Coriolis**.

Conforme a velocidade do ar aumenta, (posições 2, 3, 4) a magnitude da força de **Coriolis** aumenta, conforme representada pelos vetores maiores (azuis), mudando o vento cada vez mais para a direita.

Em um dado instante o vento aumenta de velocidade até que a **força de Coriolis se iguala com a força gradiente de pressão**.



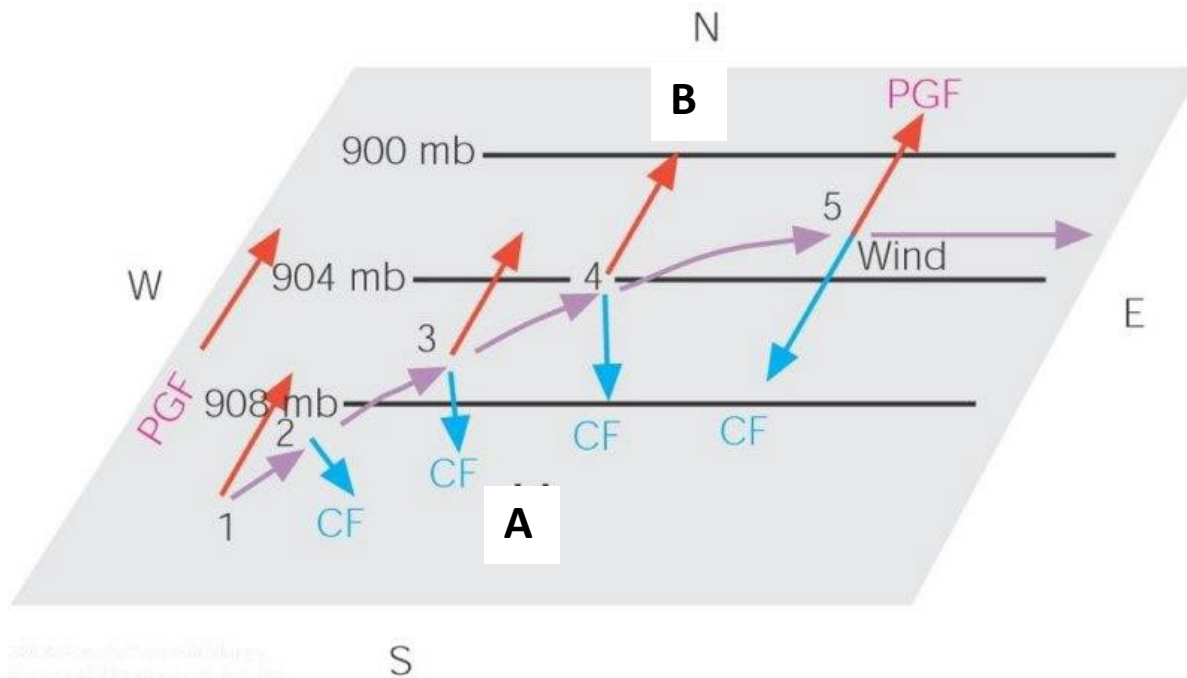
Neste ponto (posição 5) o vento não sofre mais aceleração pois **o balanço das forças** é nulo.

Neste ponto o vento sopra **paralelo às isóbaras** e a uma velocidade constante.

Este fluxo do ar é denominado **vento geostrófico**.

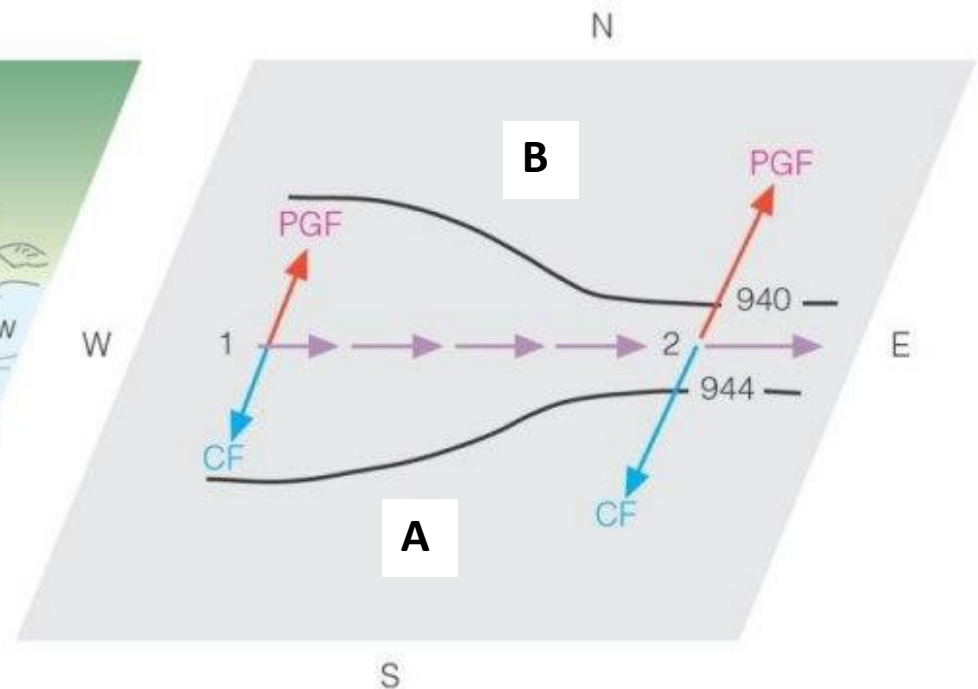
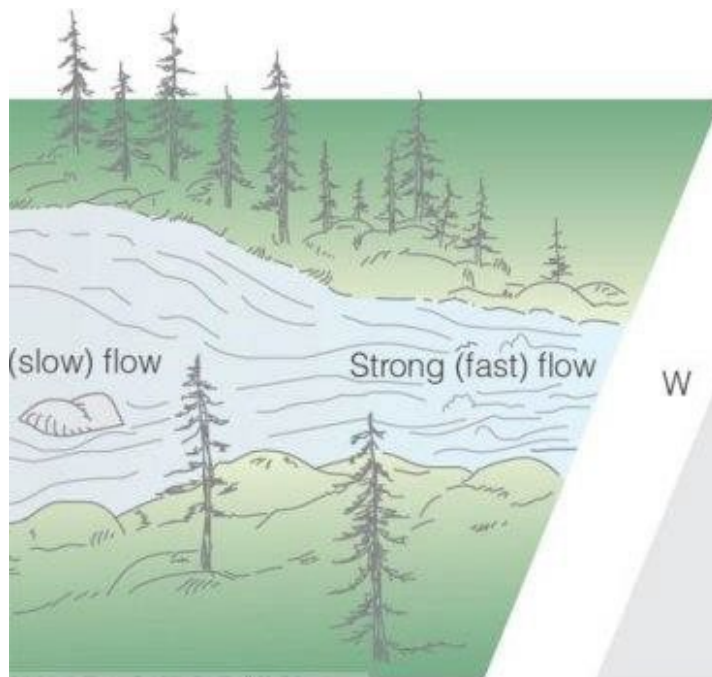
Note que no hemisfério norte o vento geostrófico sopra de tal forma que a região de baixa pressão á sua esquerda e sua alta pressão á direita.

No **hemisfério sul** a região de baixa pressão fica á **direita** de um observador.



Em vários locais onde temos **variações** espaciais de pressão, temos também variações da velocidade do **vento**.

Na figura abaixo, vemos que na posição **1** o vento tem velocidade mais baixa e na posição **2** onde as forças **gradiente de pressão** e Coriolis são mais fortes o vento é mais intenso (note o tamanho dos vetores).



No **Hemisfério Sul**, devido á rotação da terra (e do efeito Coriolis) temos o desvio do vento para a esquerda, e portanto neste caso a região de **alta pressão** fica á esquerda e a região de **baixa pressão** fica á direita.

Uma pessoa que tenha virado suas costas para o vento pode ter uma estimativa da localidade das regiões de alta e baixa pressão.



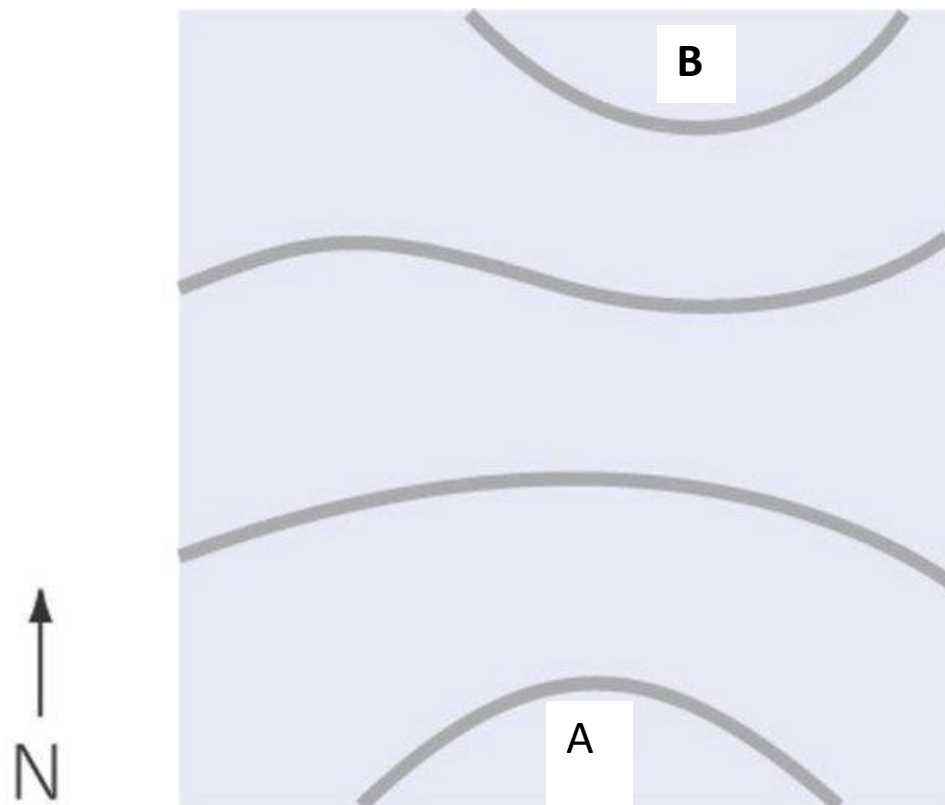
<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap7/cap7-4.html>

http://www.youtube.com/watch?v=P5A000_6lv4&feature=related

Se tivermos os campos de **isóbaras** em um mapa meteorológico podemos determinar a direção e estimar aproximadamente a intensidade do **vento geostrófico**.

Os ventos podem ser estimados a partir da distância entre as isóbaras.

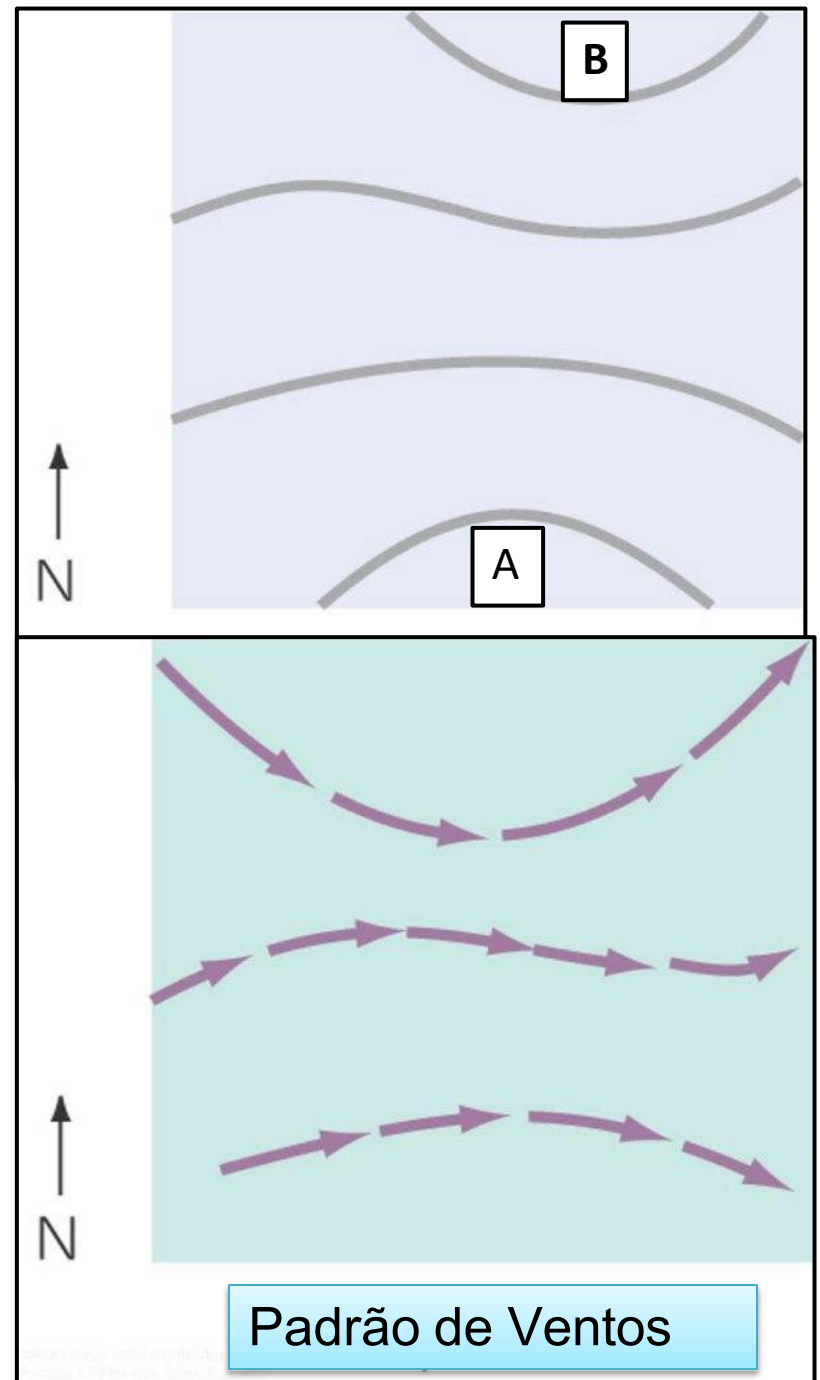
Na figura ao lado temos as regiões de alta e baixa pressão.



Padrão de Contorno das Isóbaras

Se conhecemos o contorno das **isóbaras** em um mapa de altitude, podemos inferir a direção e intensidade dos **ventos**, mesmo que não tenhamos medidas diretas de vento nestas regiões.

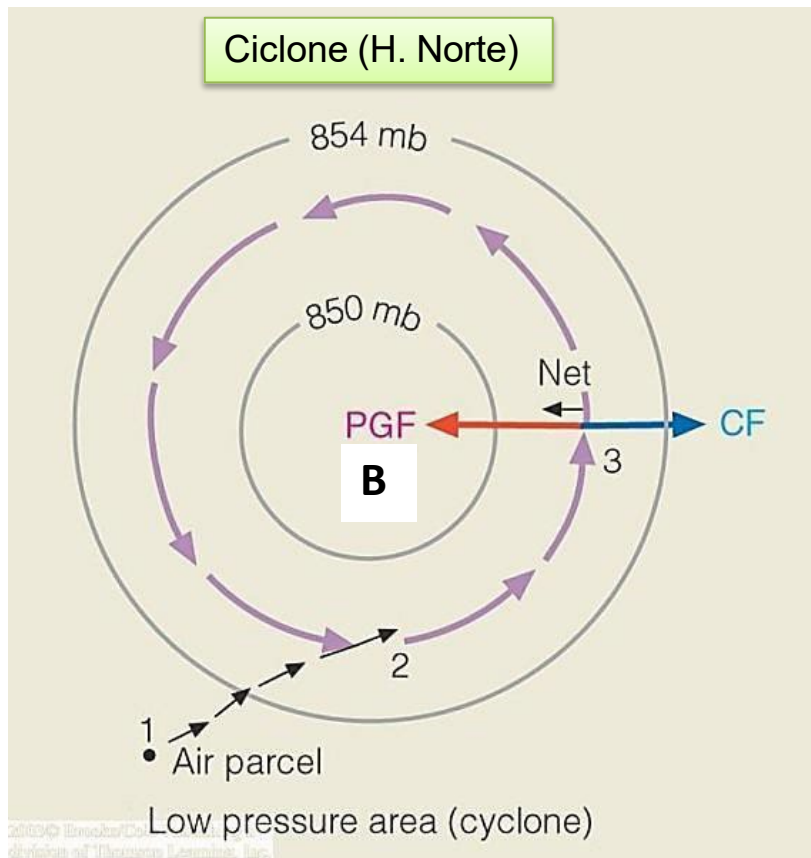
Da mesma maneira, se temos os campos de **vento**, podemos estimar os campos das **isóbaras** inclusive suas distâncias aproximadas.



Suponha que o ar está inicialmente em repouso (no ponto 1), a **força gradiente de pressão** acelera o ar para o centro da baixa e a força de **Coriolis** deflete o vento para a direita (Hemisfério Norte) até que o ar passe a mover-se paralelo às isóbaras (posição 2).

Se o vento for **geostrófico**, ele terá velocidade constante no ponto 3.

Um vento que move-se com velocidade constante paralelo às isóbaras curvas é denominado de **vento gradiente**.



Neste caso temos uma mudança na direção do vento (v) e portanto devemos ter uma aceleração. Neste caso temos uma **aceleração centrípeta** que é direcionada para o centro de baixa pressão.

Matematicamente temos que:

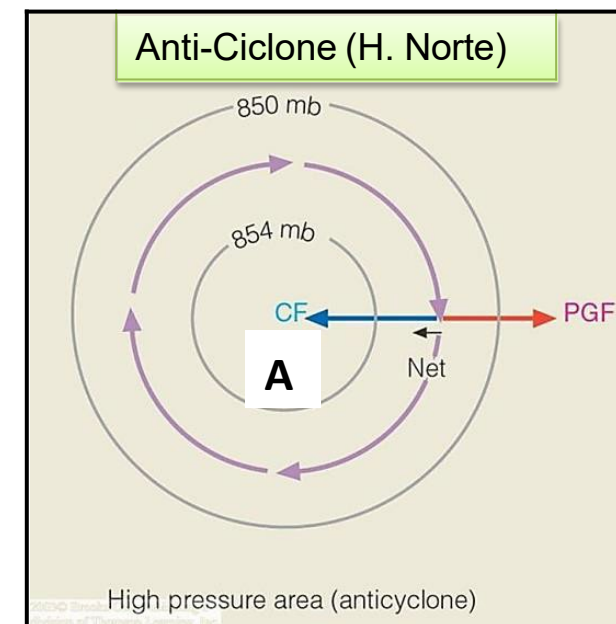
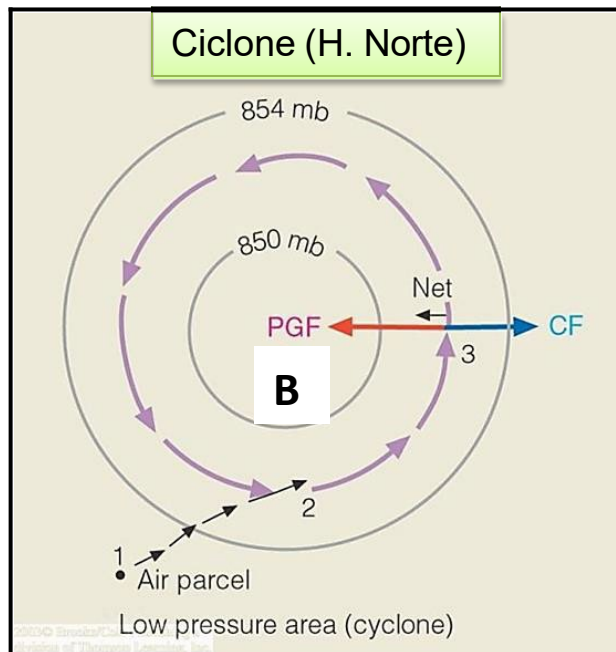
$$\text{aceleração centrípeta} = v^2/r$$

Para um **tornado** temos ventos fortes ($v = \text{grande}$) e um raio (r) pequeno e portanto a aceleração centrípeta é muito forte.

A **força centrípeta** surge da diferença entre a força gradiente de pressão e a força de Coriolis.

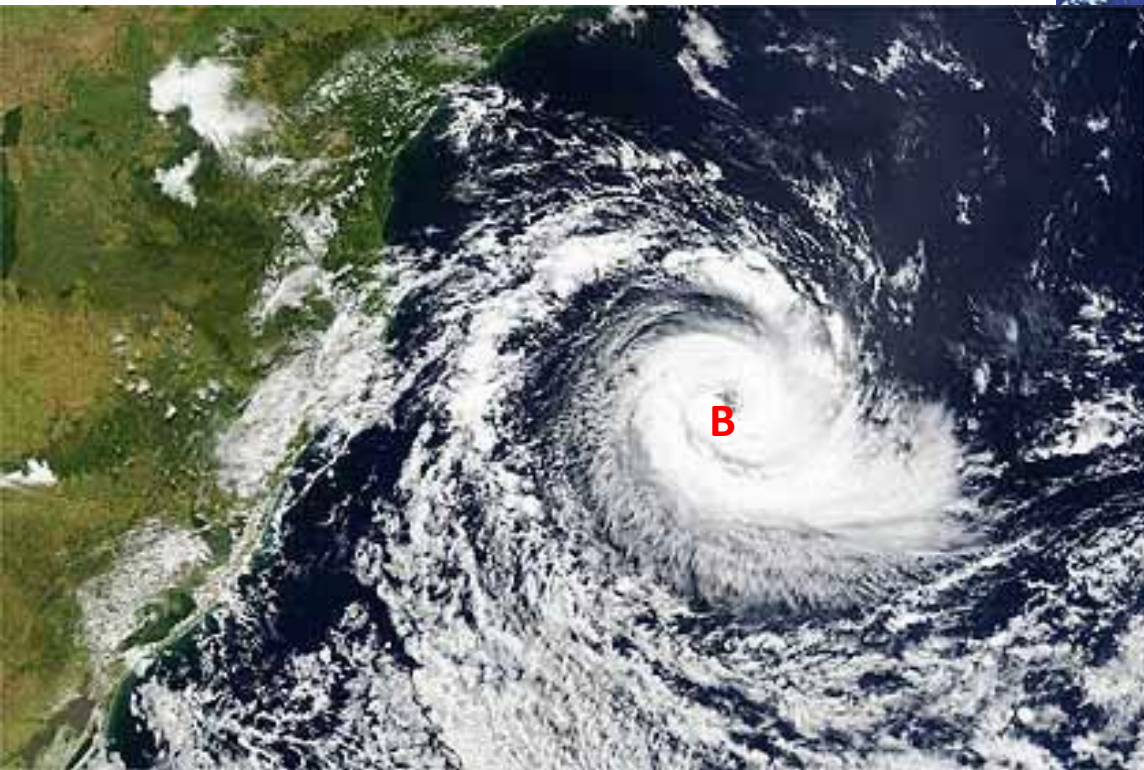
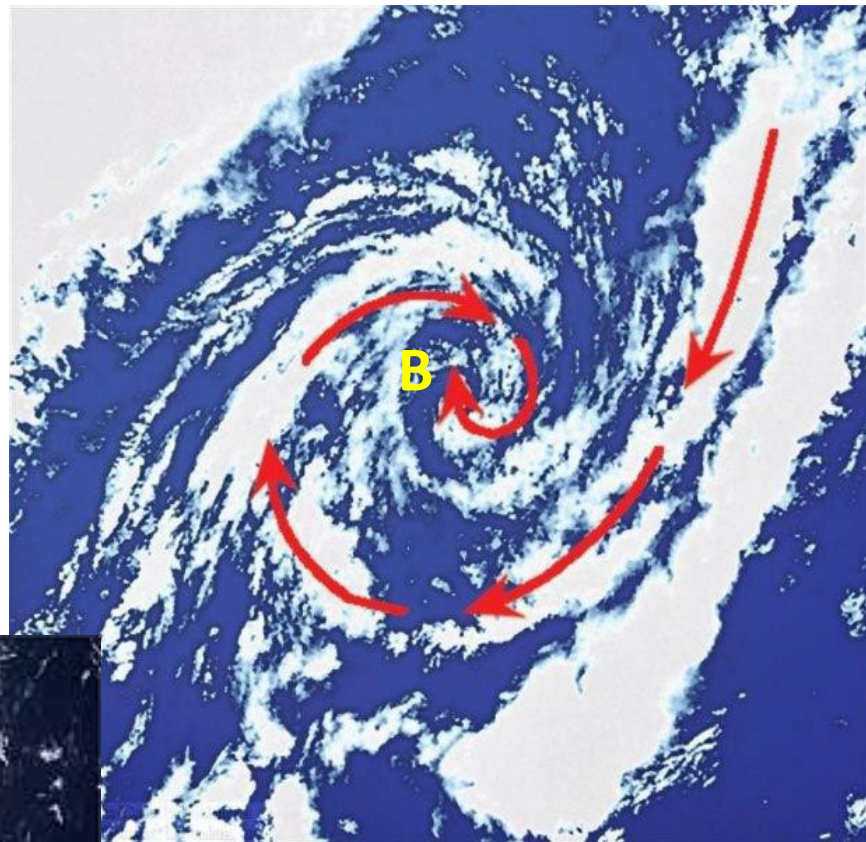
A diferença entre estas forças é uma força resultante direcionada para o centro de baixa pressão (observe a posição 3).

Esta força surge também para o caso de um fluxo do vento no sentido horário em que temos um centro de alta pressão (**hemisfério norte**).

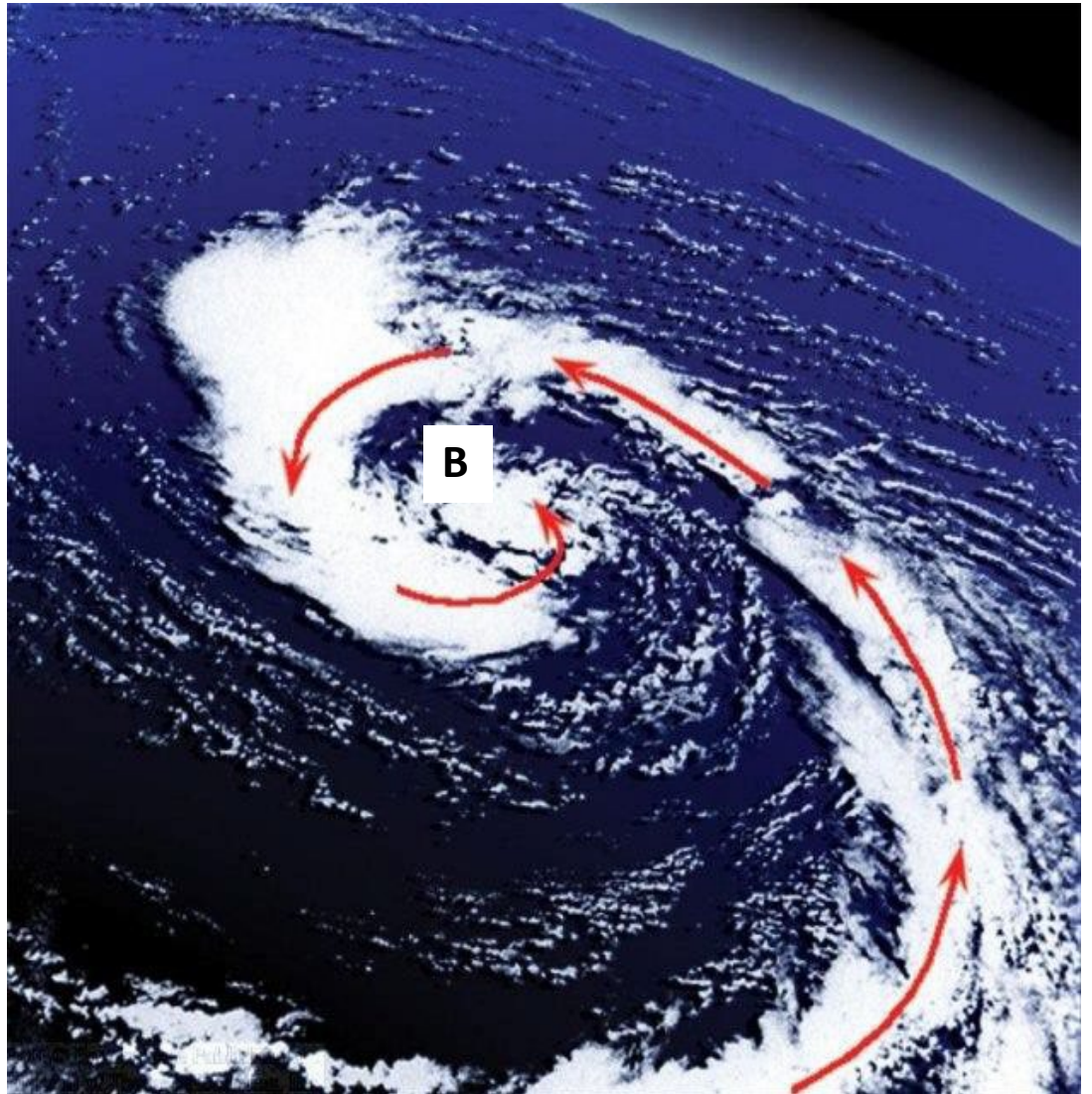


No **Hemisfério sul**, os ventos sopram no sentido horário ao redor de um centro de baixa pressão.

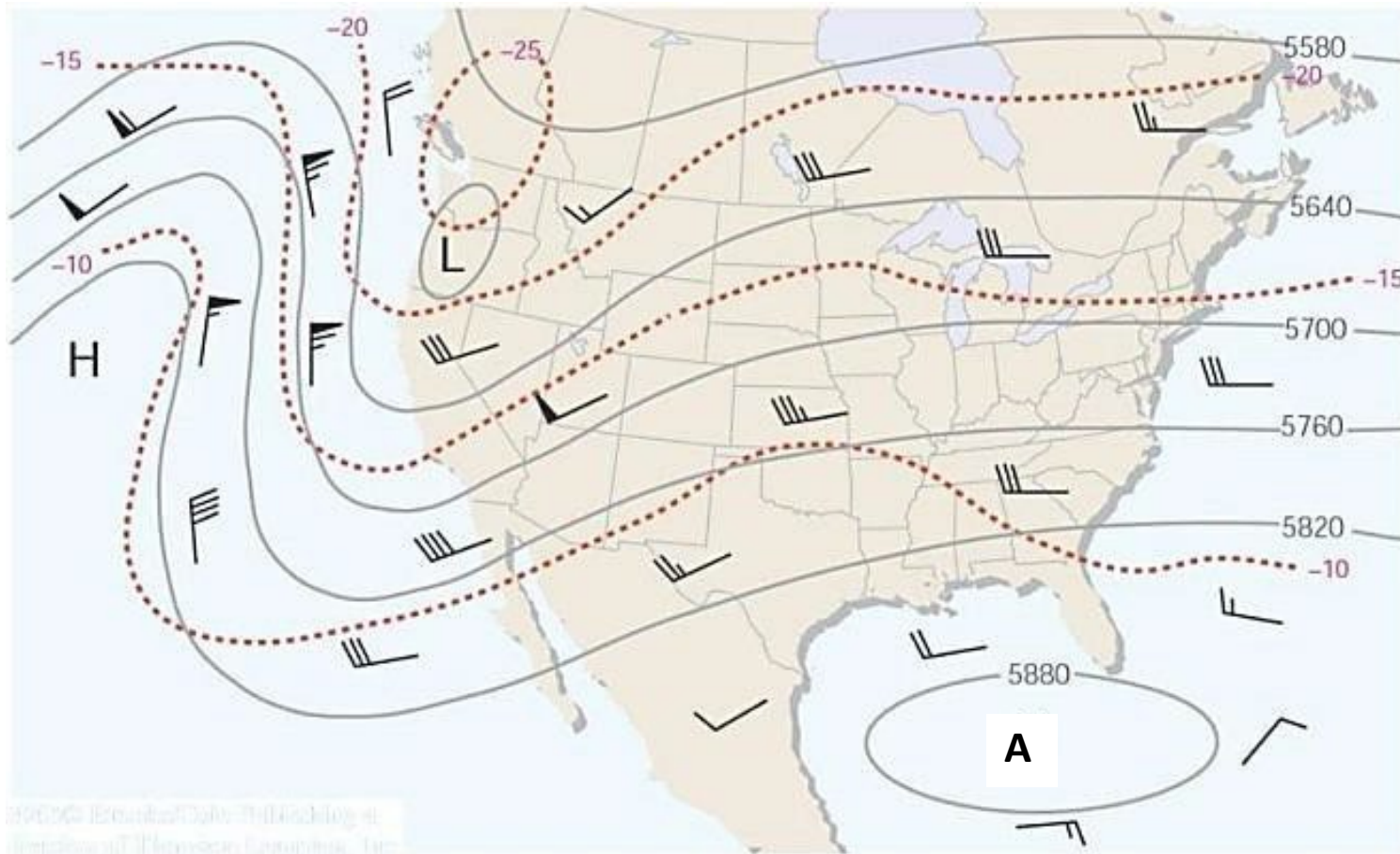
Furacão Catarina



No **hemisfério norte** os ventos sopram no sentido anti-horário ao redor de um centro de baixa pressão (**B**).



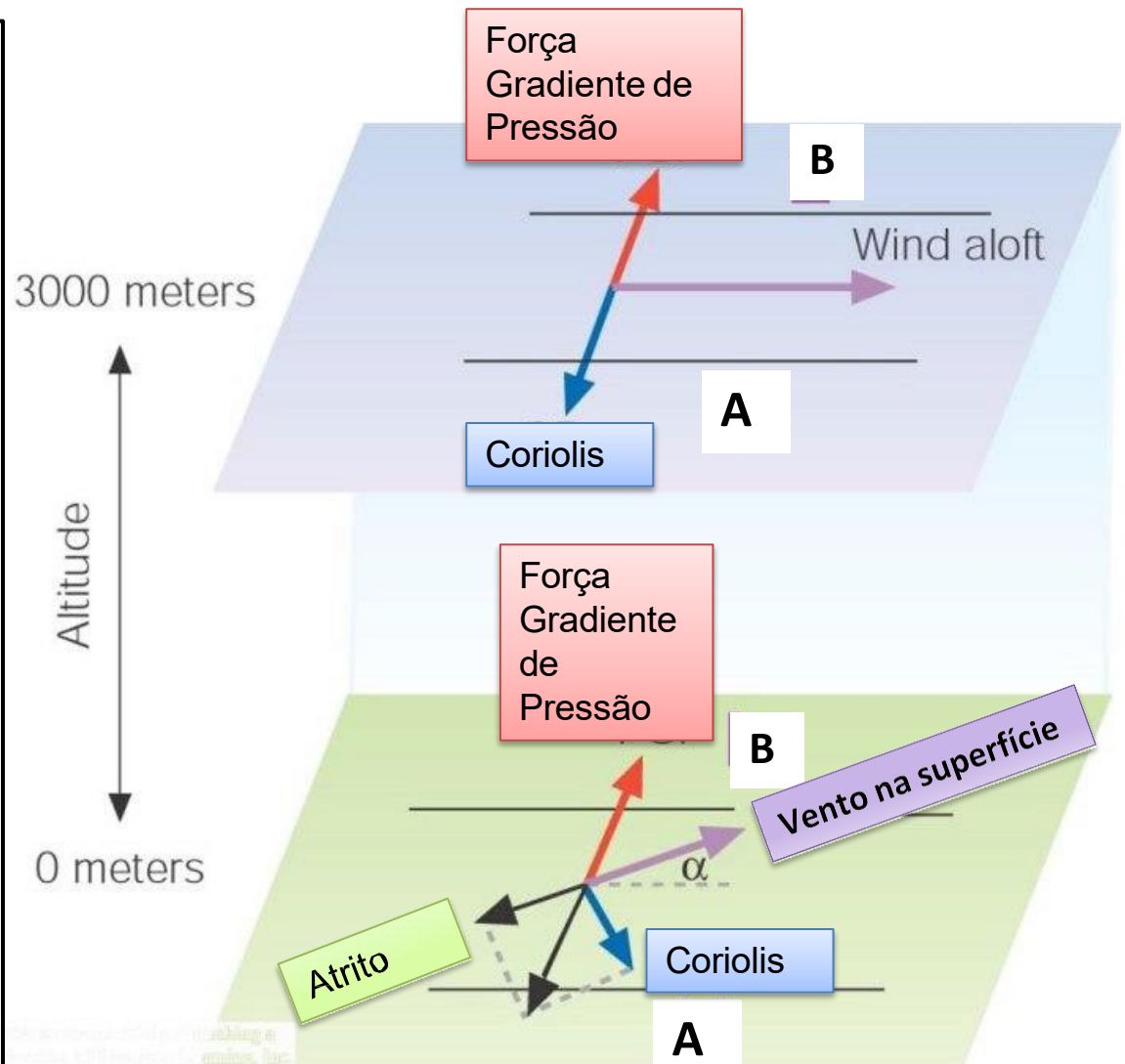
A carta meteorológica de 500 mb mostra que em geral os ventos são paralelos às isóbaras.



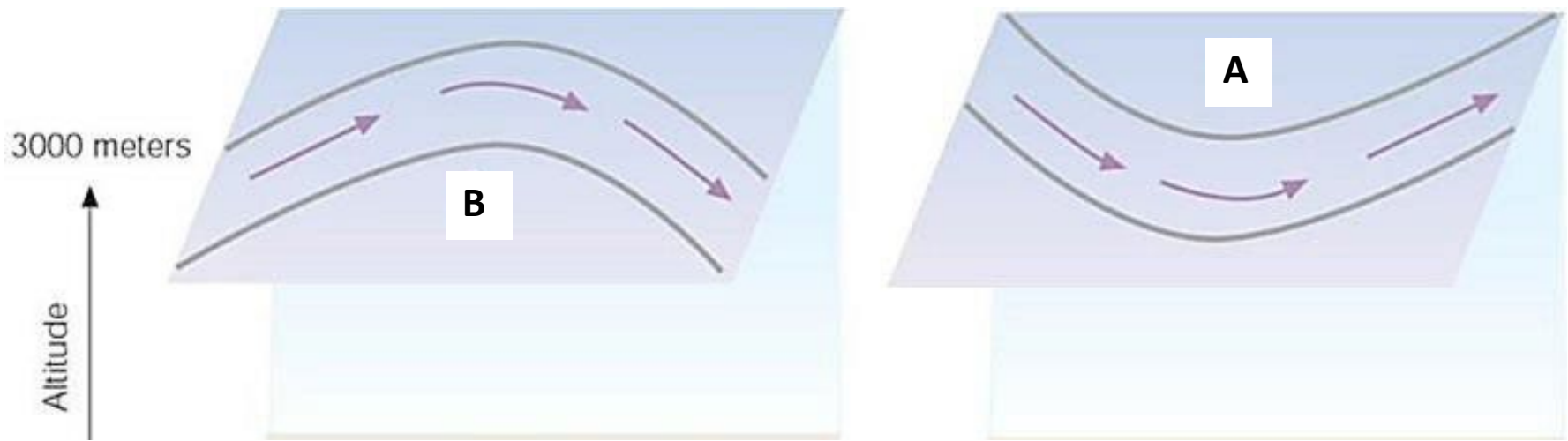
	Miles (statute) per hour	Knots
☉	Calm	Calm
—	1-2	1-2
↘	3-8	3-7
↘↘	9-14	8-12
↘↘↘	15-20	13-17
↘↘↘↘	21-25	18-22
↘↘↘↘↘	26-31	23-27
↘↘↘↘↘↘	32-37	28-32
↘↘↘↘↘↘↘	38-43	33-37
↘↘↘↘↘↘↘↘	44-49	38-42
↘↘↘↘↘↘↘↘↘	50-54	43-47
↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘	55-60	48-52
↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘	61-66	53-57
↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘	67-71	58-62
↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘	72-77	63-67
↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘	78-83	68-72
↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘	84-89	73-77
↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘	119-123	103-107

O efeito do **atrito** (*friction*) é diminuir a velocidade do vento e como a força de Coriolis depende da velocidade, esta também diminui.

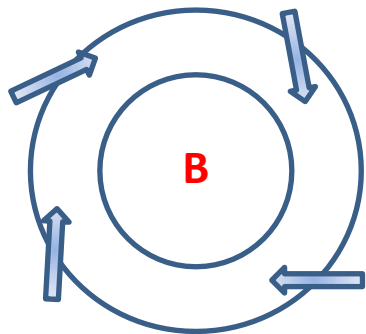
Como não temos mais um balanço entre a **FGP** e **Coriolis**, o vento (*wind*) vira para o lado de baixa pressão cruzando a isóbara com um ângulo α que é aproximadamente **30** graus.



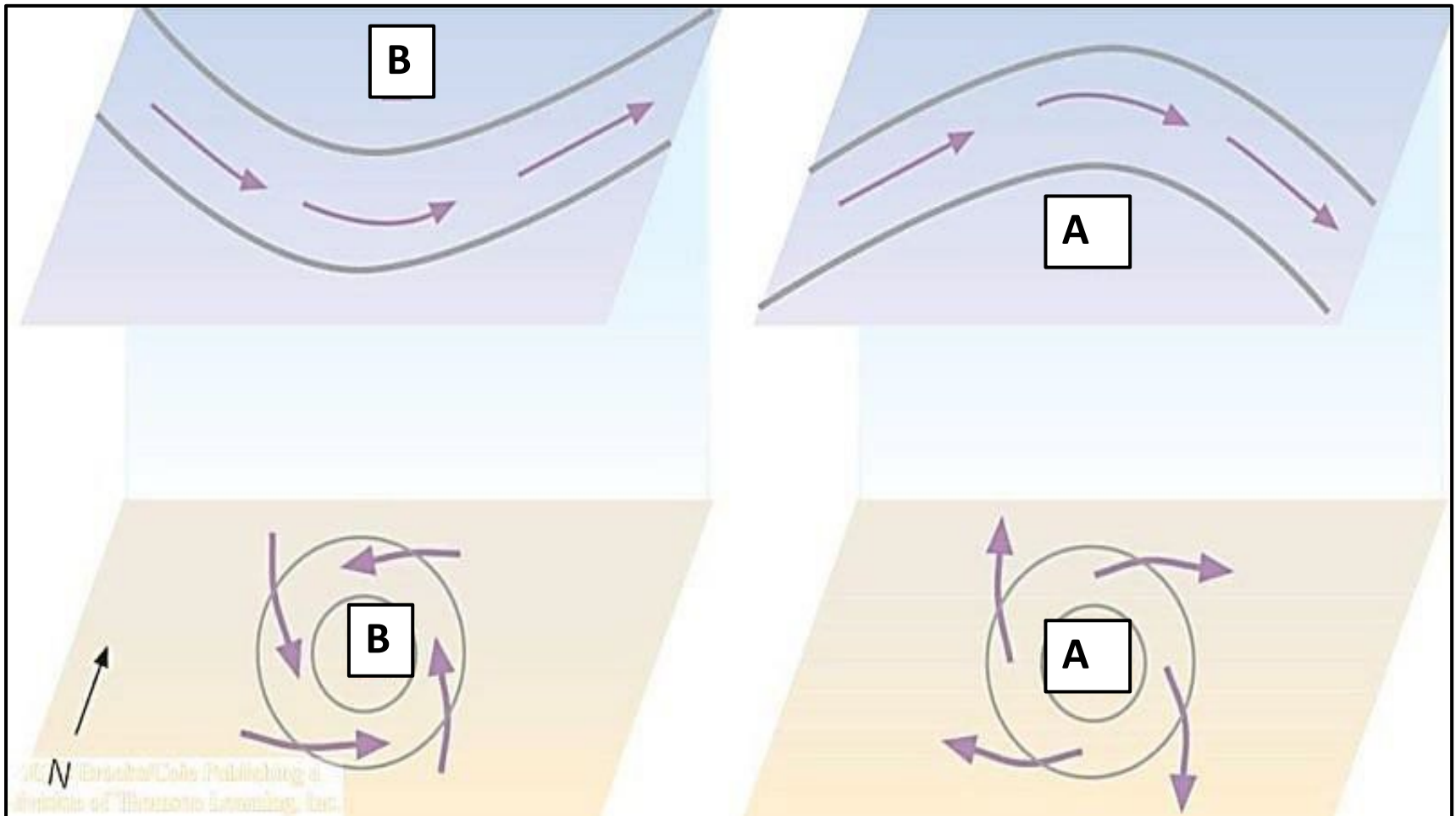
No **Hemisfério Sul**, temos geralmente o centro de baixa pressão á direita do vento.



Na superfície, devido ao atrito, o vento cruza as isóbaras em direção ao centro de baixa pressão **B** (Hemisfério Sul).

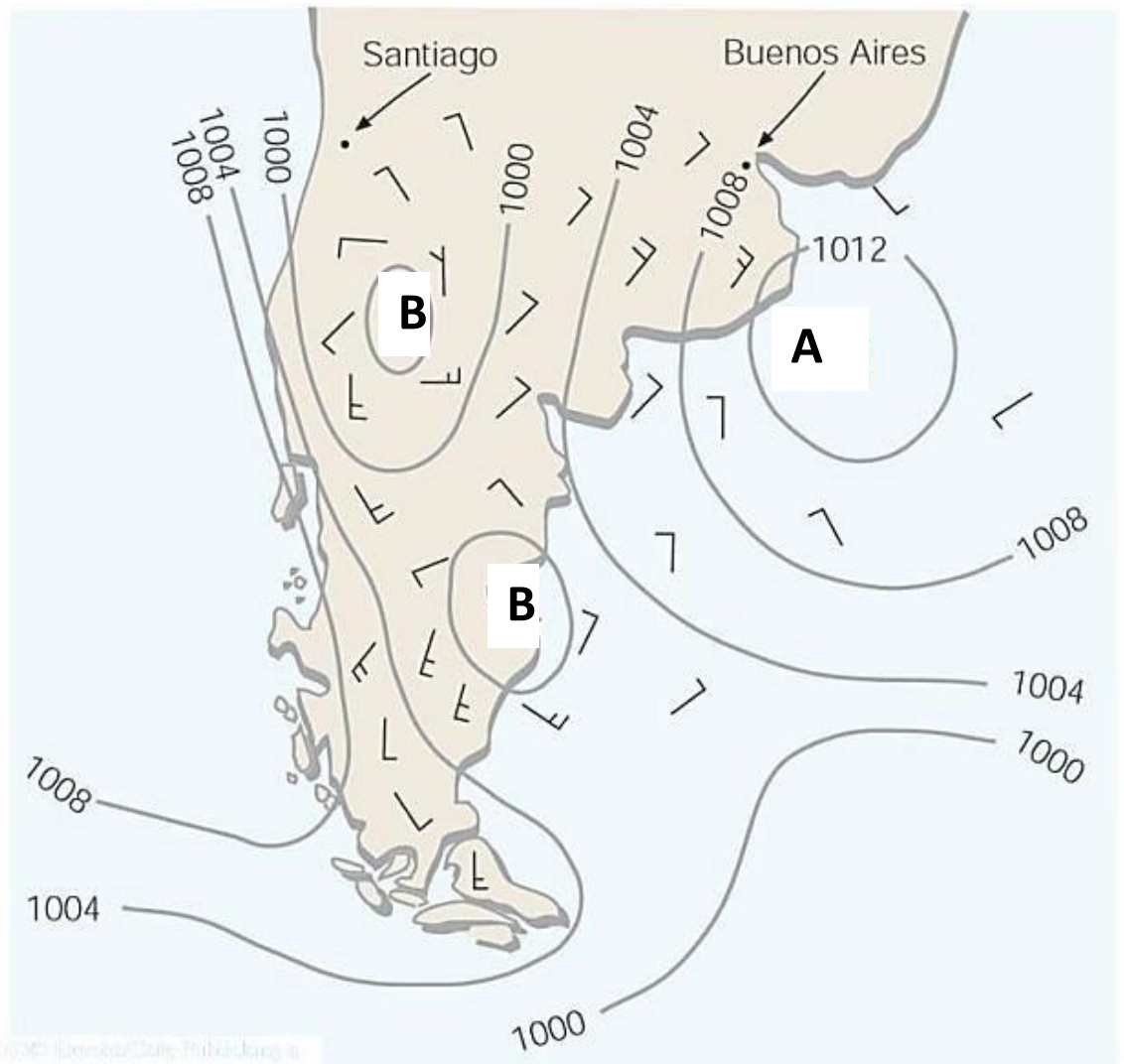


No **Hemisfério Norte**, temos o centro de baixa pressão á esquerda e o centro de baixa pressão á direita, mas ligeiramente modificados na superfície devido ao atrito.

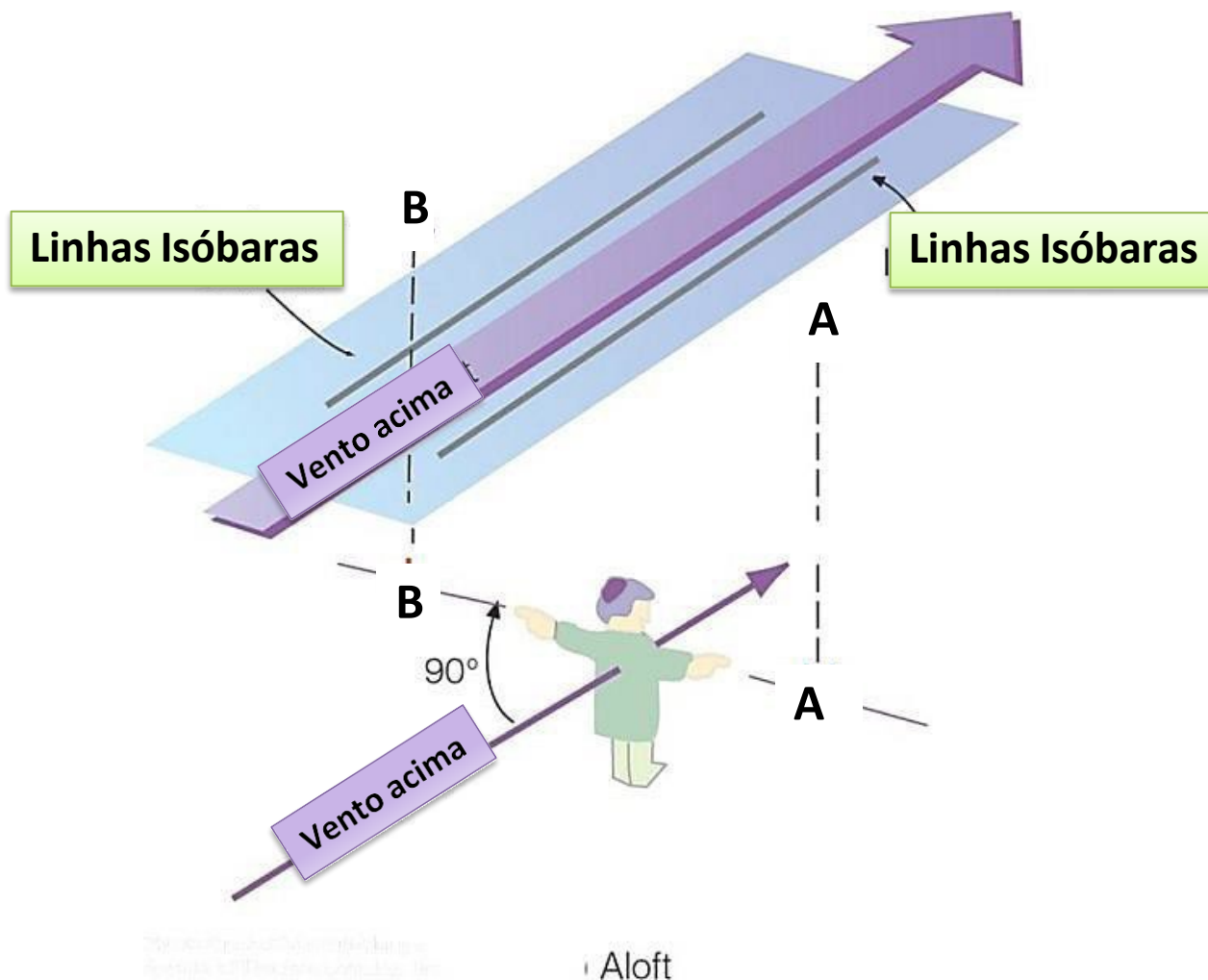


A figura ao lado apresenta os ventos e isóbaras para a região da **América do Sul**.

Neste caso, temos uma circulação **ciclônica** ao redor de um centro de baixa pressão e **anti-ciclônica** em torno de um centro de alta pressão.

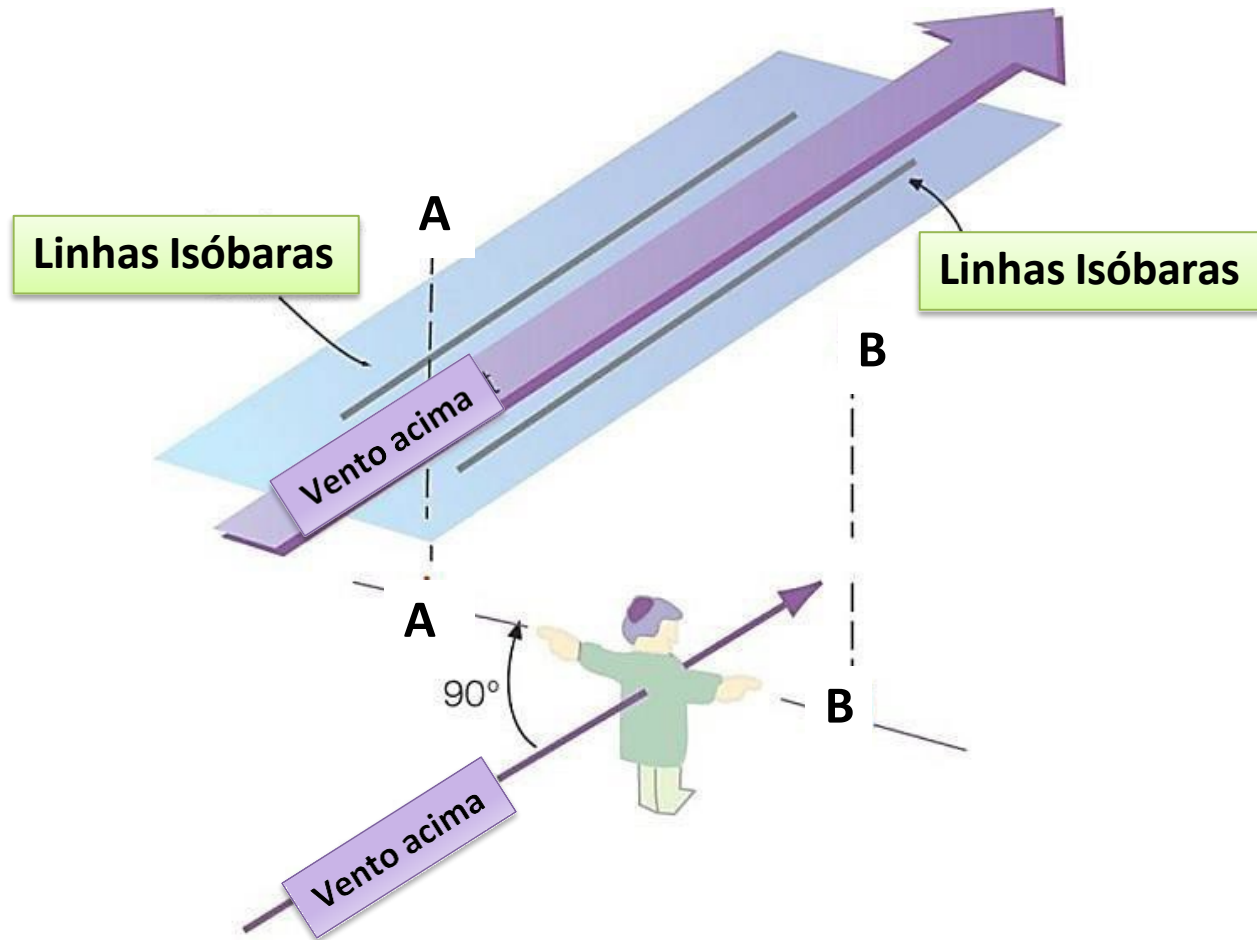


Hemisfério norte. Ventos e centros de baixa (B) e alta (A) pressão.



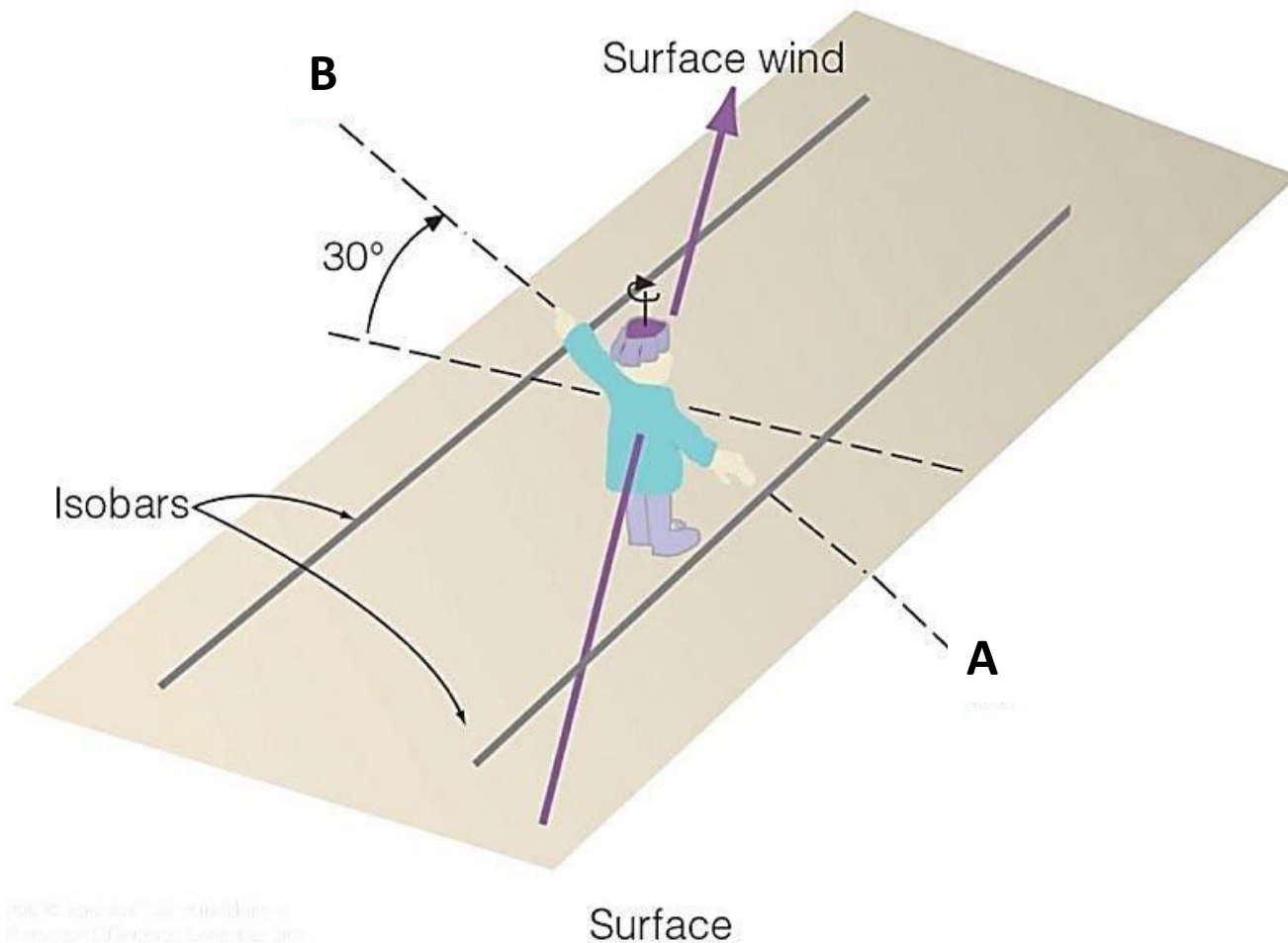
Hemisfério Sul.

Ventos e centros de baixa (B) e alta (A) pressão.



Hemisfério norte. Ventos próximo da superfície.

De costas para o vento, sabemos que a região de baixa pressão fica à esquerda, mas devemos levar em conta que o vento muda de direção ligeiramente cruzando as isóbaras em direção à região de baixa pressão.



Hemisfério Norte. Ventos e movimento vertical.

A figura abaixo ilustra o fato em que, se o vento move-se para o centro de **baixa pressão**, ele deve ir para algum lugar. O ar sobe, e a uma certa altura ele **diverge** (esparrama-se). No caso do centro de alta pressão na superfície, temos uma **divergência dos ventos**.

