



LEB 306 – Meteorologia Agrícola

Prof. Paulo Cesar Sentelhas

Prof. Luiz Roberto Angelocci

Aula # 4

Atmosfera Terrestre

Movimentos Atmosféricos

ESALQ/USP – 2012

A Atmosfera Terrestre

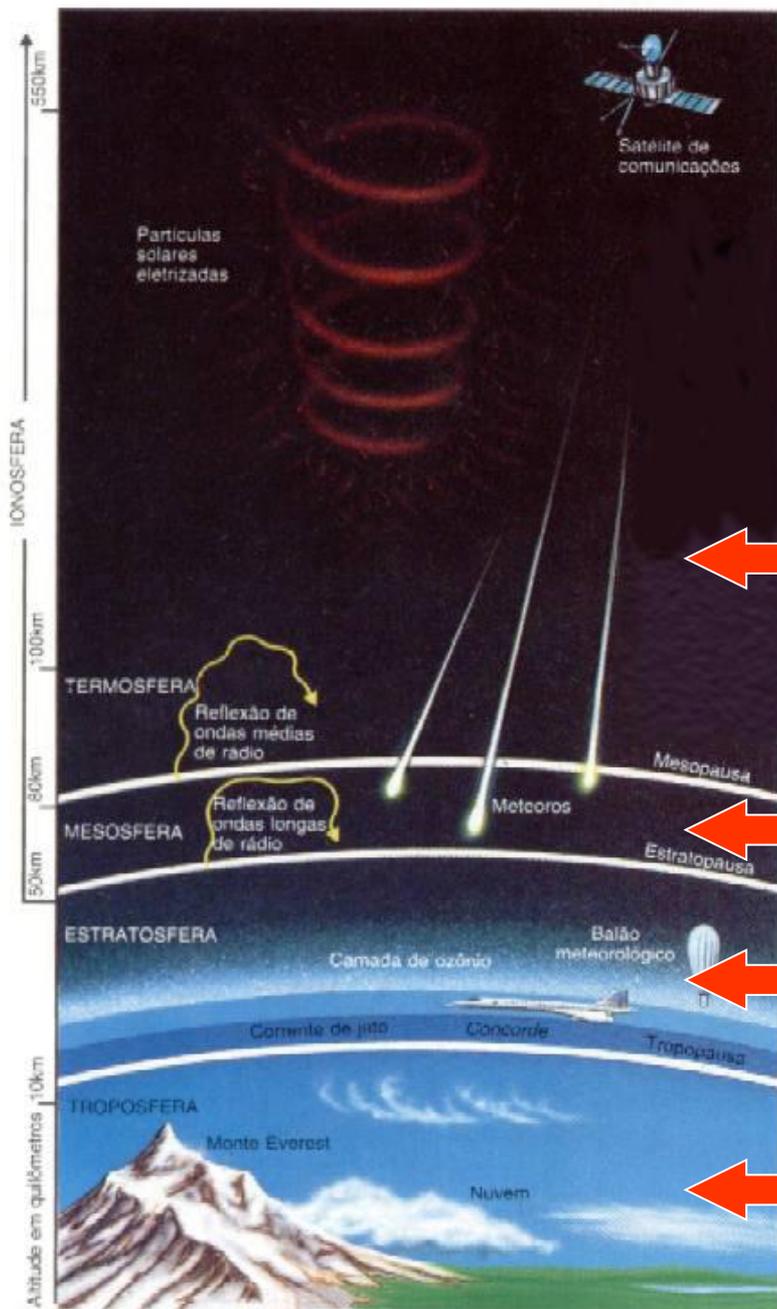
Camada gasosa de espessura muito fina que envolve a Terra, sendo fundamental para a manutenção da vida na superfície terrestre



A atmosfera atua como sede dos fenômenos meteorológicos e, além disso, é fator determinante na qualidade e quantidade de radiação solar que atinge a superfície terrestre

Estrutura da atmosfera

A atmosfera pode ser dividida de acordo com suas características físicas e químicas

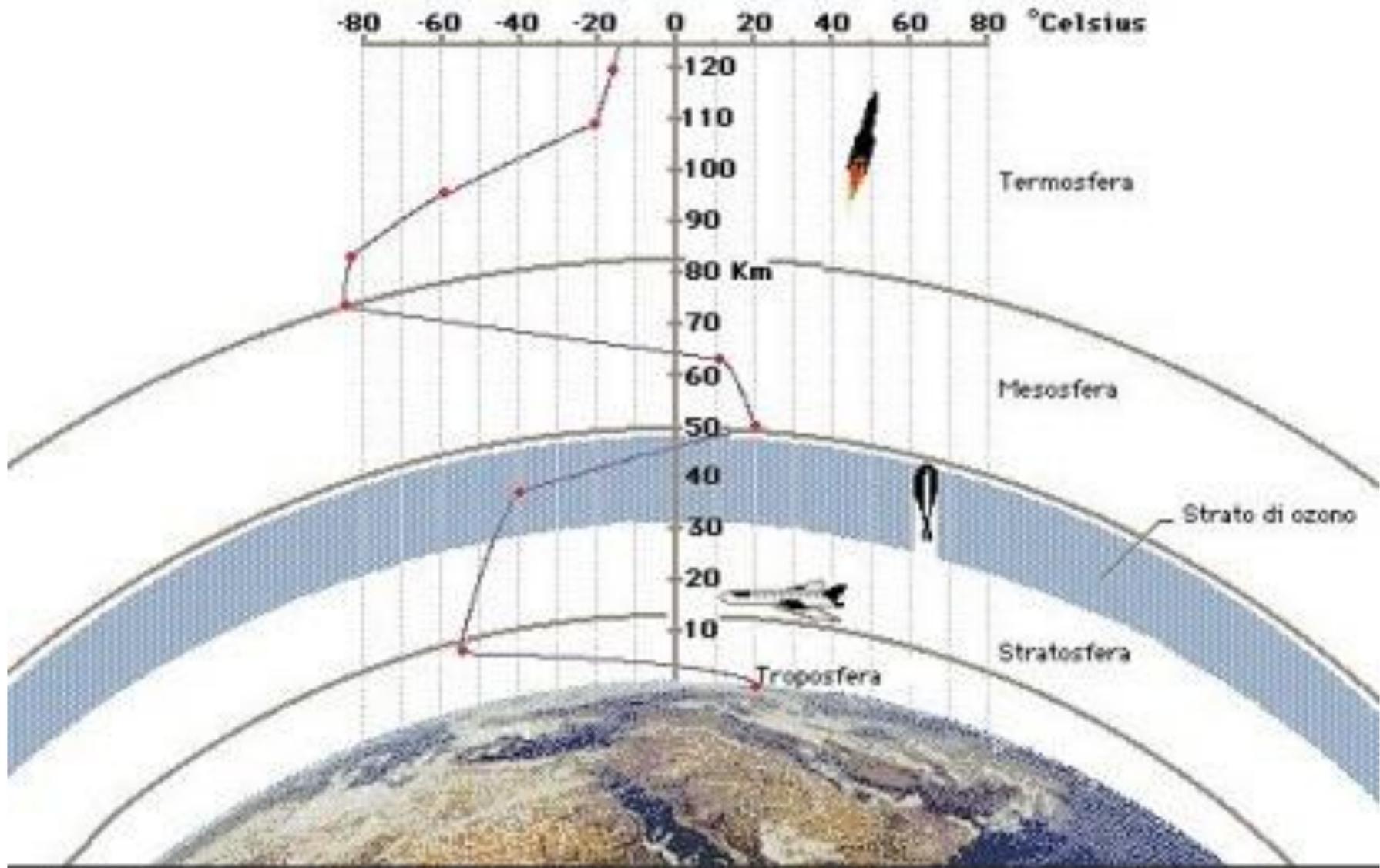


Termosfera

Mesosfera

Estratosfera – onde encontra-se a maior concentração de O_3

Troposfera – onde ocorrem os fenômenos meteorológicos



Varição da temperatura nas diferentes camadas da atmosfera (na Troposfera a temperatura diminui devido à rarefação do ar e à redução da pressão, enquanto que na estratosfera o aumento de temperatura se deve à absorção da radiação solar pelas moléculas de ozônio).

Composição da atmosfera terrestre

Matriz básica (% em vol. de ar seco):

N₂ (~78%)

O₂ (~21%)

outros gases (~1%)

Outros componentes com concentrações variáveis (muito baixas):

CO₂

O₃

CH₄, N₂O, CFCs

VAPOR D'ÁGUA (até ~ 4%)

Apesar da Matriz Básica ser fundamental para a manutenção da vida na superfície terrestre, a concentração dos componentes variáveis apresenta importância física e biológica.

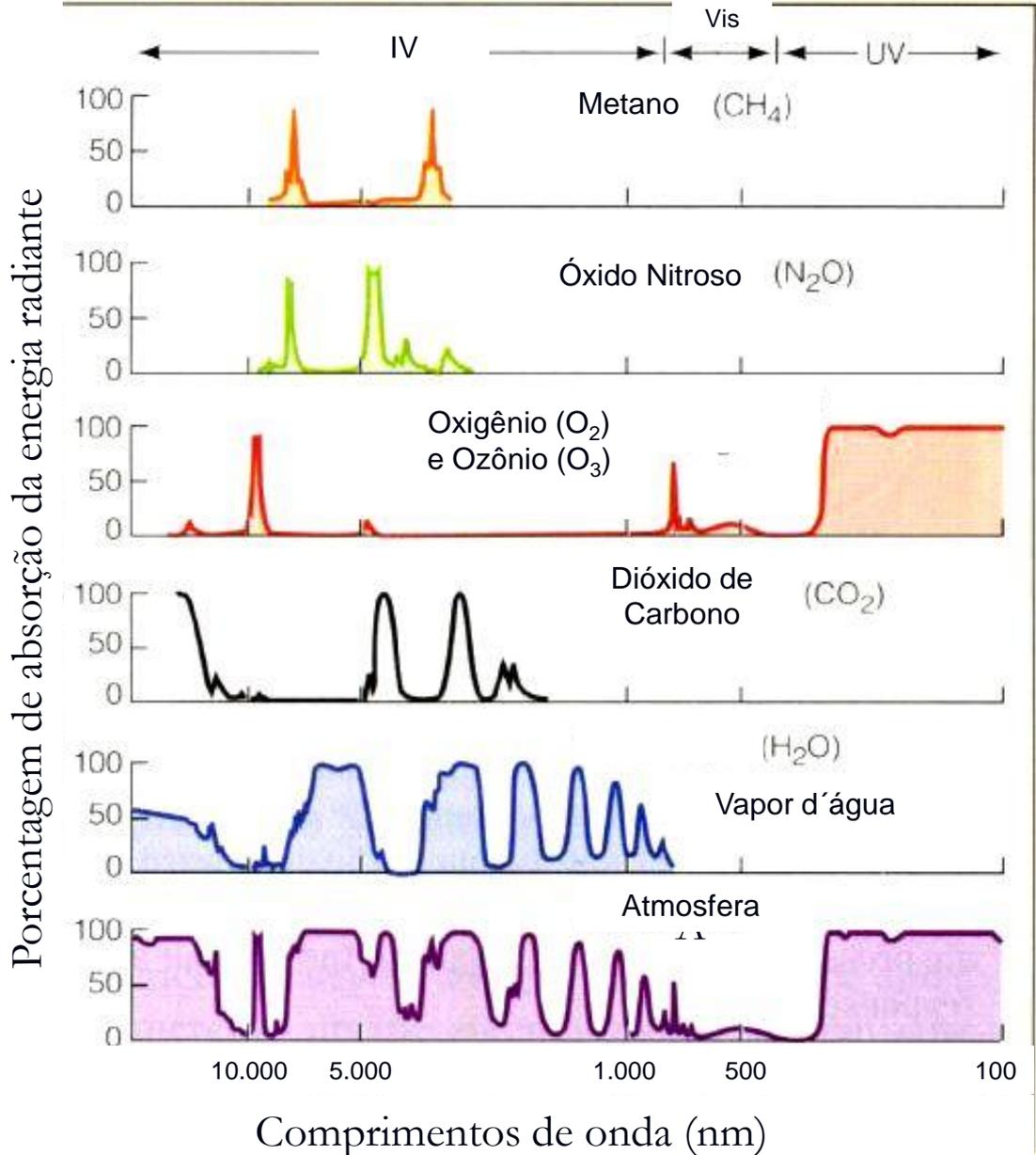
Importância Física – no balanço de radiação da Terra, retendo parte das ondas de calor emitidas pela superfície e na atenuação da radiação proveniente do Sol

Importância Biológica – suprindo matéria prima para o processo da fotossíntese (CO₂) e regulando o processo de transpiração das plantas

Gases de Efeito Estufa – fontes, concentração, tempo de residência e poder de aquecimento em relação ao CO₂

GÁS	FONTES DE EMISSÃO		CONCENTRAÇÃO		TEMPO DE RESIDÊNCIA NA ATMOSFERA	PODER DE AQUECIM.
	naturais	antropogênicas	1750	atual		
CO ₂	→Respiração → Decomposição de material orgânico	→queima combustíveis fósseis →mudanças na vegetação → queima de biomassa → fabricação de cimento	280 ppmv	370 ppmv	50 - 200 anos	1
CH ₄	→mat. orgânica em decomposição (pântanos, lagos e oceanos)	→combustíveis fósseis →fermentação entérica →arrozais inundados →dejetos animais →esgotos	700 ppbv	1800 ppb	12 - 17 anos	21
N ₂ O	→oceanos , solos tropicais e temperados (bactérias)	→fertilizantes →indústria :nylon, ac.nítrico →queima de biomassa e de combustíveis fósseis →modificação do uso do solo →conversão catalítica (carros)	275 ppbv	310 ppbv	120 anos	310
CFCs		→propelentes, solventes, refrigeração, espumas	0	ordem de pptv	13 - 102 anos	acima de 10.000

Absorção de Energia Radiante pelos Componentes Atmosféricos em Diferentes Comprimentos de Onda

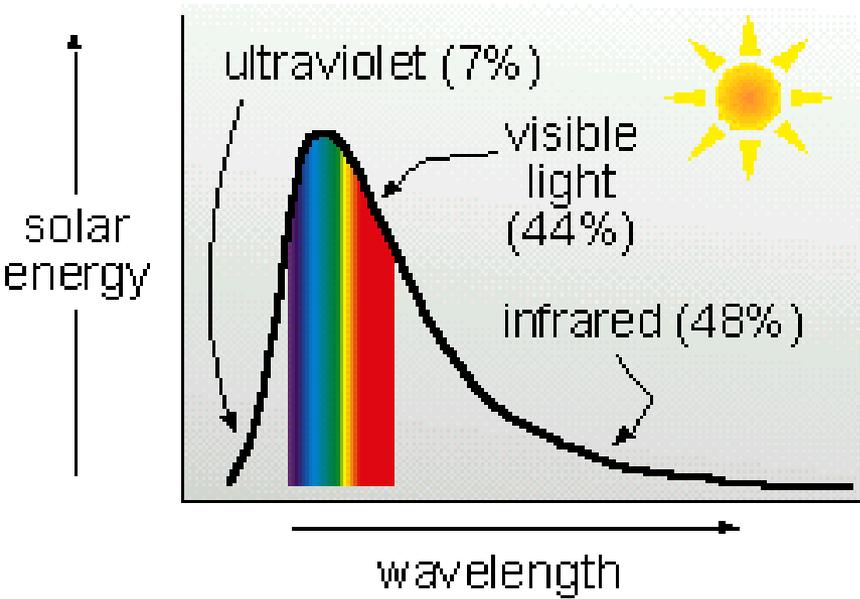


Efeitos da Atmosfera sobre o Balanço de Energia Radiante



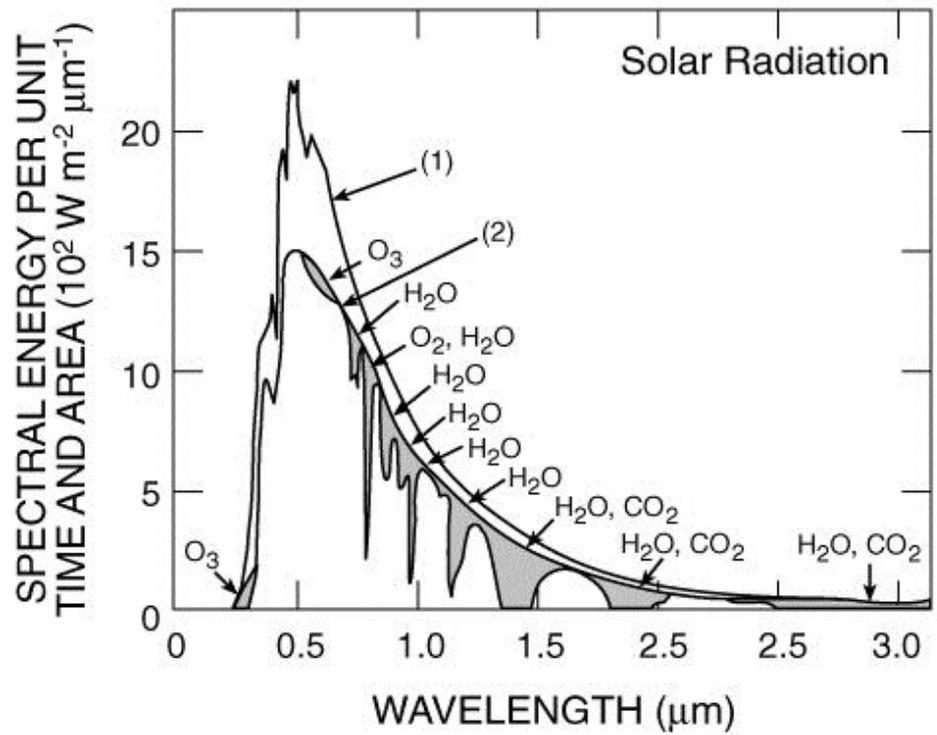
Ao atravessar a atmosfera a radiação solar interage com seus constituintes, resultando em modificações na quantidade, na qualidade e na direção dos raios solares, devido aos processos de absorção e difusão da radiação solar

Absorção da radiação solar



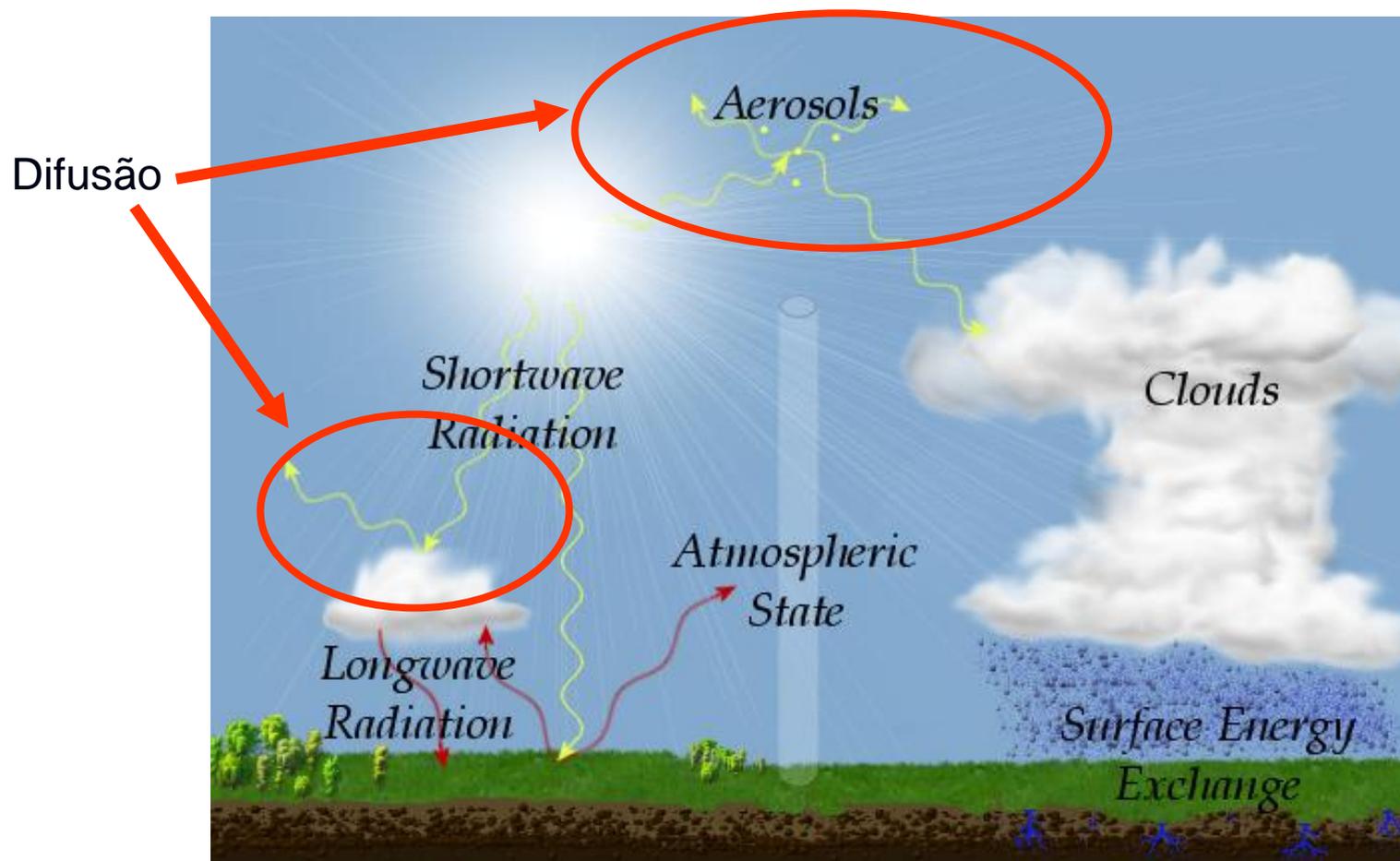
Indica o espectro teórico da radiação solar antes da interação com a atmosfera, com a proporção de cada faixa de comprimento de onda

Indica o espectro real da radiação solar antes da interação com a atmosfera (1), e após o processo de absorção, causado pelos principais constituintes absorvedores da atmosfera (2). A área cinza indica a banda absorvida.

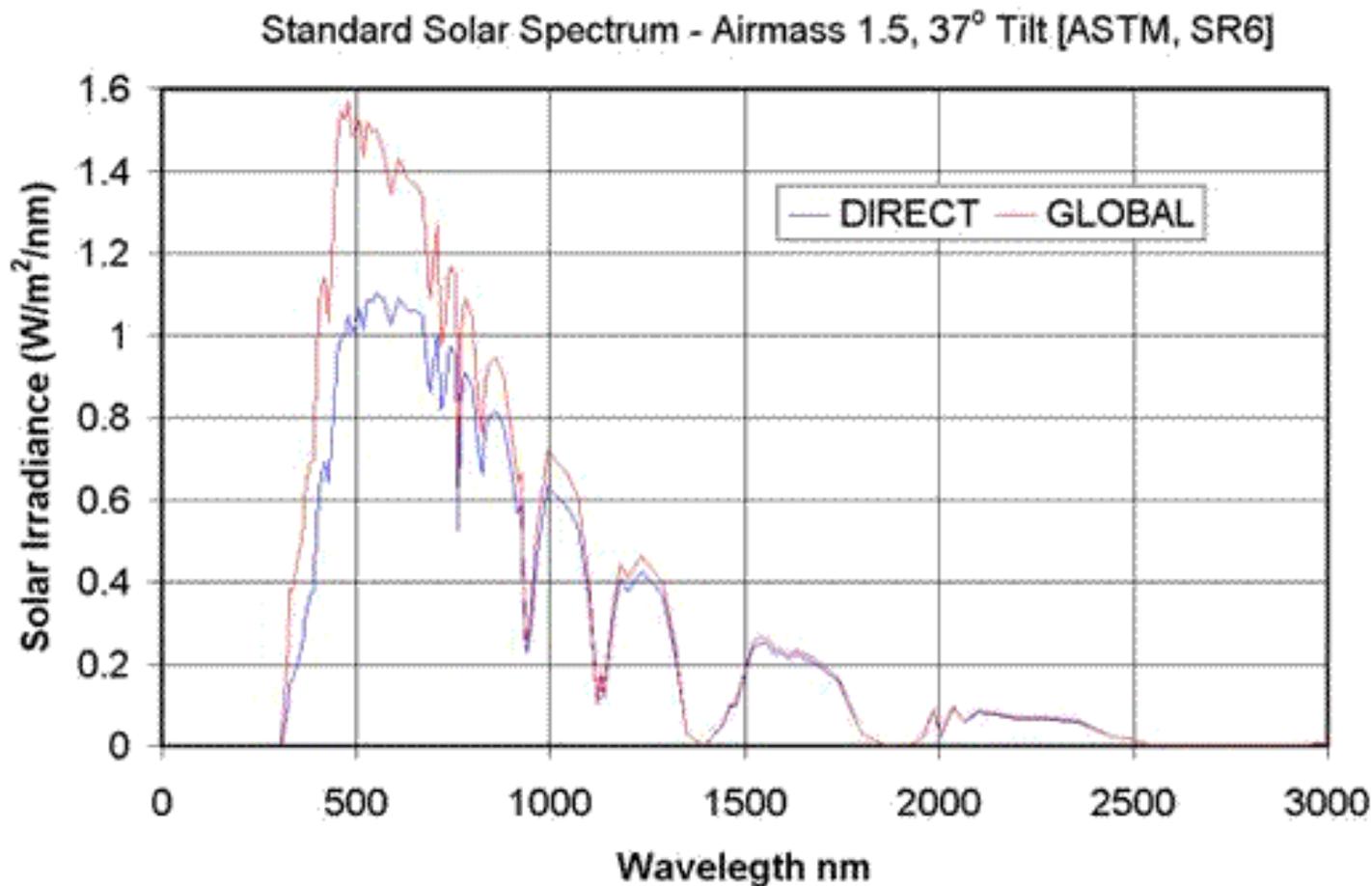


Difusão da radiação solar

Os constituintes atmosféricos, normalmente aerossóis, partículas de poeira e gotículas de água (nuvens, nevoeiros, etc.) mudam a direção dos raios solares. Esse processo gera a radiação multi-direcional, denominada de difusa. Parte dessa radiação retorna ao espaço sideral. Quanto maior a espessura da camada da atmosfera a ser atravessada pela radiação solar, maior a difusão.



Essa figura mostra a energia associada a cada comprimento de onda. Observe que da energia global, somente uma parte é proveniente da radiação direta (Direct), o restante é proveniente da radiação difusa, ou seja, a diferença entre Global e Direta.



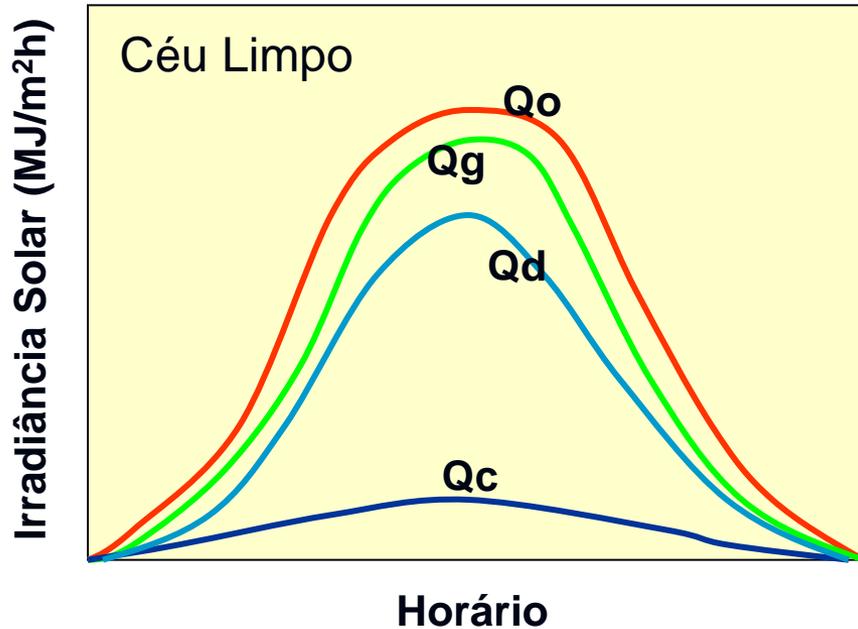
Magic Site Wed Sep 5 16:33:09 2001



Quando a difusão é proporcionada por partículas de diâmetro muito pequeno, como os aerossóis, há difusão predominantemente nos comprimentos de onda mais curtos (violeta/azul).

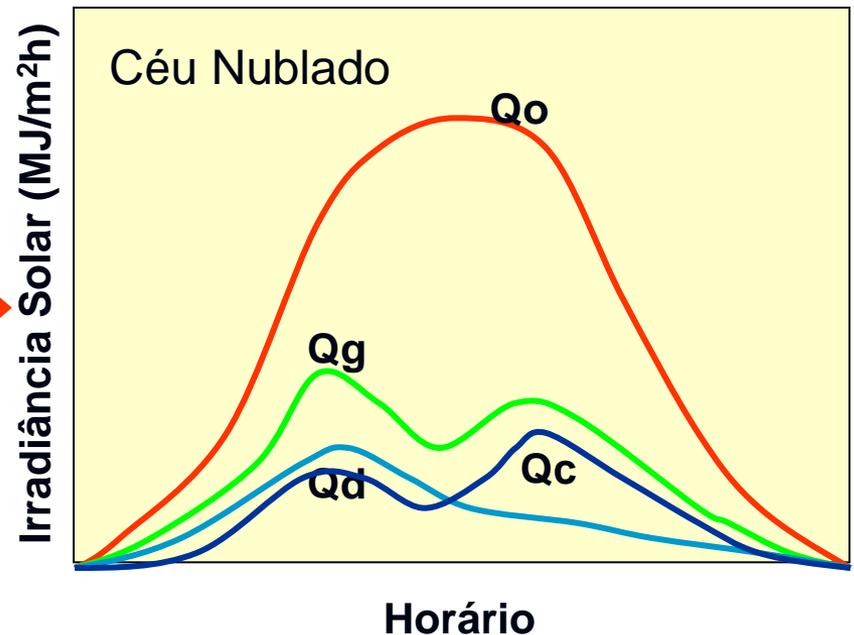
Quando ocorre difusão por partículas de poeira a sensação visual é do céu avermelhado, como observado ao nascer e pôr do sol. Nessas condições, nas quais o ângulo zenital do Sol é elevado (baixa altura do astro), a camada que a radiação solar atravessa é bem maior e isso permite uma maior atenuação da radiação, tanto pela absorção como pela difusão.





Irradiância solar em um dia de céu limpo: Q_o (RS no topo da atmosfera), Q_g (RS na superfície terrestre), Q_d (RS direta), Q_c (RS difusa). Em um dia como este a Q_g é composta predominantemente por Q_d ...

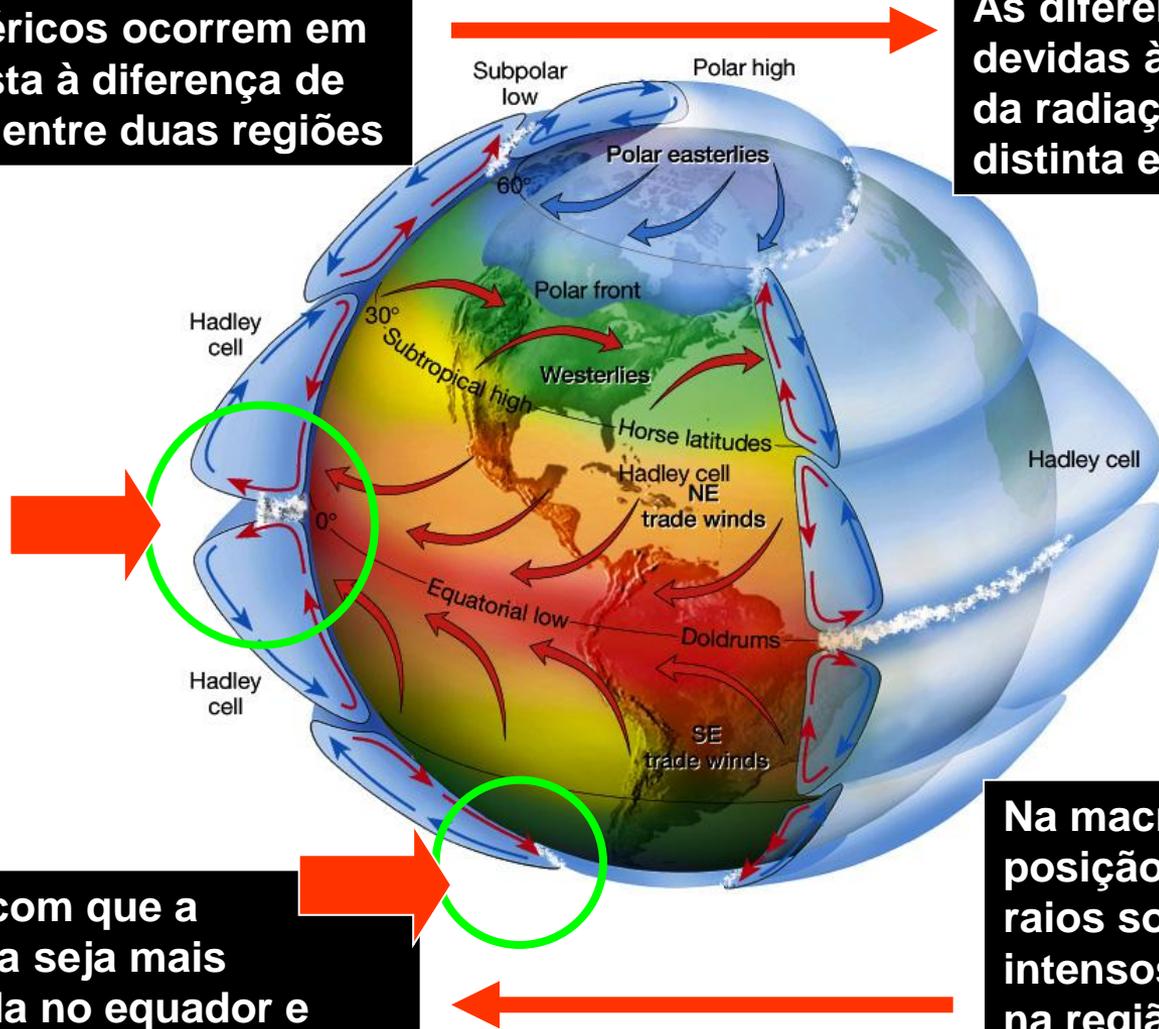
... ao passo que em um dia de céu nublado existe uma maior proporcionalidade entre Q_d e Q_c . O processo de reflexão da RS pelas nuvens também pode ser considerado um processo de difusão, já que muda a direção dos raios solares.



Movimentos Atmosféricos

Os movimentos atmosféricos ocorrem em resposta à diferença de pressão entre duas regiões

As diferenças de pressão são devidas à incidência e absorção da radiação solar de maneira distinta entre duas regiões



Isso faz com que a atmosfera seja mais expandida no equador e mais contraída nos pólos

Na macro-escala, devido à posição relativa Terra-Sol, os raios solares são mais intensos e mais absorvidos na região Equatorial do que nos Pólos

De acordo com o explanado anteriormente, verifica-se que uma massa de ar está sujeita às seguintes forças:



1) Aceleração da Gravidade: responsável principal pela pressão atmosférica



2) Flutuação Térmica: contribui para a variação da P_{atm}
($> T < P_{atm}$ / $< T > P_{atm}$)



3) Gradiente Horizontal de Pressão: responsável pela movimentação da atmosfera de uma região para outra

Essas 3 forças atuam tanto na parcela de ar em repouso como em movimento e, portanto, são denominadas *primárias*. Quando a massa de ar começa a se movimentar duas outras forças, denominadas *secundárias*, começam a atuar:

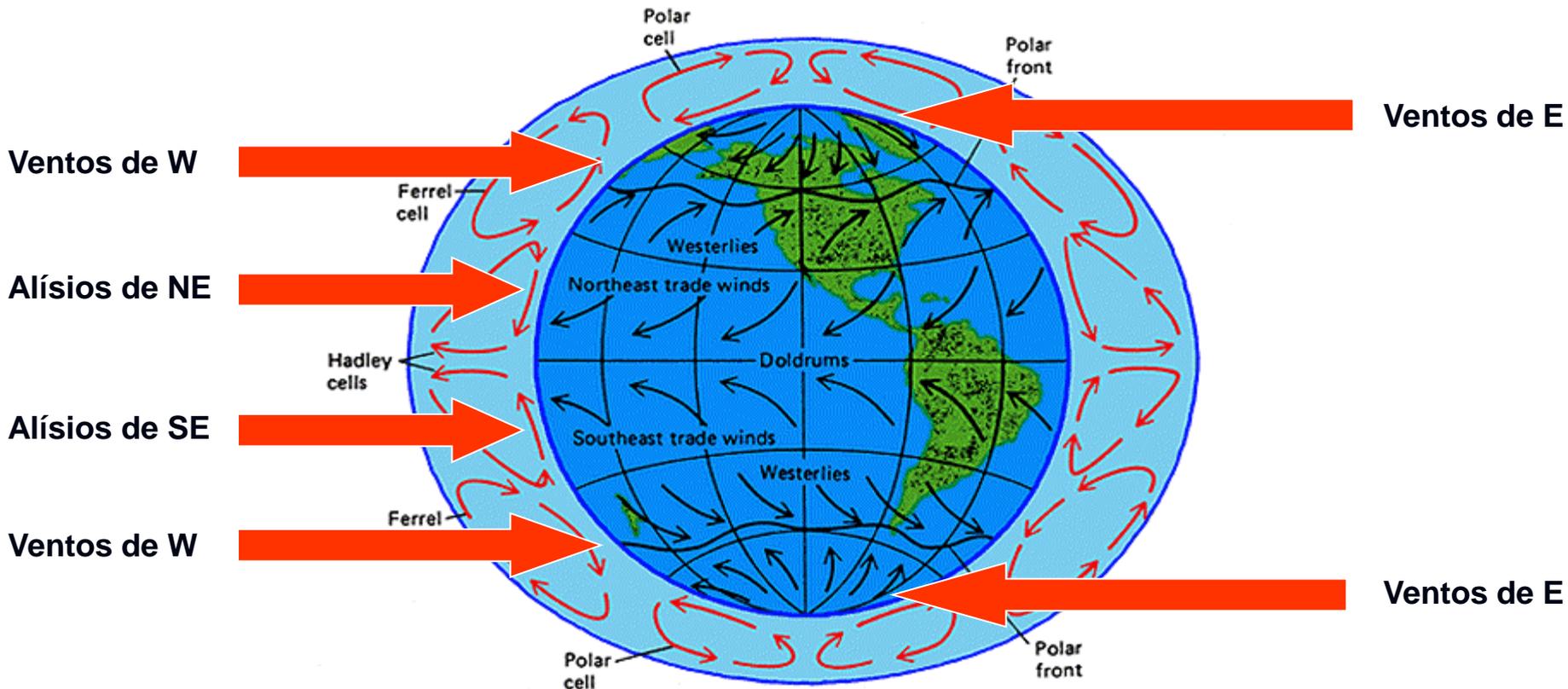


1) Atrito: responsável pela desaceleração do movimento



2) de Coriolis: responsável pela mudança da direção do movimento devido à rotação da Terra. Essa força é perpendicular ao movimento, mudando a trajetória para a esquerda no HS e para a direita no HN

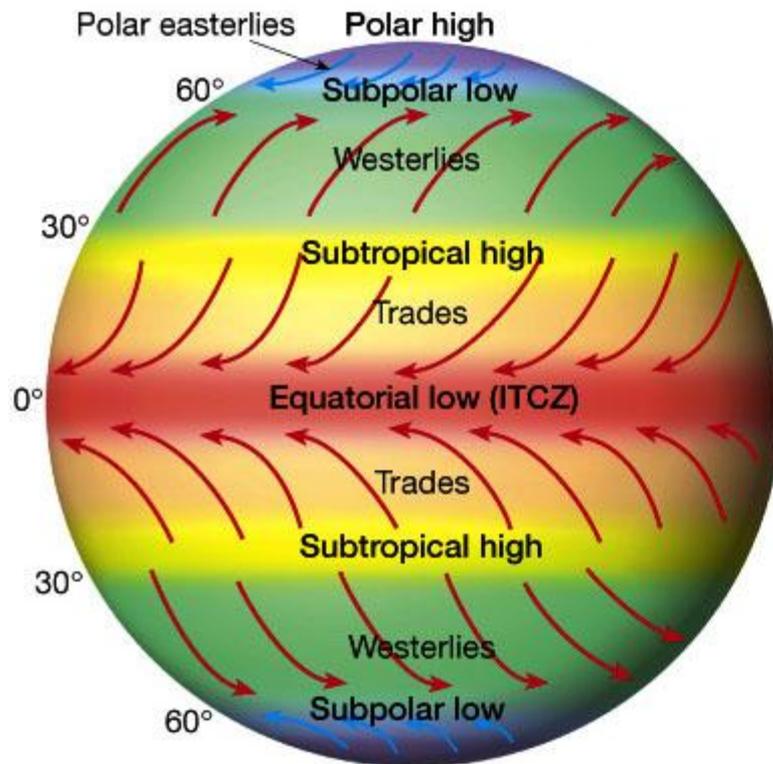
Na macro-escala, os ventos de superfície estão associados à circulação geral da atmosfera, a qual é resultado da ação das 5 forças mencionadas anteriormente.



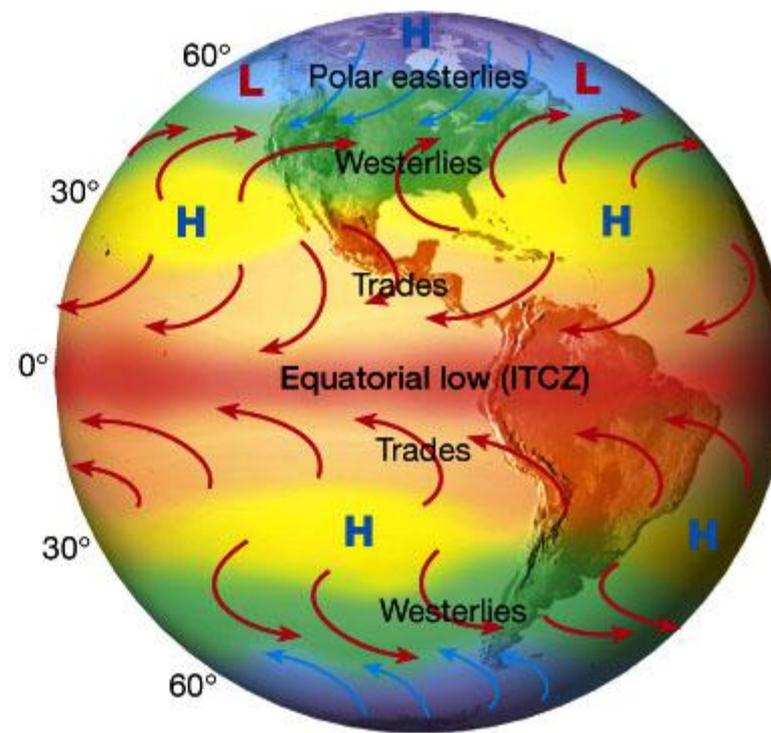
ZCIT – Zona de convergência inter-tropical – elevação do ar quente e úmido, formando nuvens e chuvas convectivas

ZCET – Zona de convergência extra-tropical – encontro do ar frio e seco do Pólos com o ar quente e úmido dos trópicos, formando os sistemas frontais frentes polares, que causam perturbações atmosféricas em larga escala

Compare o modelo teórico da Circulação Geral da Atmosfera e o que realmente ocorre. Veja que as duas condições são muito semelhantes.



(a)

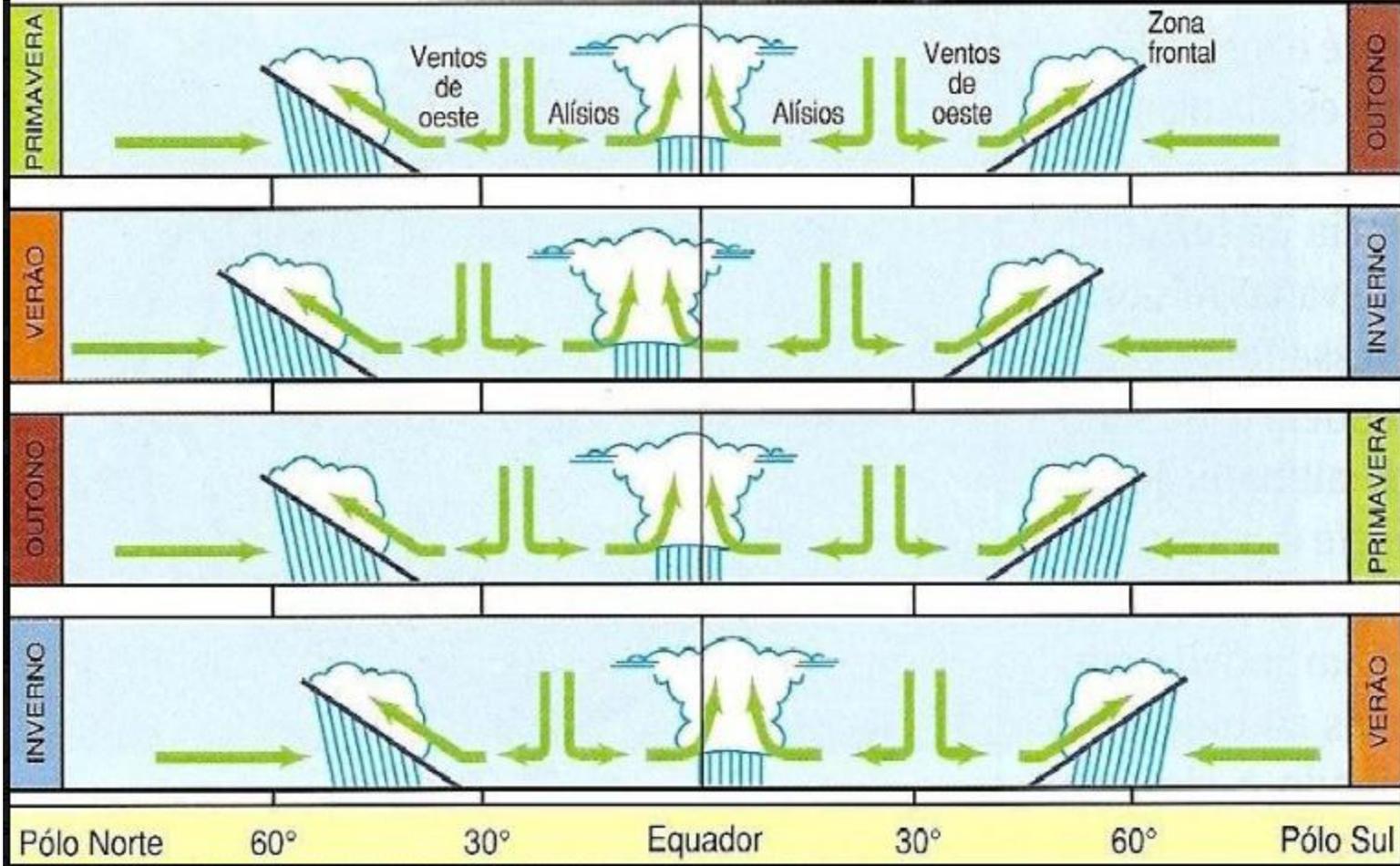


(b)

(a) Modelo teórico da circulação geral da atmosfera

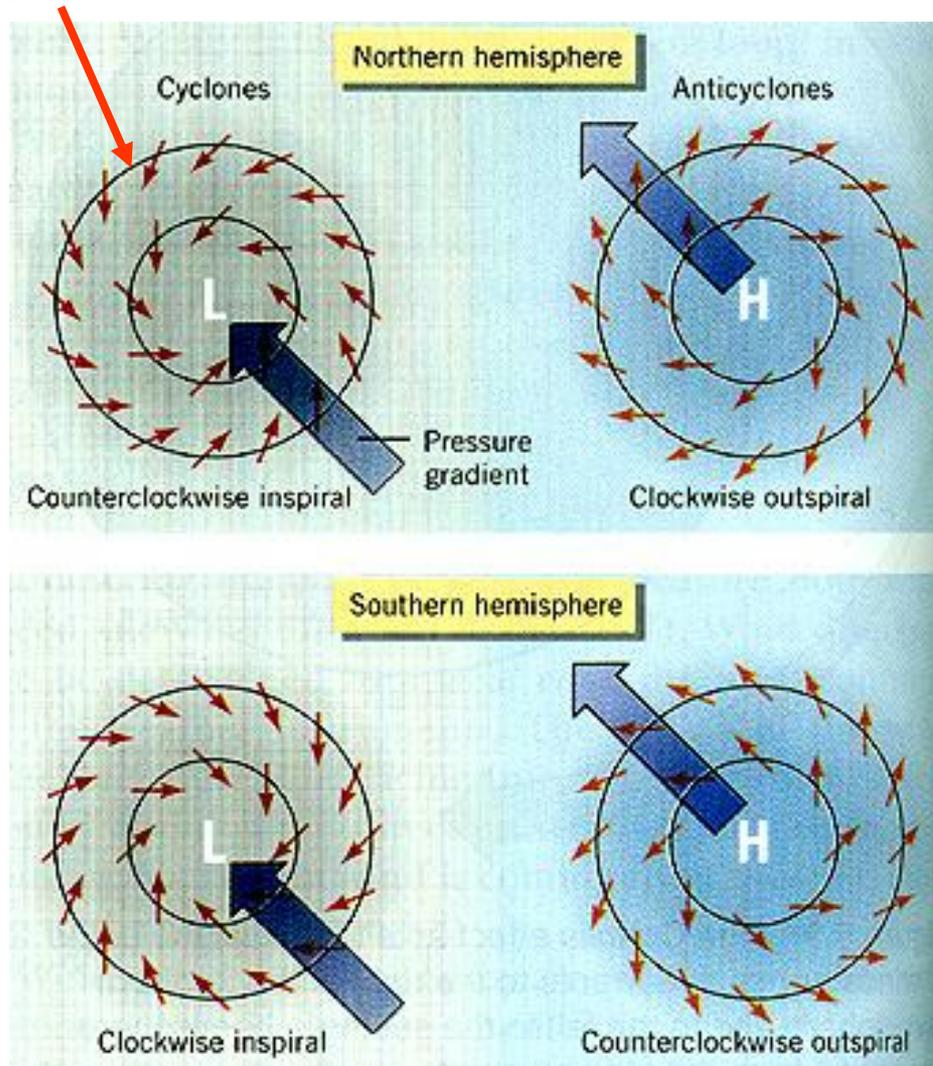
(b) Condição média observada da circulação geral da atmosfera

Circulação da atmosfera e sua movimentação ao longo do ano acompanhando o Equador térmico



Ciclones e Anticiclones

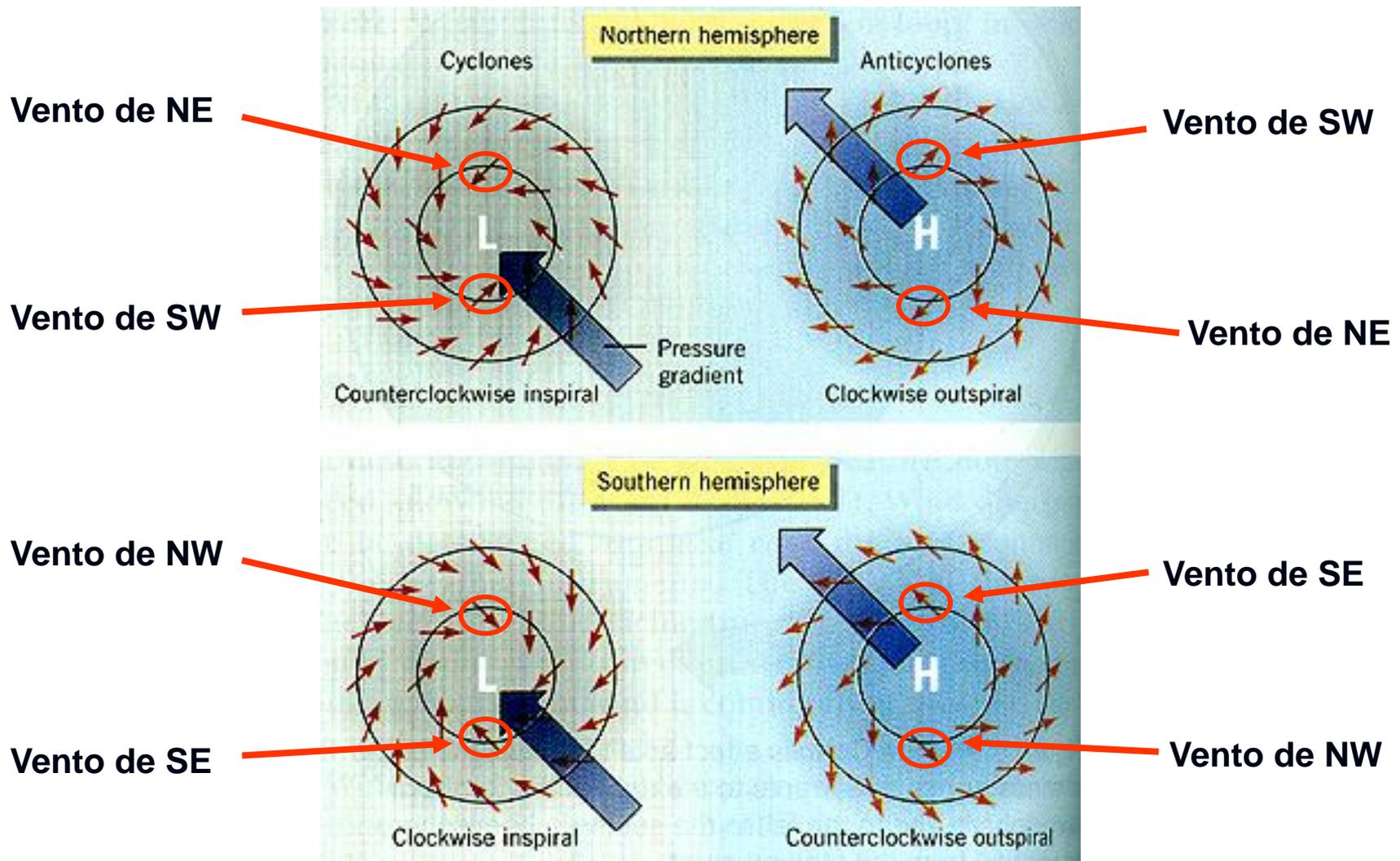
Isóbaras



Os ciclones e anticiclones formados na atmosfera são responsáveis pela mudança na direção dos ventos predominantes

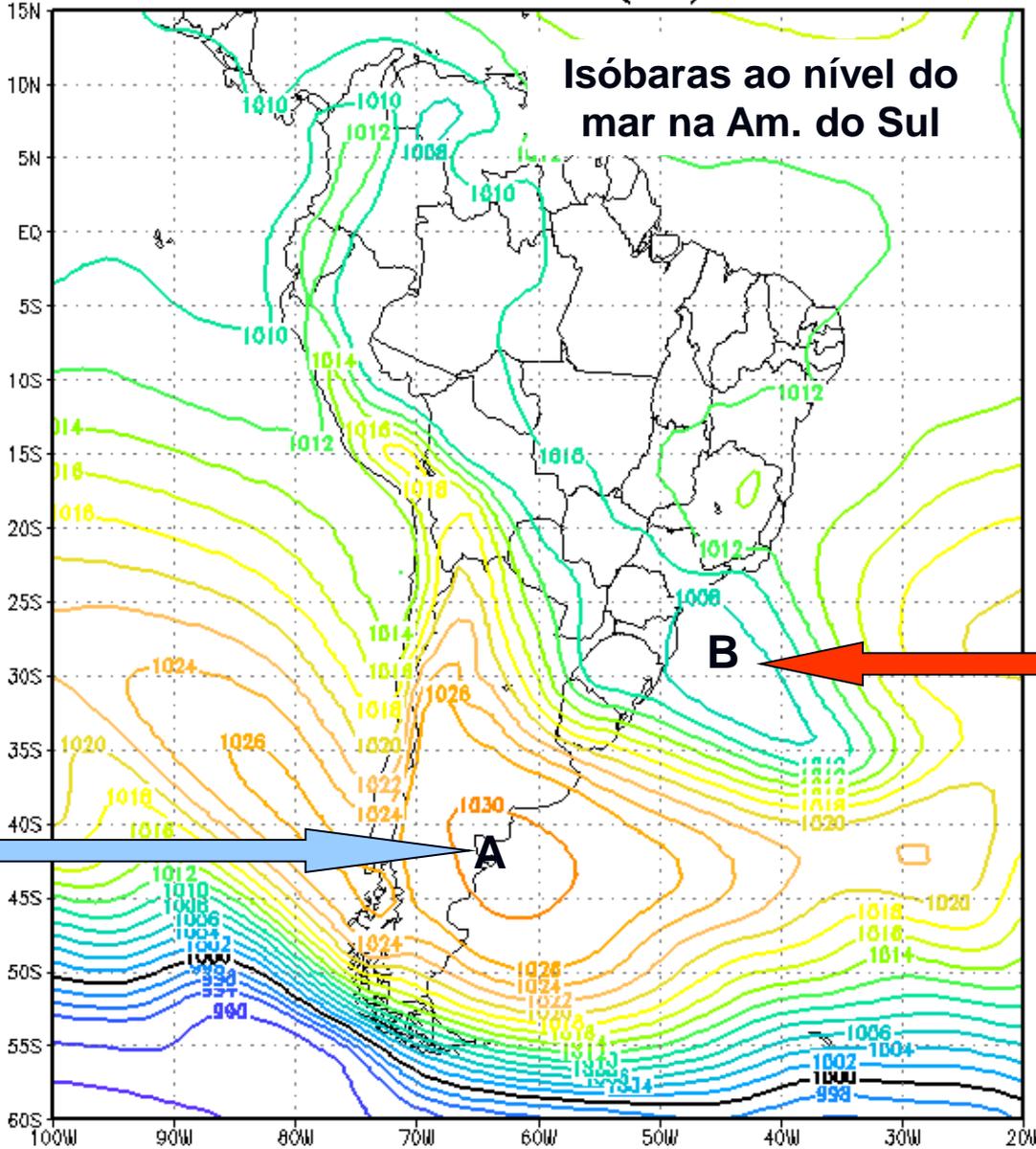
Os ciclones são centros de baixa pressão (L = Low). Os ventos convergem para esse centro pela força gradiente e em seu movimento tem seu deslocamento desviado pela força de Coriolis (para a direita no HN e para a esquerda no HS)

Os anticiclones são centros de alta pressão (H = High). Os ventos divergem desse centro devido à força gradiente e, em seu movimento, tem seu deslocamento desviado pela força de Coriolis (para a direita no HN e para a esquerda no HS)



No seu deslocamento, os ciclones e os anticiclones promovem alteração na direção dos ventos. Normalmente, no centros deles ocorre calmaria (sem vento)

CPTEC/INPE/MCT - GLOBAL MODEL - T126L28
FORECAST FROM: 2005031000 VALID FOR: 2005032000
MSL PRESSURE (hPa)



Isóbaras ao nível do mar na Am. do Sul

Centro de Alta Pressão



A

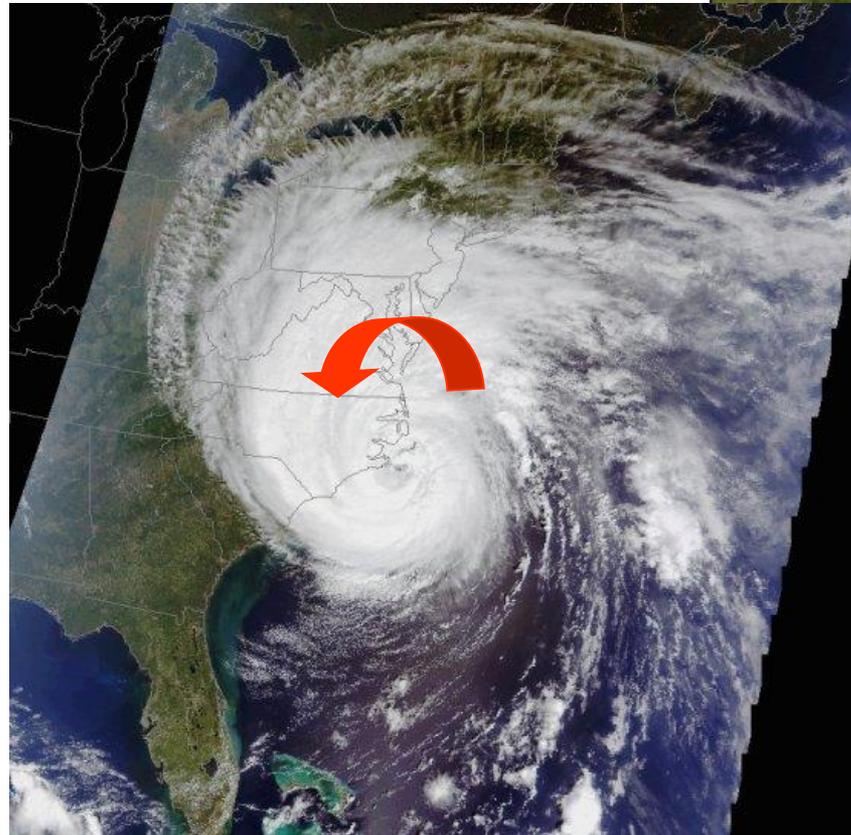
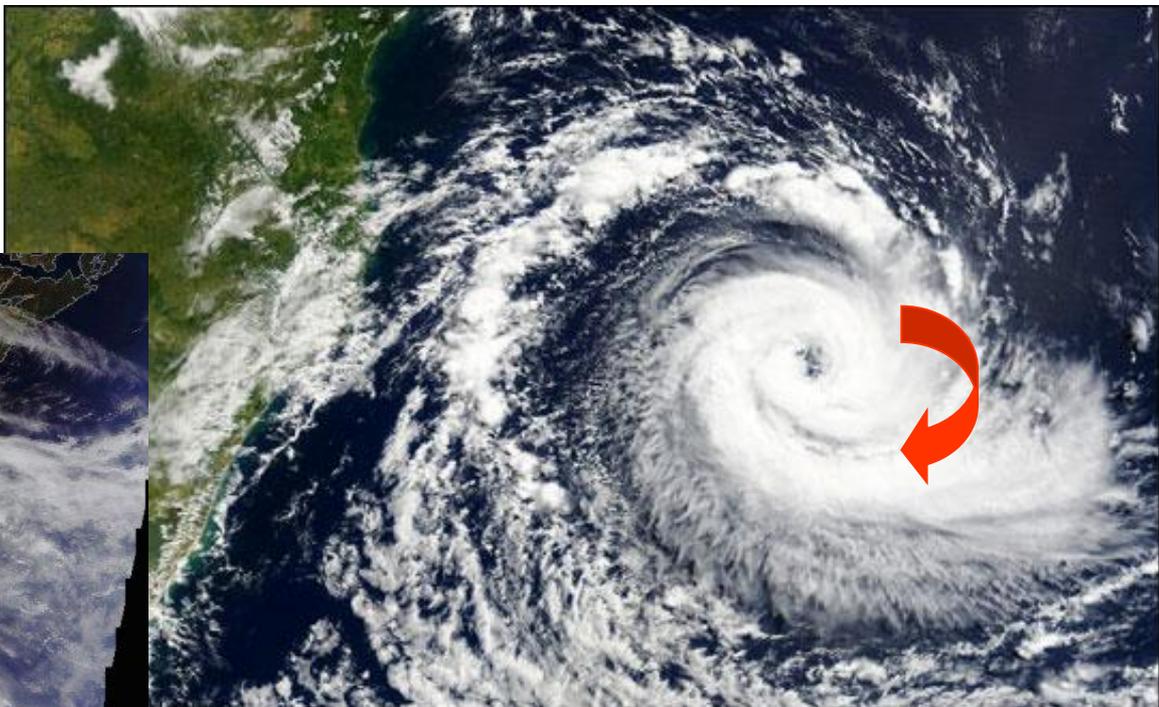
Centro de Baixa Pressão



B

Ciclone Catarina (Atlântico Sul) – observe o seu sentido horário

Furacão Isabel (Atlântico Norte) – observe o seu sentido anti-horário



Obs – o furacão é um ciclone de maiores proporções

Circulação Atmosférica na América do Sul

Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)



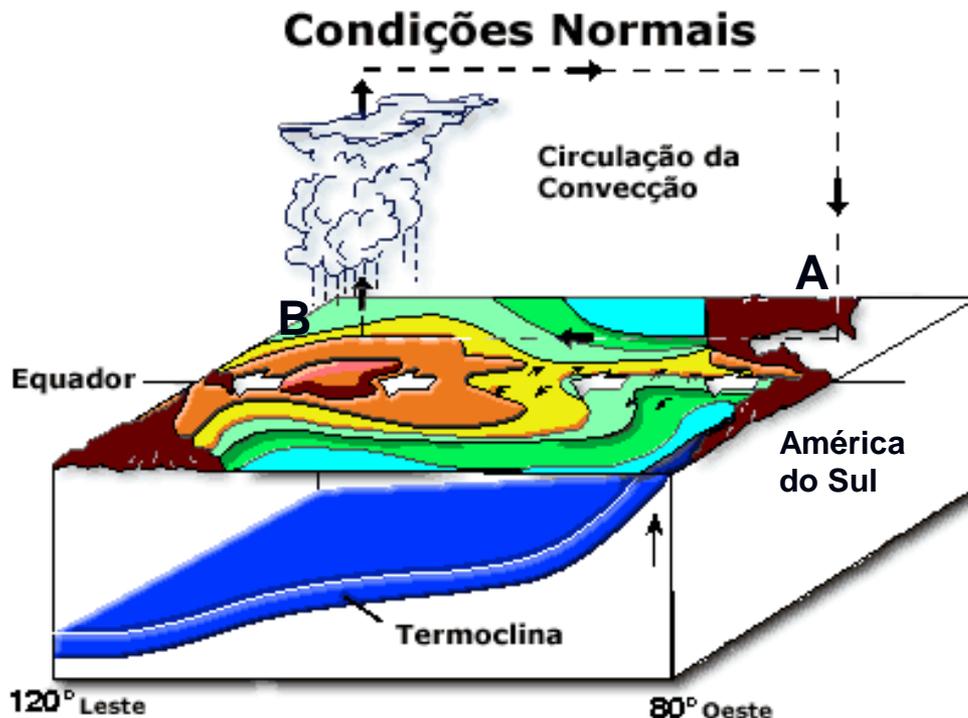
A ZCAS é uma zona de convergência subtropical que ocorre durante o verão na América do Sul e se caracteriza por uma extensa faixa de nebulosidade no sentido NW-SE, desde a Amazônia, passando pelas regiões Centro-Oeste e Sudeste e se estendendo para o oceano Atlântico.

Esse sistema está associado à intensa convecção na região Amazônica, havendo assim um fluxo de umidade dessa região para altas latitudes. Além disso, a presença dos Andes parece intensificar o processo.

Esse sistema persiste por vários dias mantendo o tempo instável, gerando assim totais pluviométricos bastante expressivos na região de atuação. Sua ausência pode levar a períodos de estiagem durante a estação chuvosa, denominados de veranicos.

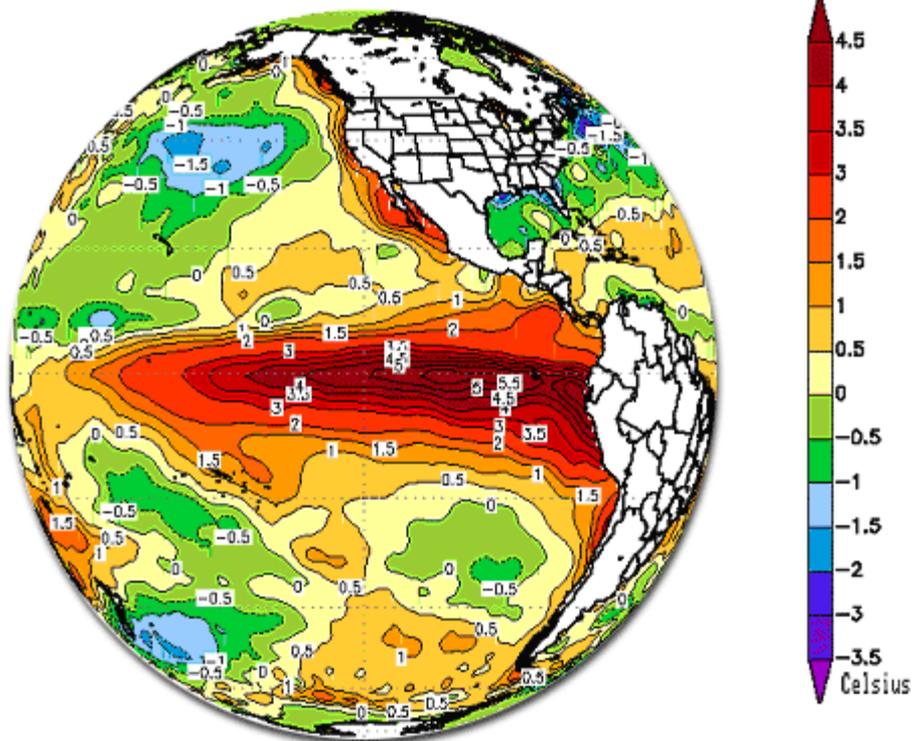
El Niño Oscilação Sul

A circulação geral da atmosfera é modificada por uma série de fatores ao longo do ano, tendo grande variação temporal e espacial. Na América do Sul, além dos ciclones e anticiclones, um fenômeno bastante conhecido, é a variação da circulação no sentido zonal (leste – oeste), conhecido como El Niño Oscilação Sul (ENOS) que provoca alterações no padrão de circulação geral da atmosfera, fazendo com que haja mudanças também nos padrões climáticos normalmente observados. Simplificadamente, conhece-se esse fenômeno com El-Niño/La-Niña.



A figura mostra a circulação observada no Oceano Pacífico Equatorial em anos normais. A célula de circulação com movimentos ascendentes no Pacífico Central/Ocidental e movimentos descendentes no oeste da América do Sul e com ventos de leste para oeste próximos à superfície (ventos alísios, setas brancas) e de oeste para leste em altos níveis da troposfera é a chamada célula de Walker. Esse célula de circulação contribui para o aumento da chuva na costa Australiana e diminuição dela na costa oeste da América do Sul.

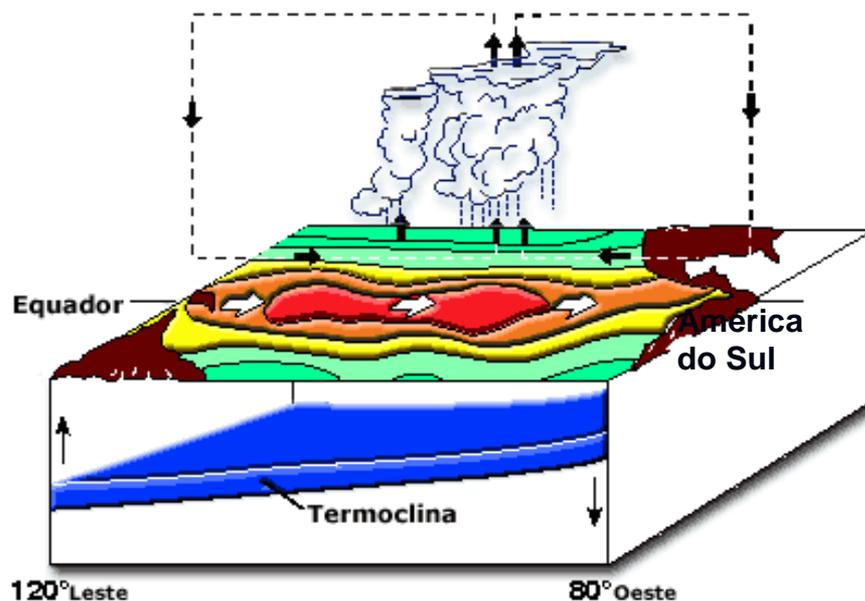
Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar
Dezembro de 1998



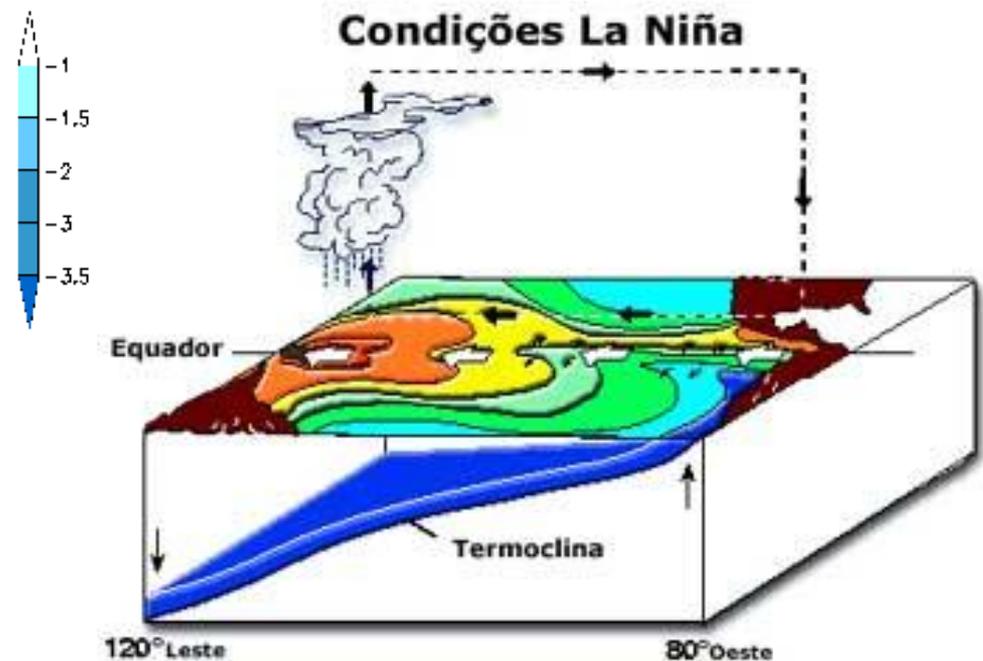
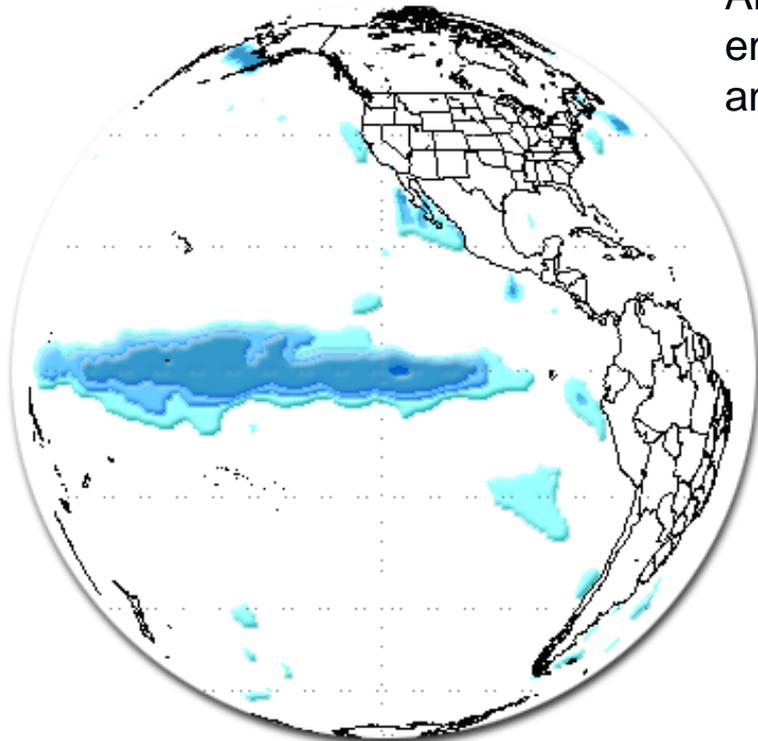
Nota-se que os ventos em superfície, em alguns casos, chegam até a mudar de sentido, ou seja, ficam de oeste para leste. Há um deslocamento da região com maior formação de nuvens e a célula de Walker fica bipartida.

El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anômalo das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento em escala mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias. Na verdade, ocorre um ciclo de aquecimento/resfriamento (respectivamente, “El-Niño” e “La-Niña”) da superfície do oceano Pacífico ao longo dos anos.

Condições El Niño

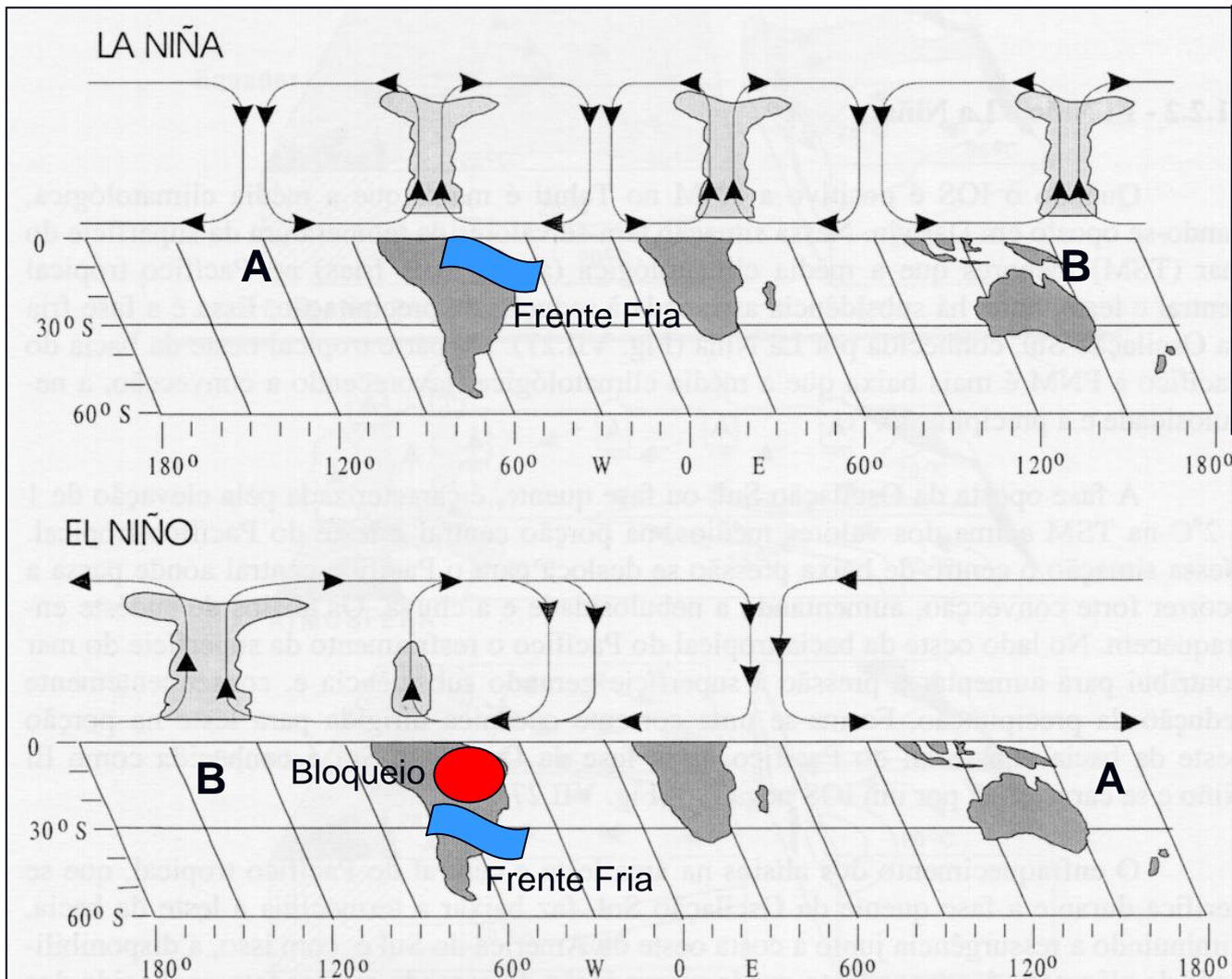


Anomalia de temperatura da superfície do mar em dezembro de 1988. Plotados somente as anomalias negativas menores que -1°C .



La Niña representa um fenômeno oceânico-atmosférico com características opostas ao EL Niño, e que caracteriza-se por um esfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical. Alguns dos impactos de La Niña tendem a ser opostos aos de El Niño, mas nem sempre uma região afetada pelo El Niño apresenta impactos significativos no tempo e clima devido à La Niña

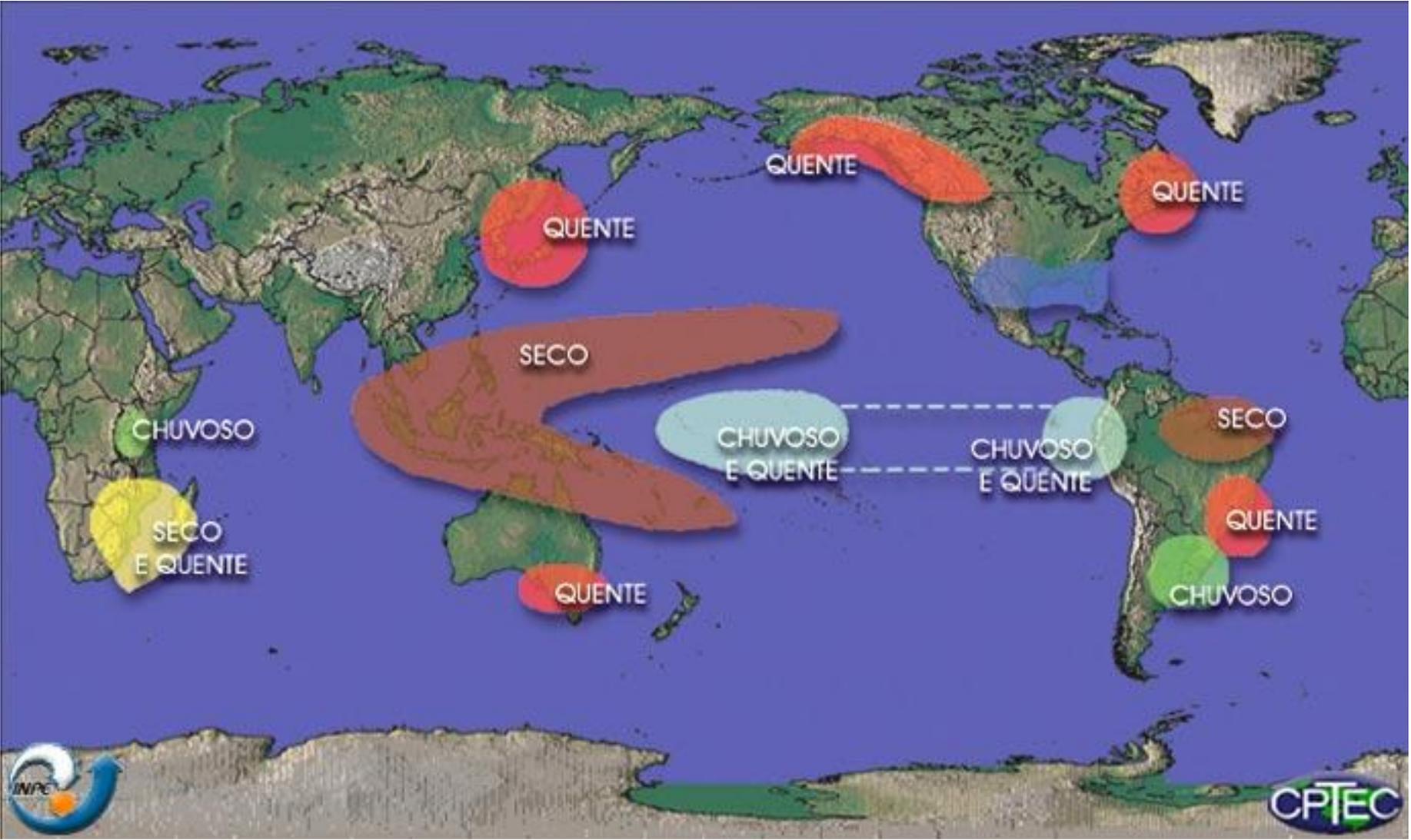
Esquema da Circulação Zonal na ocorrência de La-Niña e El-Niño (Fonte: Varejão-Silva. Meteorologia e Climatologia, INMET, 2001)



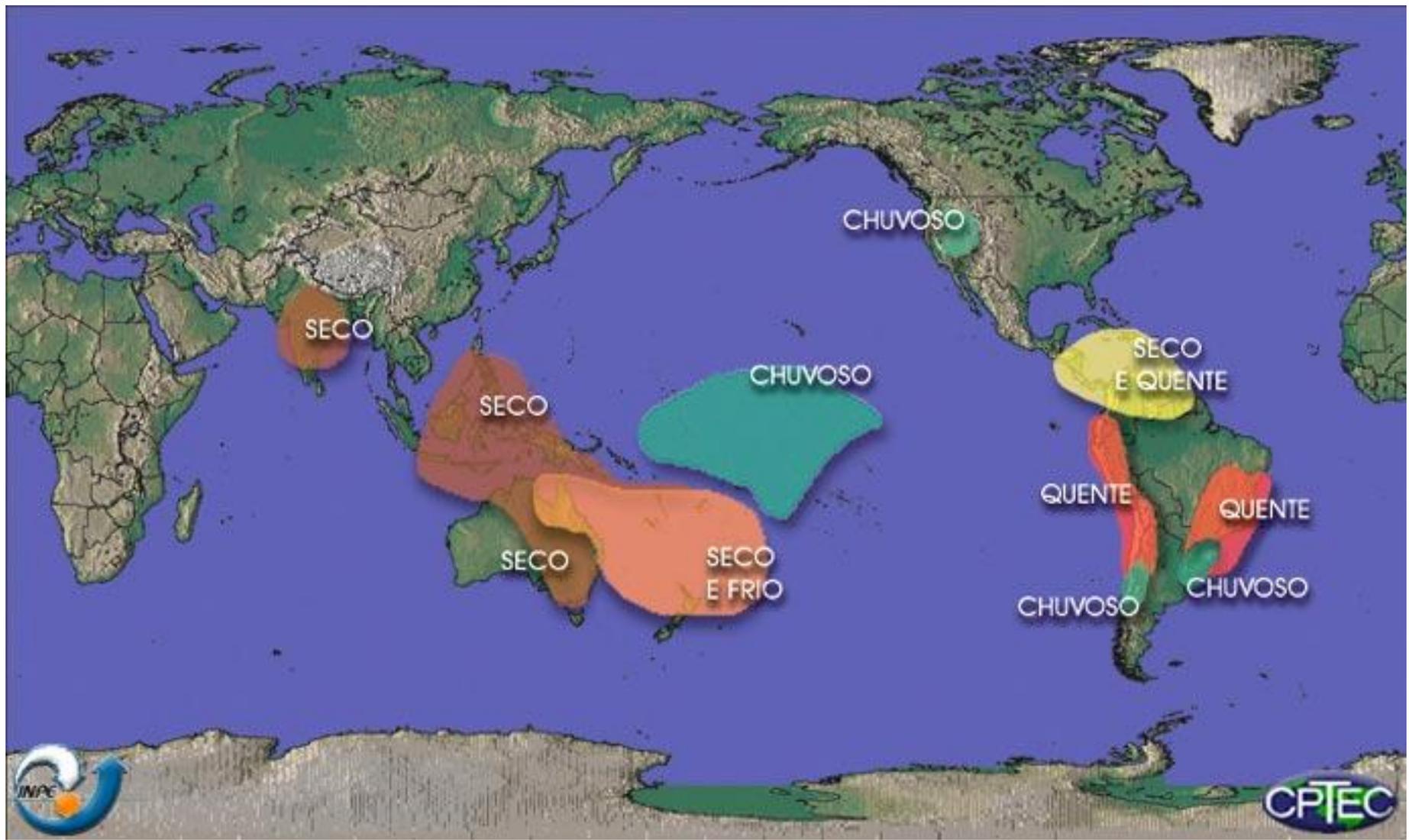
Na condição de La Niña, há um favorecimento ao avanço das frentes frias, que atingem as regiões N e NE, provocando chuvas acima do normal para essas regiões. Na região S, no entanto, as chuvas são reduzidas, já que as frentes passam rapidamente pela região.

Na condição de El Niño, há uma redução dos movimentos convectivos nas regiões N e NE, gerando um bloqueio ao avanço das frentes frias, que ficam semi-estacionárias no sul do Brasil, aumentando, assim, os níveis de chuva, especialmente nos estados da região Sul. Nas regiões N e NE as chuvas ocorrem abaixo dos índices normais.

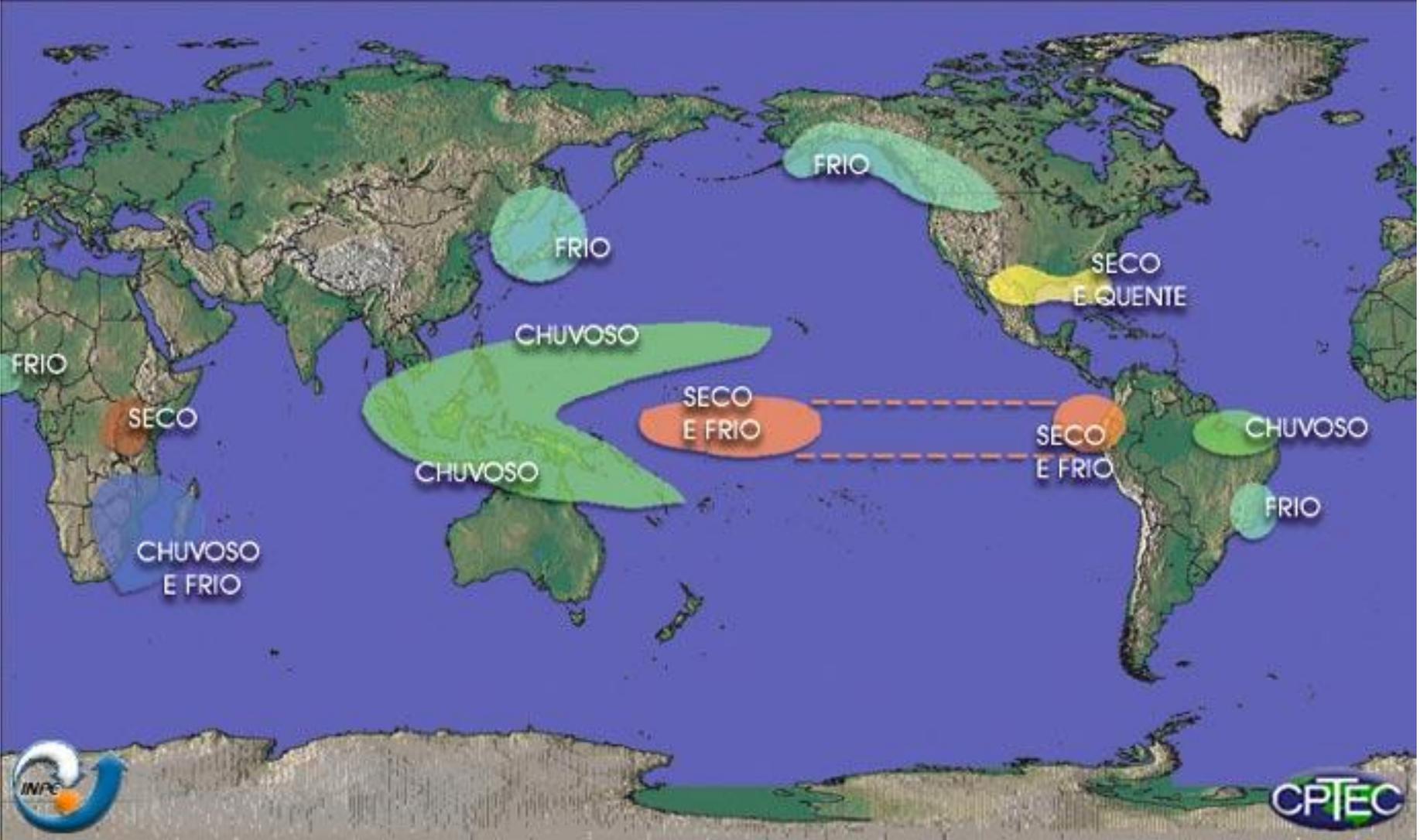
Impactos do El Niño de dezembro a fevereiro



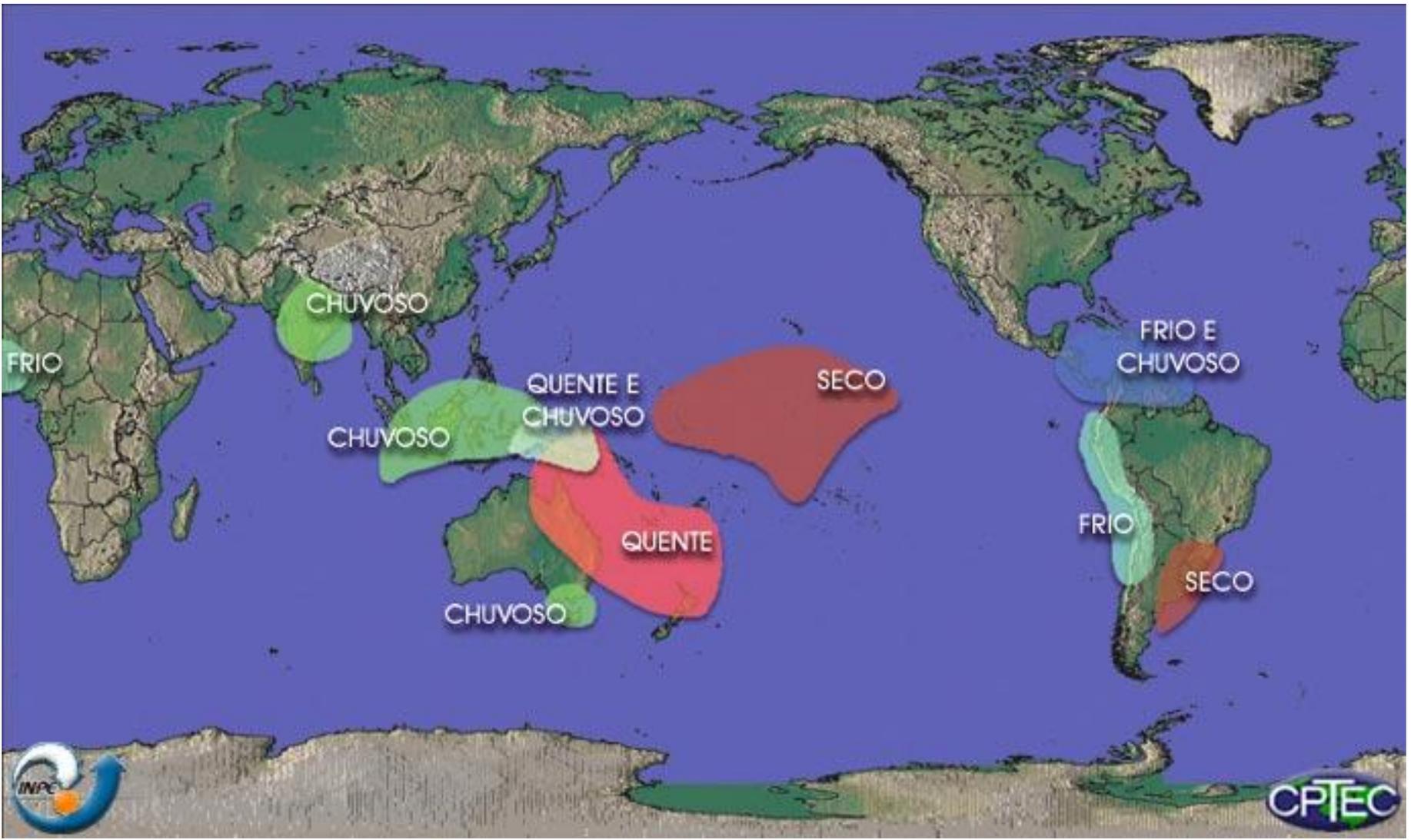
Impactos do El Niño de junho a agosto



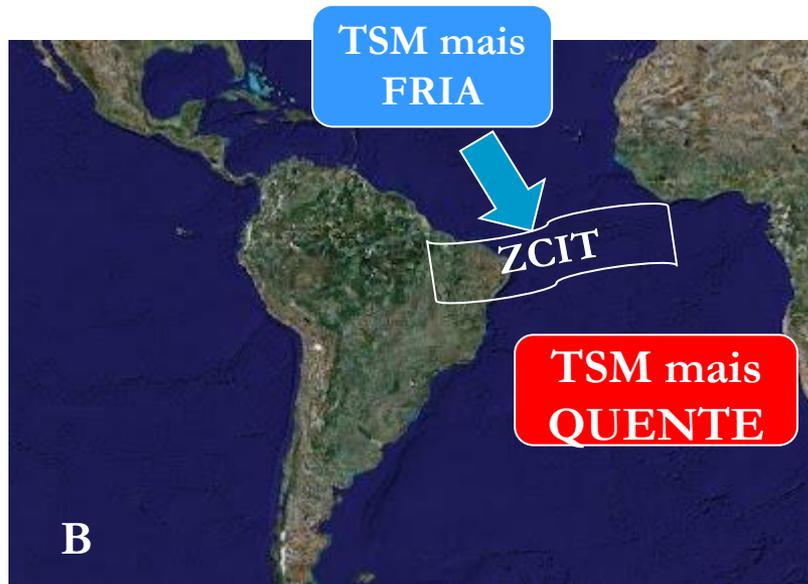
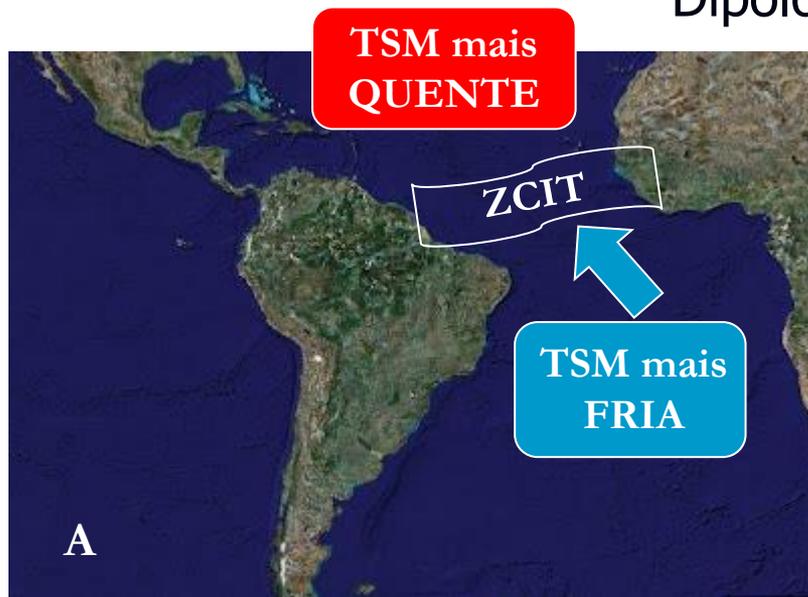
Impactos da La Niña de dezembro a fevereiro



Impactos do La Niña de junho a agosto



Dipolo do Atlântico



O Dipolo do Atlântico está relacionado à temperatura da superfície do mar (TSM) em diferentes partes do Oceano Atlântico. Essa diferença de temperatura gera um fluxo de ar no sentido da TSM mais fria para a TSM mais quente, já que o ar em contato com a superfície do mar se esquenta/resfria de acordo com a temperatura deste.

$$\text{DIPOLO} = \text{TSM}_{\text{Atlântico N}} - \text{TSM}_{\text{Atlântico S}}$$

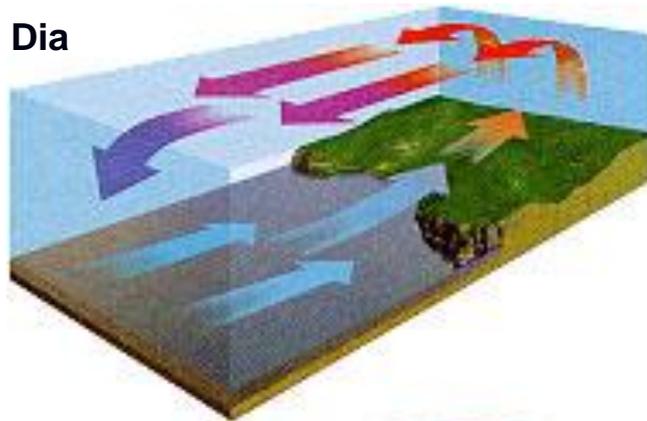
Quando o Dipolo é POSITIVO há um deslocamento da ZCIT para o norte, gerando, assim, redução de chuvas no NE do Brasil (Figura A).

Quando o Dipolo é NEGATIVO há um deslocamento da ZCIT para o sul, atingindo o NE do Brasil e trazendo mais chuvas para essa região (Figura B)

Circulações e Ventos Locais

A circulação geral da atmosfera também se modifica acentuadamente tanto temporalmente como espacialmente, devido ao aquecimento diferenciado entre continentes e oceanos, configuração de encostas, sistemas orográficos e topografia, originando circulações e ventos “locais”.

Brisas Terra-Mar



← **Brisa Marítima** – ocorre durante o dia, quando o oceano encontra-se relativamente mais frio que o continente



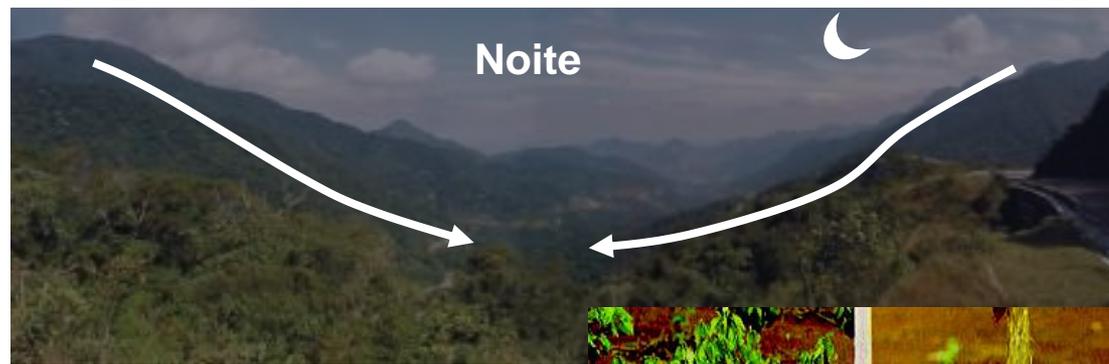
← **Brisa Terrestre** – ocorre durante a noite, quando o continente encontra-se relativamente mais frio que o oceano

Brisas de Vale e de Montanha



Brisa de Vale (ou anabática) - ocorre durante o dia, devido à diferença de temperatura entre o vale (>) e os espigões (<). Auxilia na formação de nuvens.

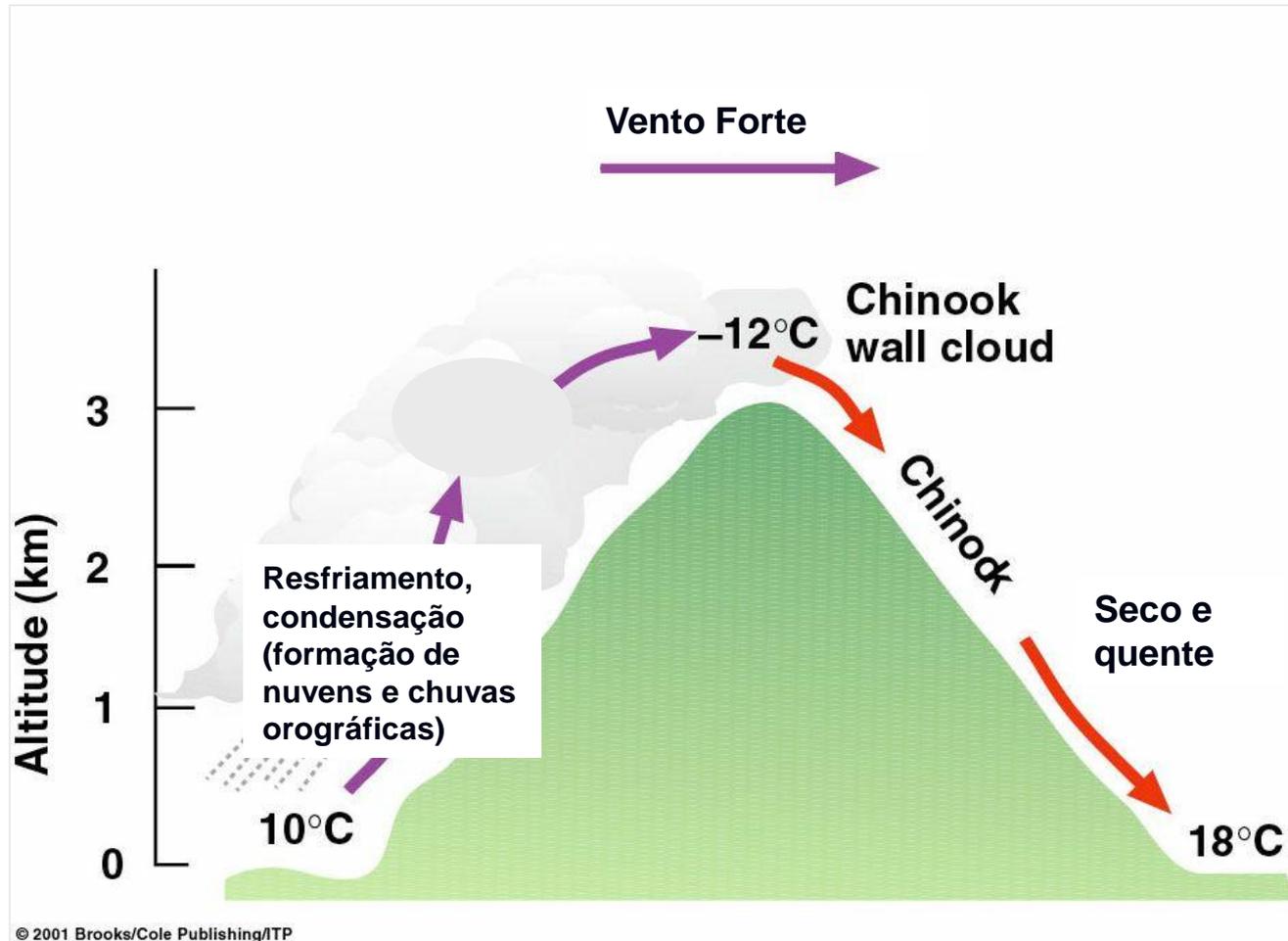
Brisa de Montanha (ou catabática) – ocorre durante a noite, pois o ar frio que se forma, sendo mais denso, escoar pela encosta indo se depositar na baixada. Durante noite de intenso resfriamento a brisa catabática pode provocar a “geada de canela”, que é a queima pelo frio dos vasos condutores das plantas, fazendo com que a parte aérea morra e haja rebrota próximo ao solo.



Geada de canela



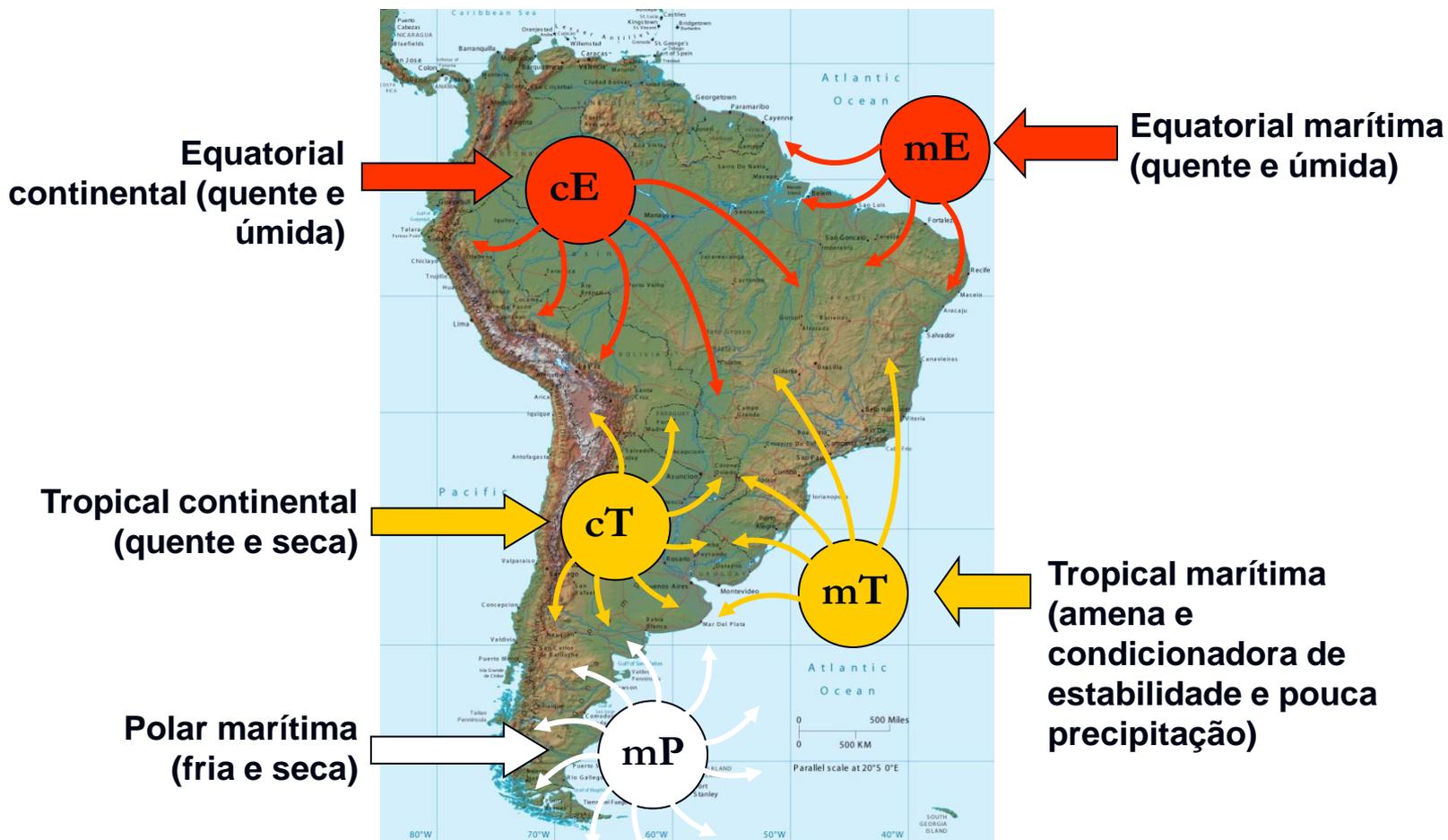
Ventos Fohen ou Chinook



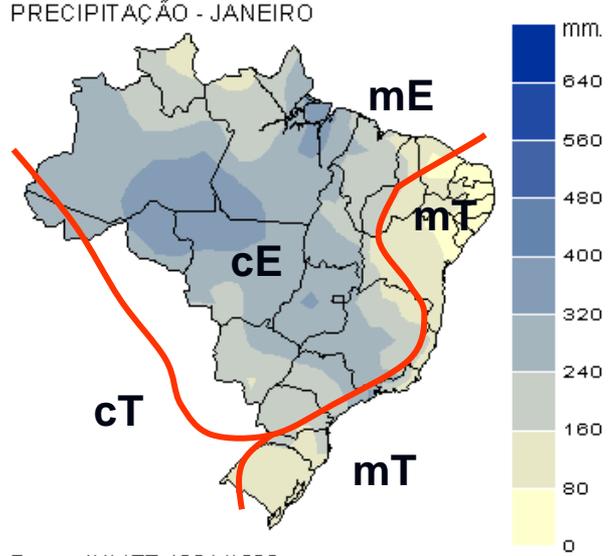
Ventos fortes e secos que se formam a sotavento de barreiras orográficas. Muito comuns nas Montanhas Rochosas (América do Norte) e nos Andes (América do Sul)

Massas de ar

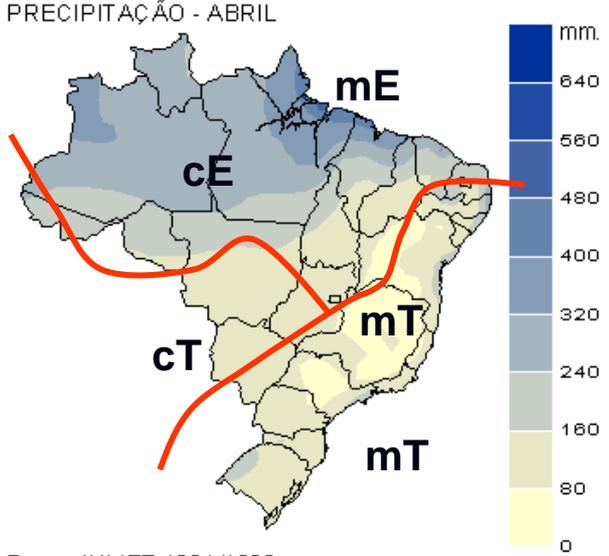
As massas de ar são grandes volumes que, ao se deslocarem lentamente ou estacionarem, sobre uma região adquirem as características térmicas e de umidade dela. As massas de ar são denominadas conforme sua região de origem e o tipo de superfície com as quais elas estavam em contato. As principais massas que atuam na América do Sul são:



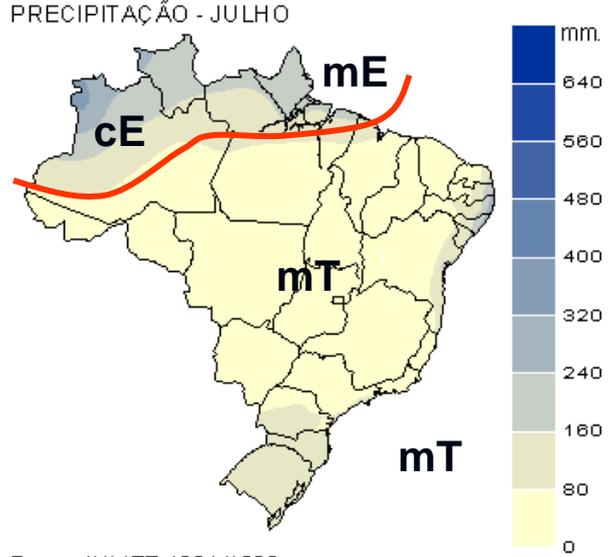
Distribuição das principais massas de ar que atuam no Brasil e sua relação com a chuvas mensais



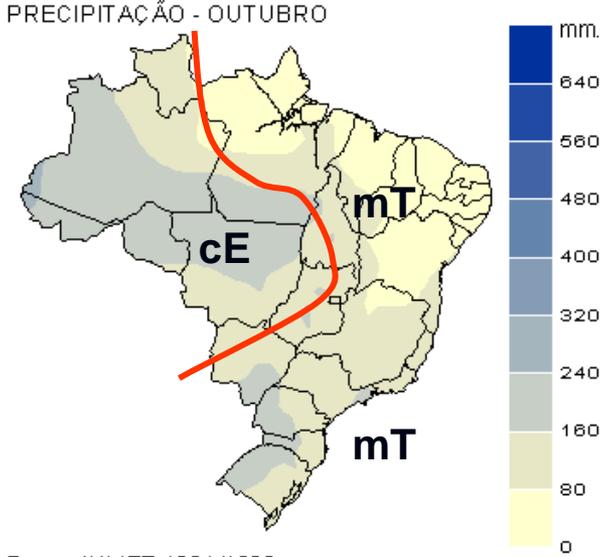
Fonte: INMET 1931/1990



Fonte: INMET 1931/1990



Fonte: INMET 1931/1990



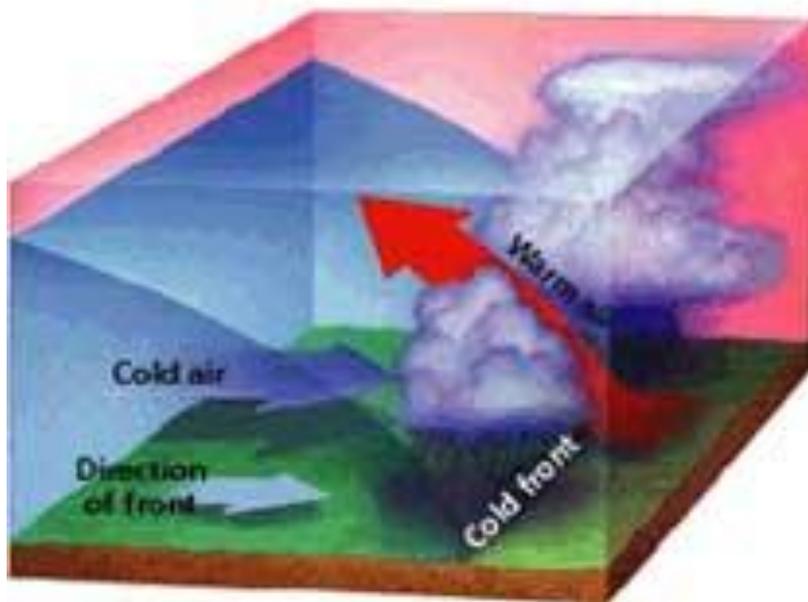
Fonte: INMET 1931/1990

Frentes

Quando ocorre o encontro de duas massas de ar, elas não se misturam imediatamente. A massa mais fria (mais densa) é sobreposta pela massa mais quente (menos densa), formando uma zona de transição, denominada de frente.

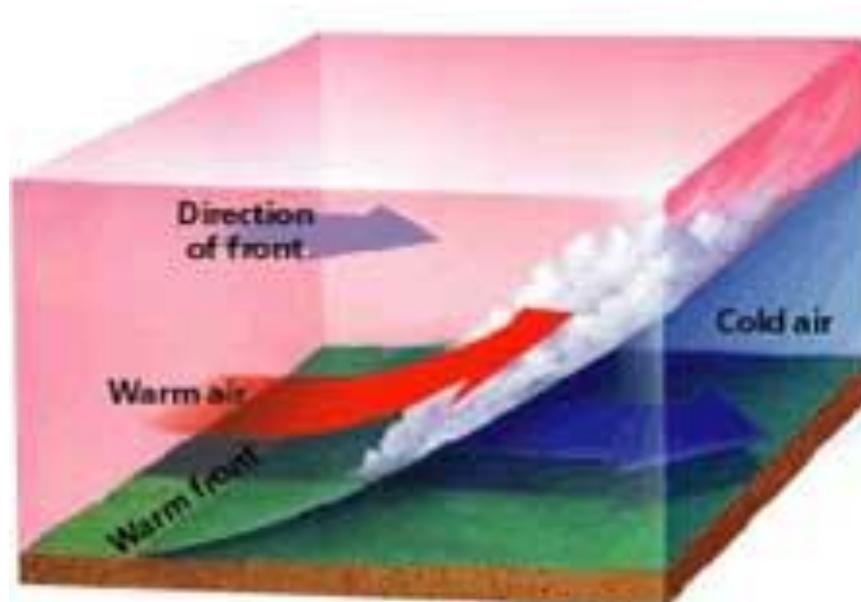
Se a massa fria avança em direção à massa quente, a frente é denominada FRIA

Frente Fria



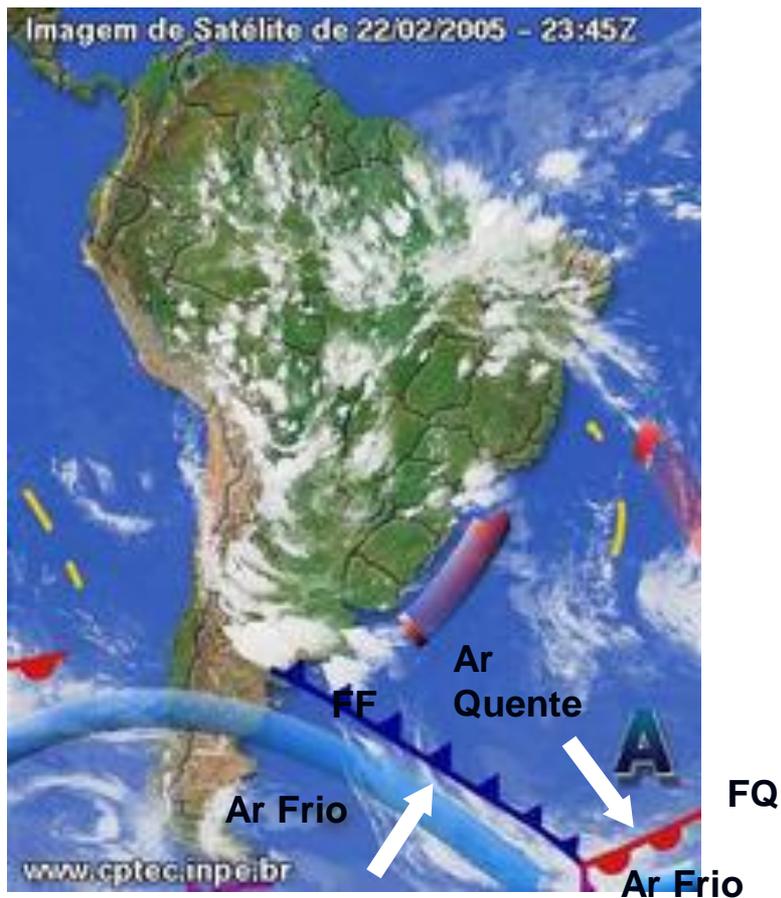
Se a massa quente avança em direção à massa fria, a frente é denominada QUENTE

Frente Quente

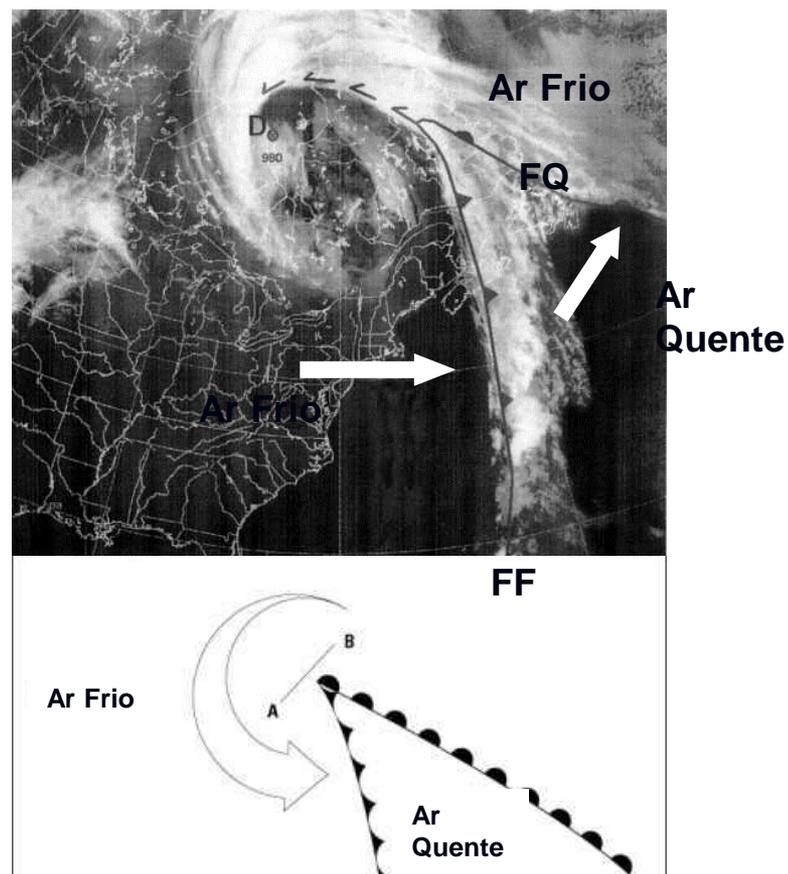


As frentes frias e quentes ocorrem concomitantemente, variando apenas no espaço.

Frentes fria e quente no Hemisfério Sul



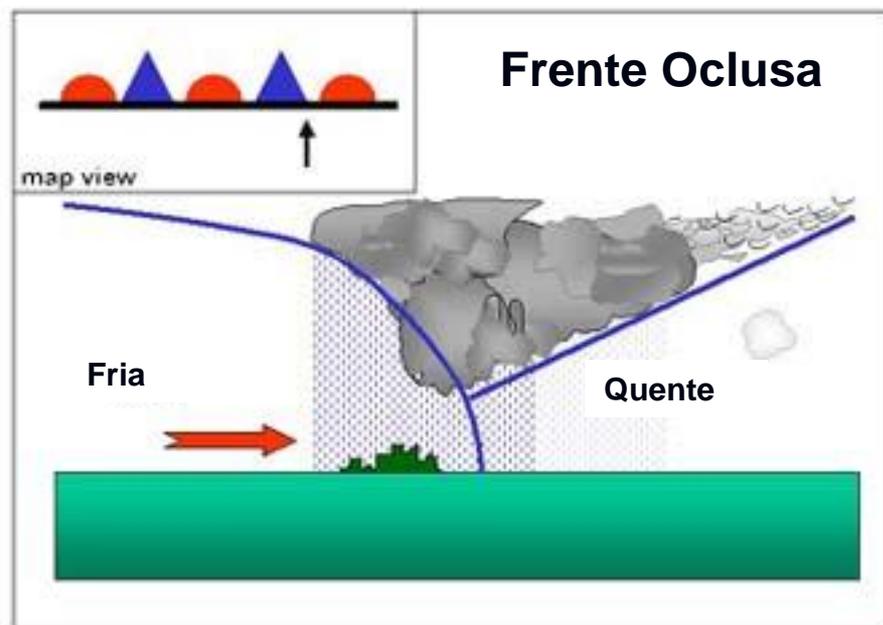
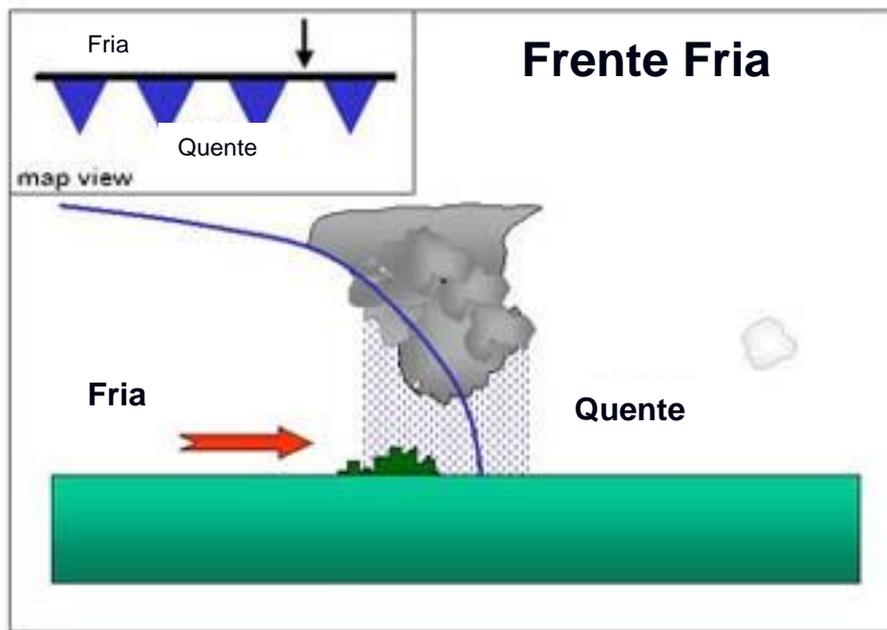
Frentes fria e quente no Hemisfério Norte

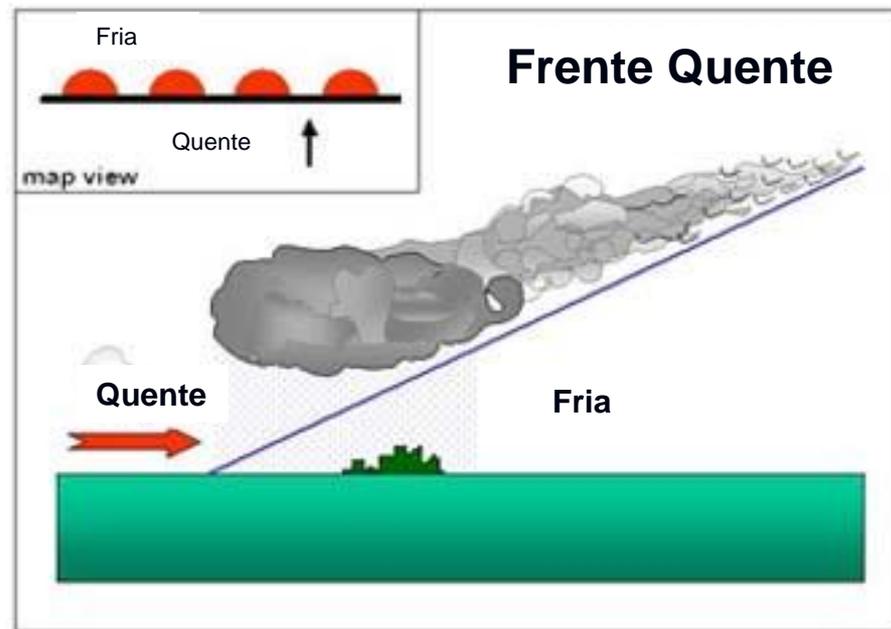
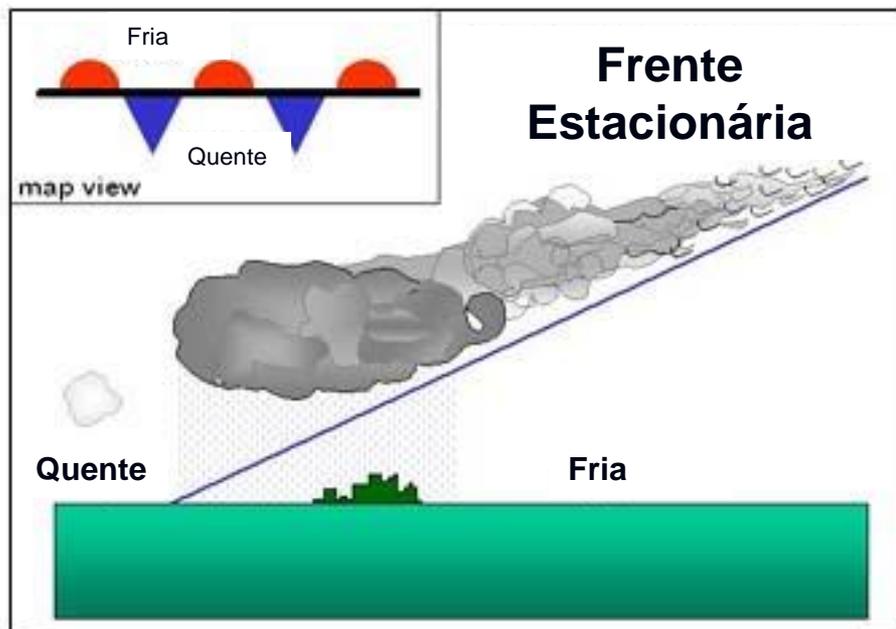


A América do Sul, devido ao seu formato, sofre a influência predominante das FFs. As FQs situam-se predominantemente sobre o Oceano Atlântico.

Além da frente fria, que provoca a ocorrência de chuvas durante a passagem do sistema frontal e queda na temperatura, e da frente quente, que promovem chuvas amenas antes da passagem do sistema frontal e logo após aumento da temperatura, existem ainda as frentes oclusas e as frentes estacionárias. Nesses dois últimos casos, as chuvas são intensas e por períodos prolongados.

Veja nas figuras a seguir as diferenças entre os quatro tipos de frentes mencionados



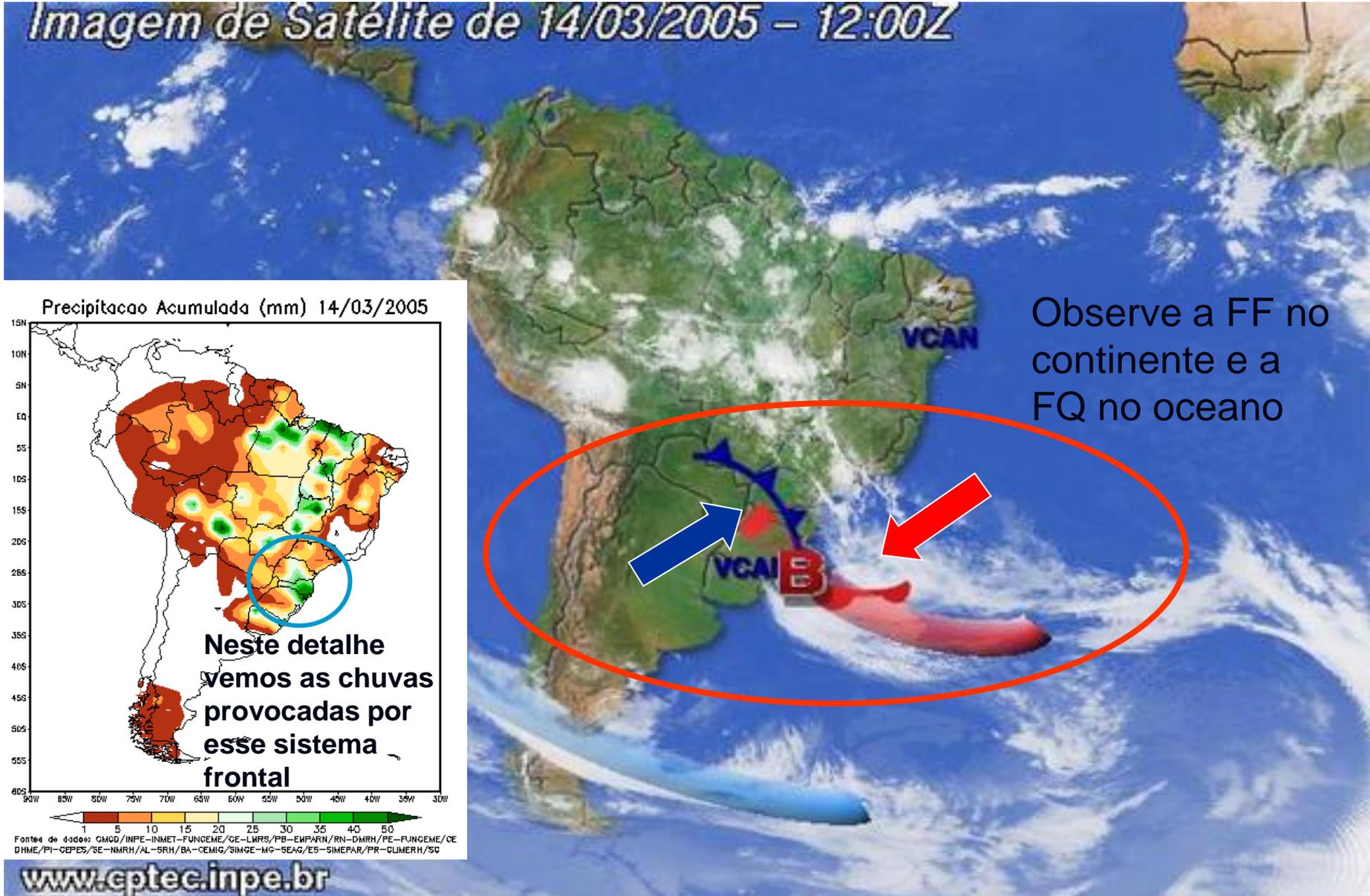


Na frente estacionária, não há predomínio de avanço de uma massa em direção à outra, fazendo com que o sistema fique estacionário sobre uma região, provocando chuvas contínuas.

A figura a seguir mostra uma frente fria e uma frente quente sobre a região S e SE do Brasil. A área branca corresponde à nebulosidade, formada devido à ação das frentes.

Frente fria e quente na Região Sul do Brasil

Imagem de Satélite de 14/03/2005 - 12:00Z



Observe a FF no continente e a FQ no oceano

Precipitacao Acumulada (mm) 14/03/2005

Neste detalhe vemos as chuvas provocadas por esse sistema frontal

Fontes de dados: CMG/INPE-INMET-FUNCEME/GE-LWRS/PB-EWPAR/RN-DMRH/PE-FUNCEME/CE-DHME/PI-CEPES/SE-NMRH/AL-SRH/BA-CEMIG/SIMGE-MG-SEAG/ES-SIMEPAR/PR-GLIMERH/SC

Com mais esta aula finalizamos os tópicos relativos à formação das condições do tempo e do clima. Vale lembrar que as condições meteorológicas, e por consequência as condições climáticas, de um local dependem da combinação dinâmica dos diversos fatores condicionadores, dos quais os mais importantes foram discutidos ao longo das últimas aulas: latitude, altitude, continentalidade, correntes oceânicas, anti-ciclones semi-estacionários, circulação geral da atmosfera, circulação zonal, circulação local, massas de ar e frentes.



Teste rápido #4

- 1) Qual a importância da concentração dos gases que compõe a atmosfera terrestre, em termos físicos e biológicos?
- 2) Quais os principais gases de efeito estufa e quais são suas principais fontes naturais e antrópicas de emissão?
- 3) Quais as forças que atuam no movimento das massas de ar e, conseqüentemente, na formação dos ventos? Quais os ventos predominantes que ocorrem na macro-escala?
- 4) Liste as principais conseqüências para o Brasil dos fenômenos El Niño e La Niña.
- 5) Quais as massas de que atuam no Brasil e qual a relação delas com a estacionalidade das chuvas no país?
- 6) Qual a diferença entre as frentes fria e quente?