

Mudanças Climáticas: os Desafios Tecnológicos para o Planejamento e o Manejo da Irrigação



Prof. Paulo C. Sentelhas
Dept. de Engenharia de Biossistemas - ESALQ
ESALQ - Universidade de São Paulo



Mudanças Climáticas: os Desafios Tecnológicos para o Planejamento e o Manejo da Irrigação

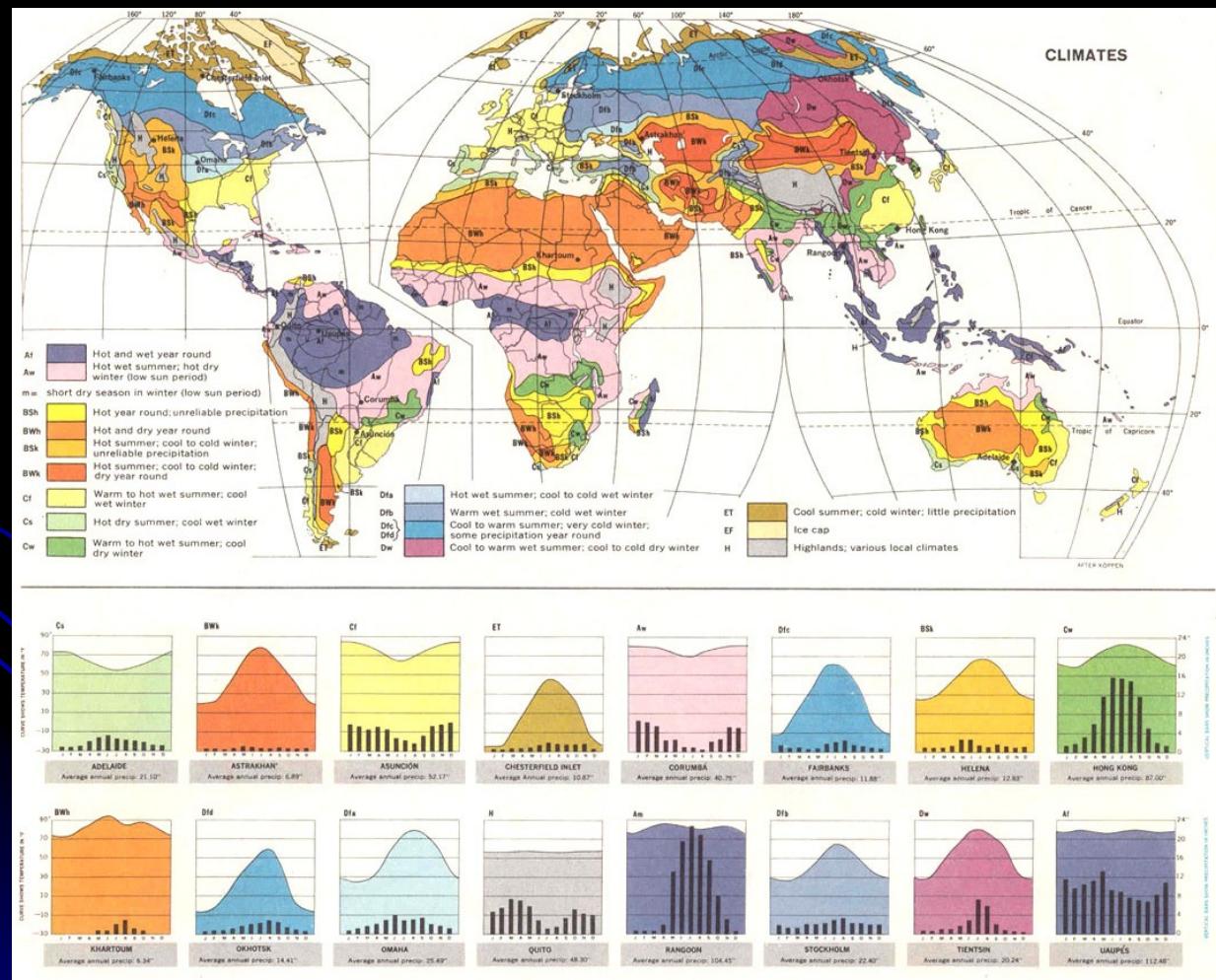
Tópicos da Apresentação



- Conceituação de Clima, Variabilidade, Tendência, Anomalia e Mudanças Climáticas
- Conseqüências do Aquecimento Global para o Clima da Terra
- Conseqüências das Mudanças Climáticas na Agricultura em Geral
- Conseqüências das Mudanças Climáticas na Agricultura Irrigada
- O que podemos fazer para minimizar os impactos do Aquecimento Global na Agricultura
- Os desafios tecnológicos para o planejamento e o manejo da irrigação diante das mudanças climáticas

Clima

Define-se **CLIMA** como sendo uma descrição estática, que expressa as condições médias do seqüenciamento do tempo meteorológico. Portanto, mede-se primeiro as condições instantâneas da atmosfera (**Tempo**) de um local por vários anos e, posteriormente, estime-se qual deve ser a condição média (provável), ou seja, o **CLIMA** (Normal Climatológica).



Fatores Meteorológicos / Climáticos



Fatores são agentes causais que condicionam os **elementos meteorológicos / climáticos**, ou seja, a radiação solar, a temperatura do ar, a chuva, a velocidade e direção do vento, a pressão atmosférica, a umidade relativa do ar, etc... A atuação dos diversos fatores faz com que os elementos meteorológicos variem no tempo e no espaço.



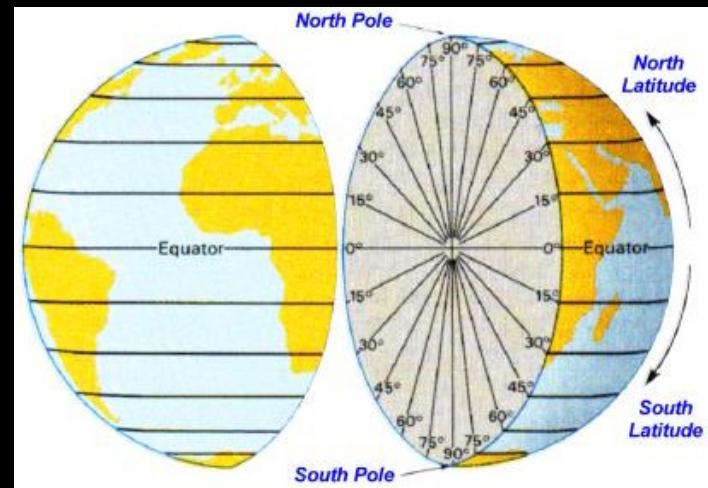
Alguns elementos meteorológicos podem atuar também como fatores, o que é o caso da **radiação solar**, que pode ser tomada tanto como elemento, por ser uma variável que quantifica a disponibilidade de energia solar na superfície terrestre, como também pode ser considerada um fator, por condicionar a temperatura, a pressão e indiretamente outros elementos met./clim.

Fatores do Macroclima

São aqueles que atuam em escala regional ou geográfica. São classificados como permanentes (latitude, altitude/relevo, oceanidade/continentalidade, etc.) ou variáveis (correntes oceânicas, centros semi-permanentes de alta e baixa pressão, massas de ar, composição atmosférica, etc.).

→ Latitude

Esse fator está ligado às relações Terra-Sol, que envolve o movimento aparente do Sol no sentido N-S ao longo do ano, o qual é consequência do movimento de translação e da inclinação do eixo terrestre ($23^{\circ}27'$) em relação à perpendicular ao plano da eclíptica. Com isso, ocorre variação espacial e temporal do ângulo de incidência dos raios solares na superfície (ângulo zenital) e do fotoperíodo, os quais por sua vez geram valores diários de irradiância solar variáveis de acordo com a latitude e com o dia do ano, resultando em diferenças nas condições térmicas.

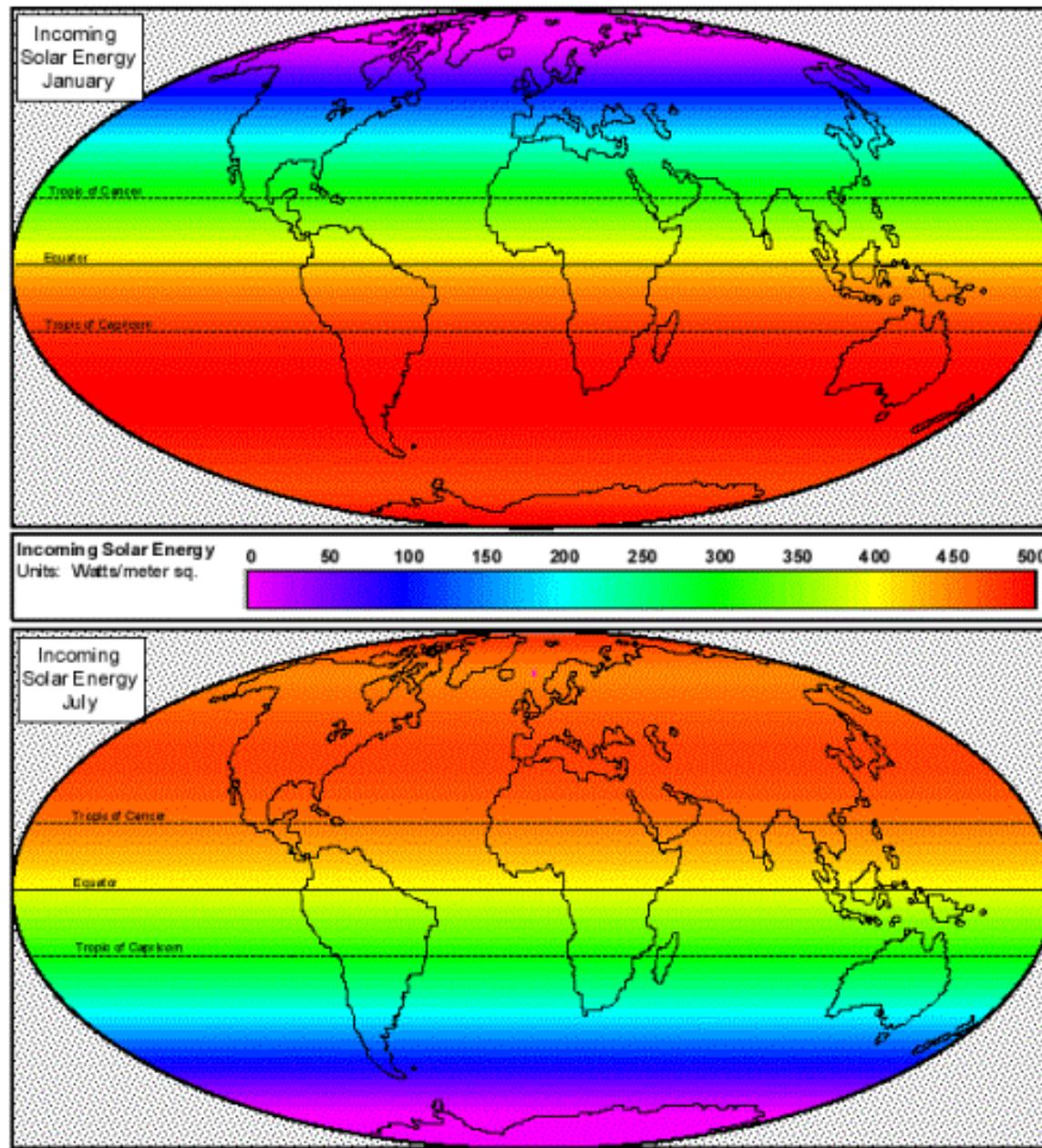


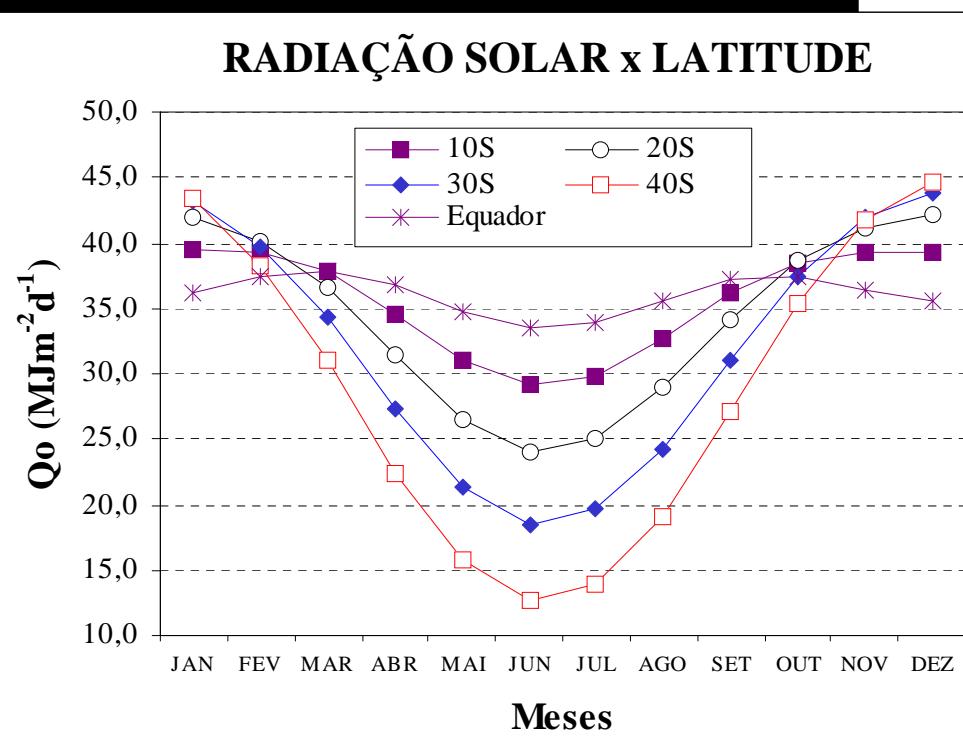
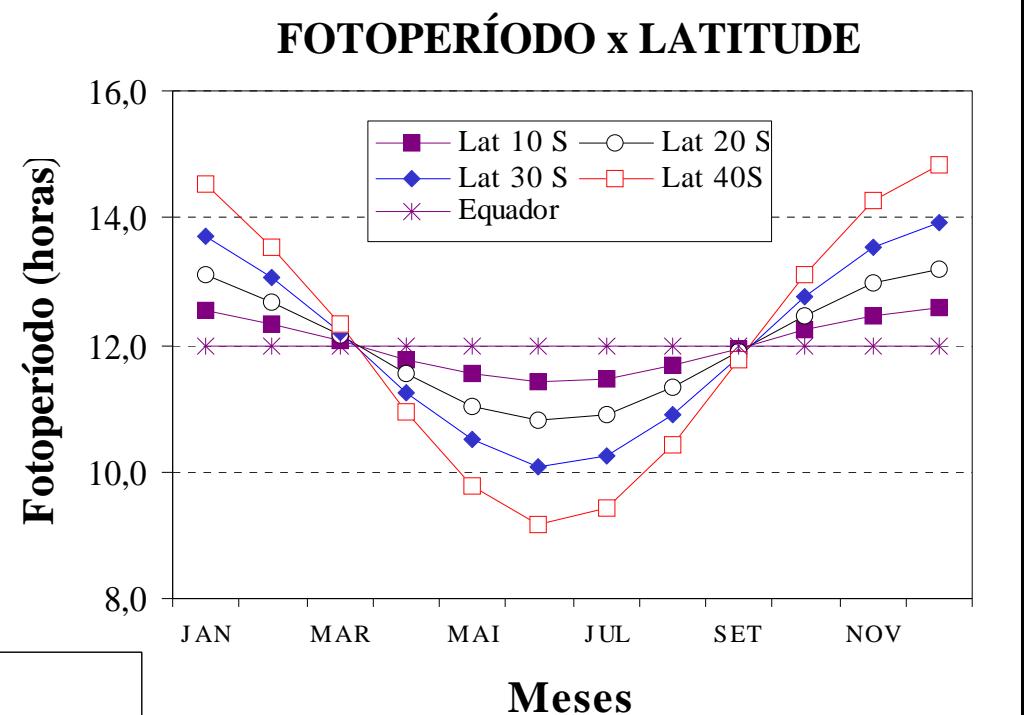
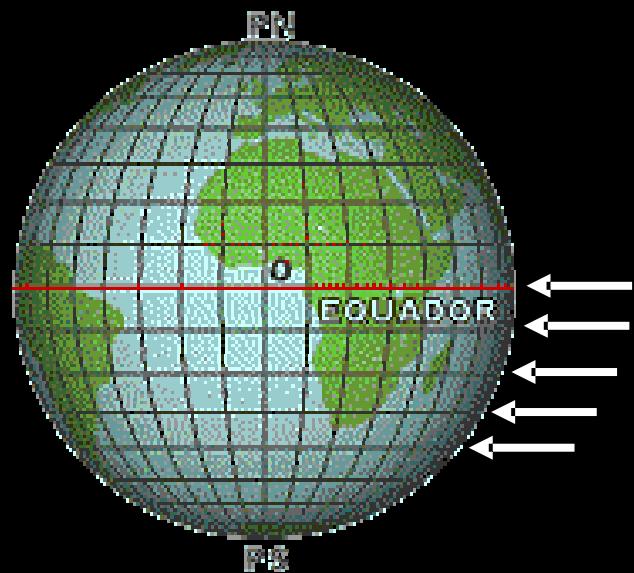
> Latitude
< Temp média anual



O movimento de *Translação* da Terra em torno do Sol provoca uma variação estacional (ou sazonal) da irradiância solar na superfície terrestre, gerando as estações do ano. Essa variação estacional se deve à inclinação do eixo terrestre em $23^{\circ}27'$ em relação à normal ao plano da eclíptica. Isso faz com que um observador na superfície terrestre tenha a sensação de que o Sol se movimenta no sentido Norte-Sul ao longo do ano

Distribuição da Radiação Solar na Superfície Terrestre nos meses de janeiro e julho





Variação da radiação solar no topo da atmosfera (Qo) e do fotoperíodo (N) com a LATITUDE

Latitude x Temperatura média anual

Localidades ao nível do mar

Belém (PA) – Lat = 1°27'S

Tmax = 31,4°C, Tmin, 21,9°C, Tmed = 25,9°C



Salvador (BA) – Lat = 13°01'S

Tmax = 28,2°C, Tmin, 22,7°C, Tmed = 25,2°C



Rio de Janeiro (RJ) – Lat = 22°55'S

Tmax = 27,2°C, Tmin, 21,0°C, Tmed = 23,7°C



Florianópolis (SC) – Lat = 27°35'S

Tmax = 24,2°C, Tmin, 17,4°C, Tmed = 20,3°C



Torres (RS) – Lat = 29°20'S

Tmax = 22,3°C, Tmin, 15,7°C, Tmed = 18,9°C

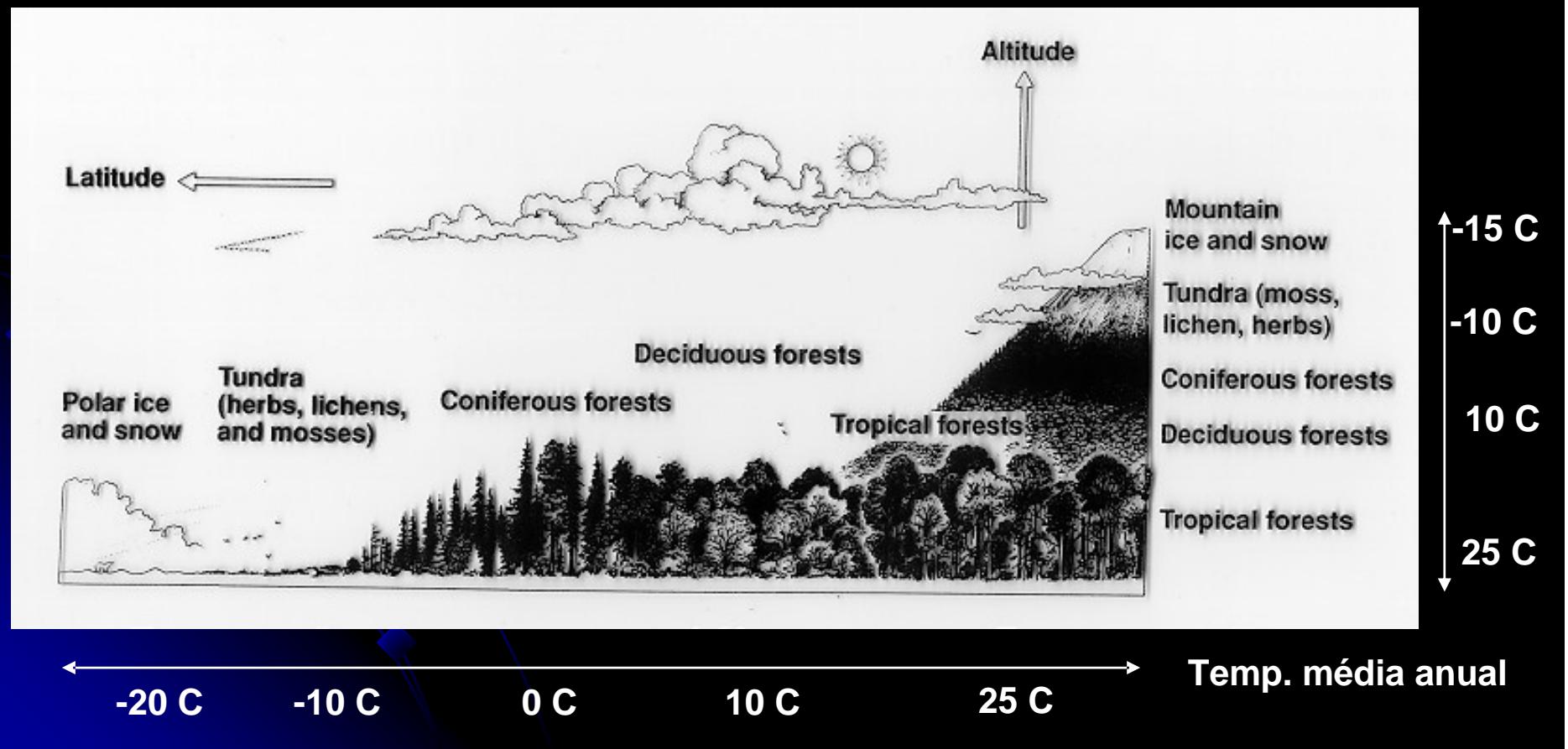


→ Altitude

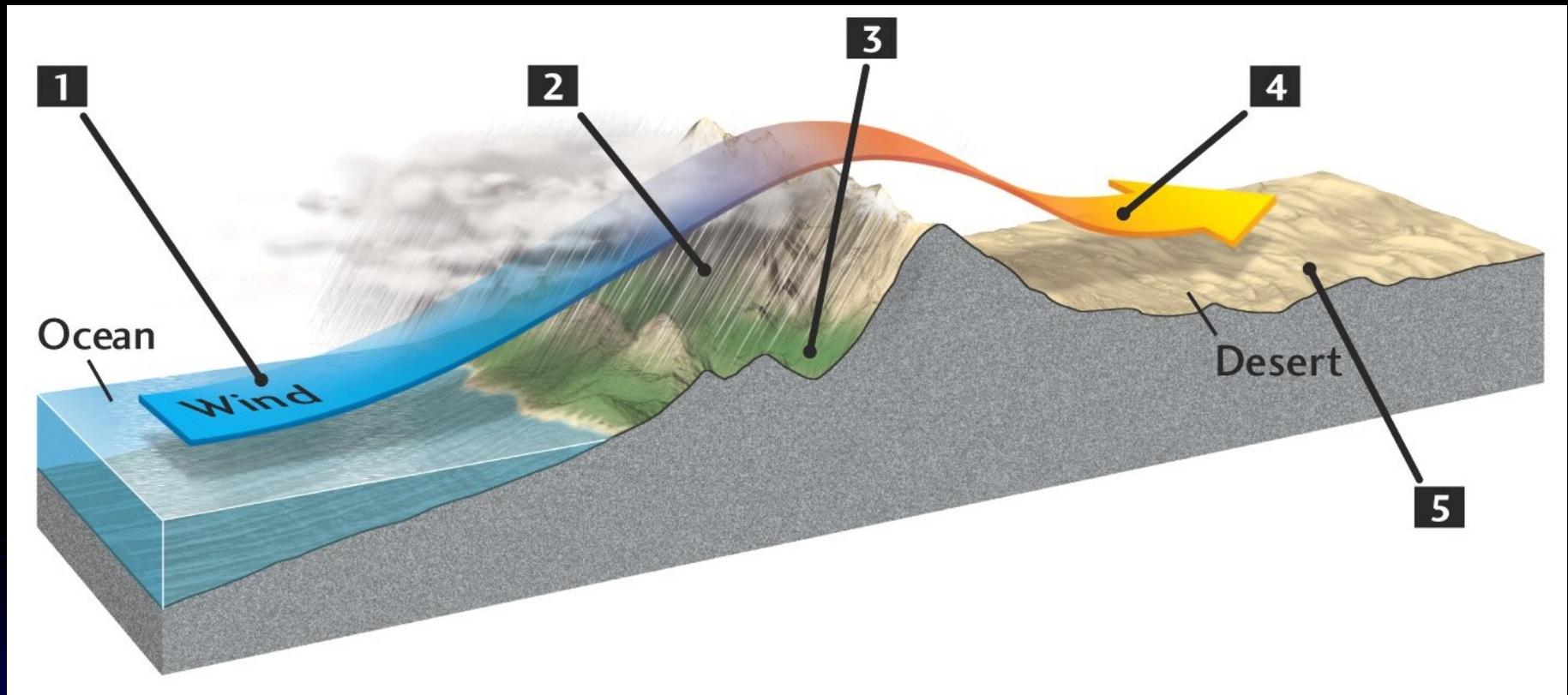
O aumento da altitude ocasiona diminuição da temperatura. Isso ocorre em consequência da rarefação do ar e da diminuição da pressão atmosférica

$$\text{Média} \approx -0,6^\circ\text{C} / 100\text{m}$$

(esse valor depende da quantidade de vapor no ar)



Além disso, a associação da altitude com o relevo pode condicionar o regime de chuvas de uma região. As chuvas orográficas são um exemplo disso:



1 - ar quente e úmido; 2 - resfriamento do ar à medida que ele se eleva; 3 - condensação da umidade e formação de chuvas; 4 – aquecimento do ar seco; 5 – clima quente e seco

Esse efeito ocorre também na região da Serra do Mar no Estado de São Paulo, onde a chuva total anual é de 2.150 mm/ano em Santos, de 3.800 mm/ano no alto da Serra e de 1.300 mm/ano na cidade de S. Paulo.

→ Oceanidade / Continentalidade

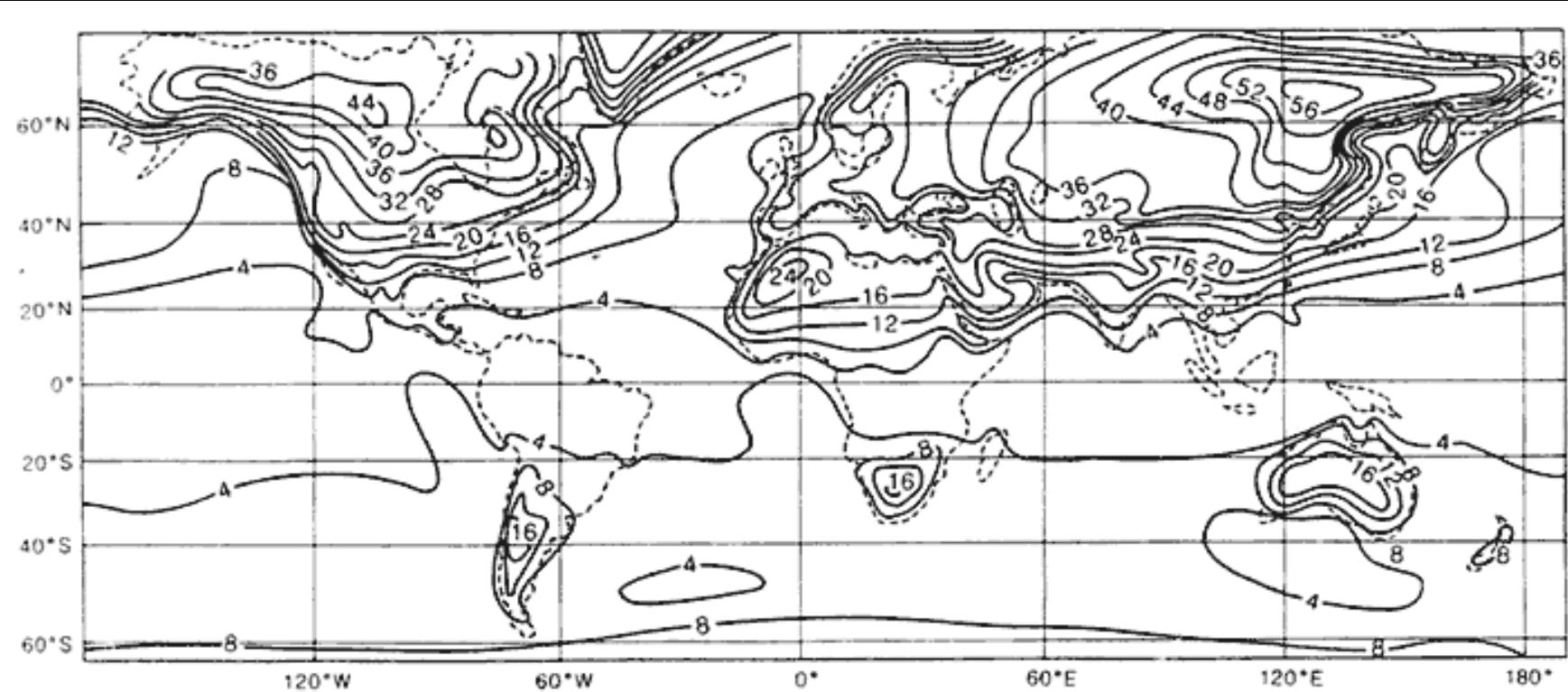
Esses termos se referem, respectivamente, à proximidade ou distância do oceano ou grandes massas de água. **Oceanidade** se refere ao efeito do oceano sobre o clima de uma região litorânea. A água do oceano atua como um moderador térmico, ou seja, não permite que grandes variações de temperatura ocorram. Isso se dá pelo fato da água ter maior calor específico do que o ar, resfriando-se e aquecendo-se mais lentamente. A massa de água ao trocar calor com o ar faz com que haja uma atenuação tanto do aquecimento do ar como de seu resfriamento, reduzindo assim a amplitude térmica ($T_{max} - T_{min}$). A **continentalidade** ocorre em locais situados no interior dos continentes, portanto sem sofrer efeito dos oceanos. Nessa condição, as amplitudes térmicas são maiores, tanto em termos diários como em termos anuais.

Cuiabá → Amplitude térmica mensal entre 8 e 17°C

Salvador → Amplitude térmica mensal entre 3 e 6°C

Numa escala geográfica maior, o poder moderador dos oceanos explica também porque as amplitudes térmicas (verão – inverno) são maiores no HN e menores do HS. Veja a figura a seguir e comprove isso...

Oceanidade / Continentalidade – Diferença entre os hemisférios



Amplitude térmica anual (diferença entre a Tmed do mês mais quente e do mês mais frio) decorrente dos efeitos da continentalidade/oceanidade.

HN → Continente > Oceano → > Amplitude Térmica
HS → Continente < Oceano → < Amplitude Térmica

→ Correntes Oceânicas

A movimentação contínua das águas oceânicas em função de diferenças de densidade (causadas por dif. de temp. e salinidade e pela rotação da Terra) gera correntes que se movem de maneira organizada, mantendo as suas características físicas, as quais diferem das águas adjacentes. As correntes que circulam dos Pólos para o Equador são FRIAS e as que circulam do Equador para os Pólos são QUENTES.

A atmosfera em contato com essas massas de água entram em equilíbrio térmico com a superfície. Por isso, as correntes tem grande efeito sobre o regime térmico e hídrico (chuvas) na faixa litorânea dos continentes.

Correntes Frias → Condicionam clima ameno e seco

Correntes Quentes → Condicionam clima quente e úmido

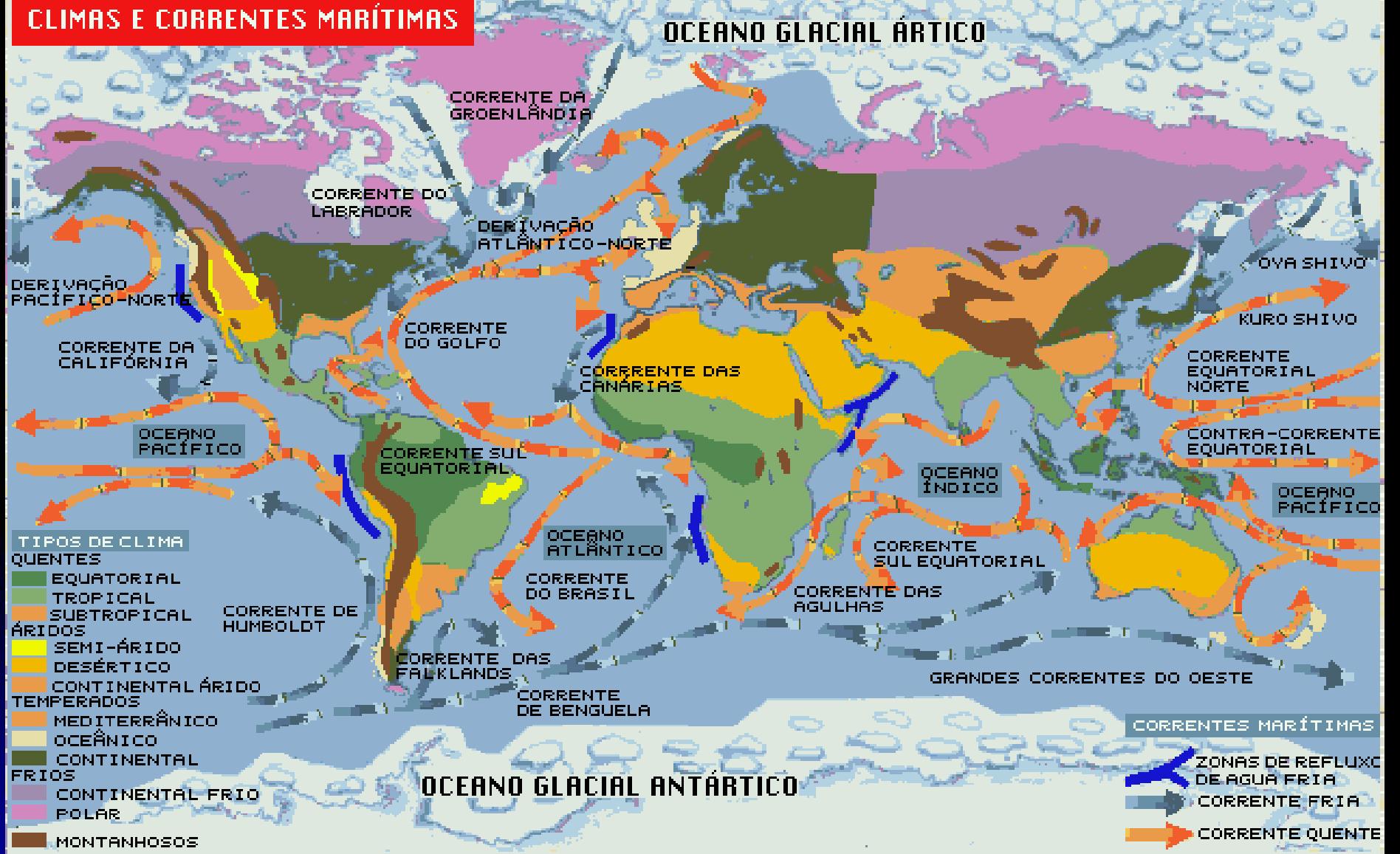
Exemplo:

Salvador, BA, Brasil → $T_{anual} = 24,9^{\circ}\text{C}$ e $P_{anual} = 2.000 \text{ mm}$

Lima, Perú → $T_{anual} = 19,4^{\circ}\text{C}$ e $P_{anual} = 40 \text{ mm}$

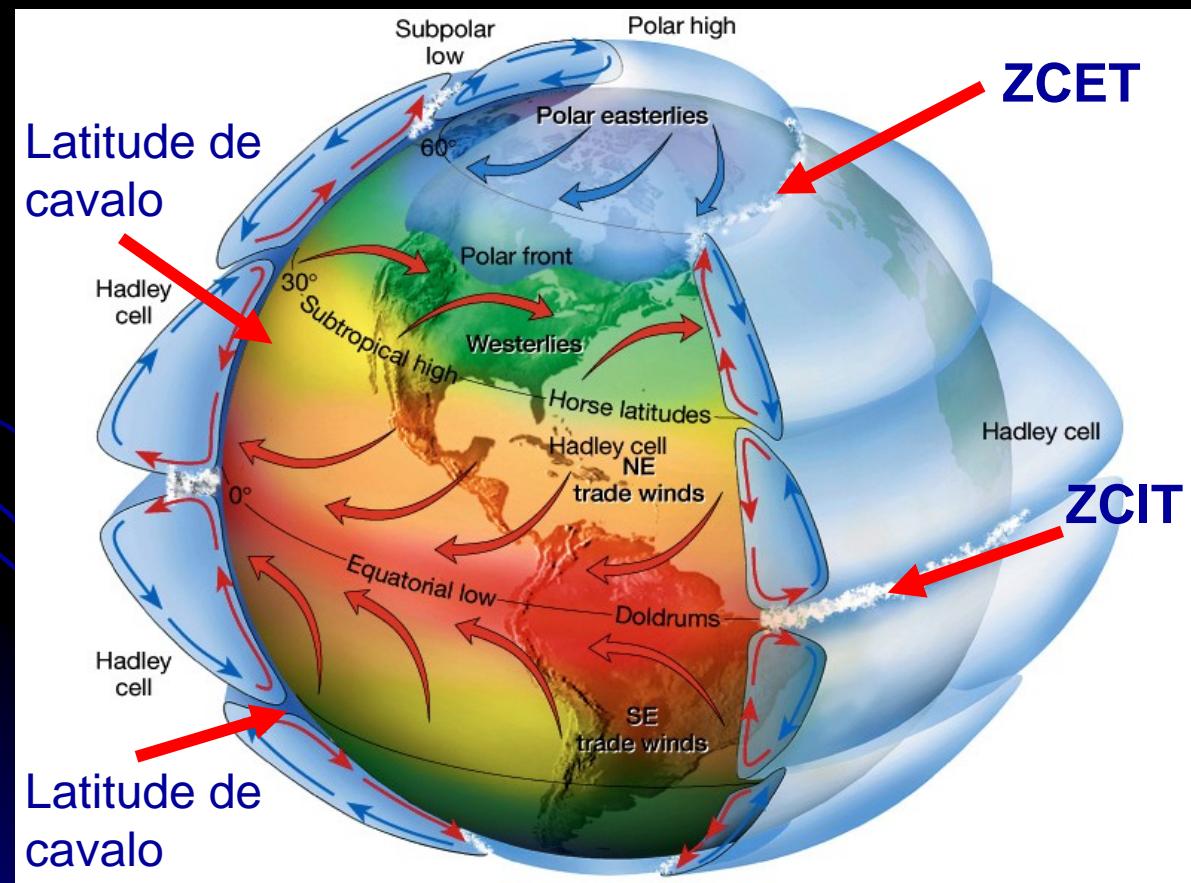
CLIMAS E CORRENTES MARÍTIMAS

OCEANO GLACIAL ÁRTICO

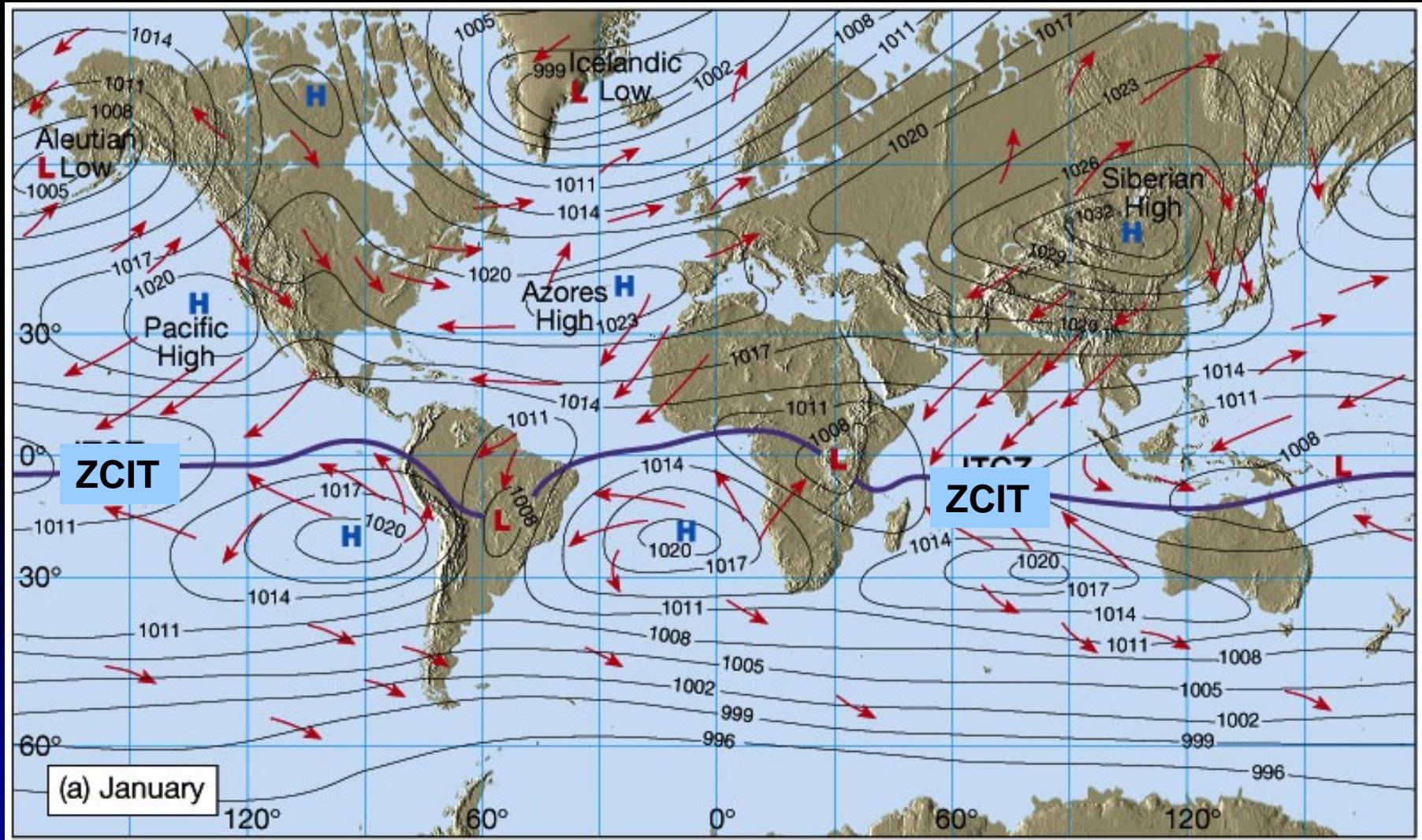


→ Circulação Geral da Atmosfera e outros tipos de Circulação

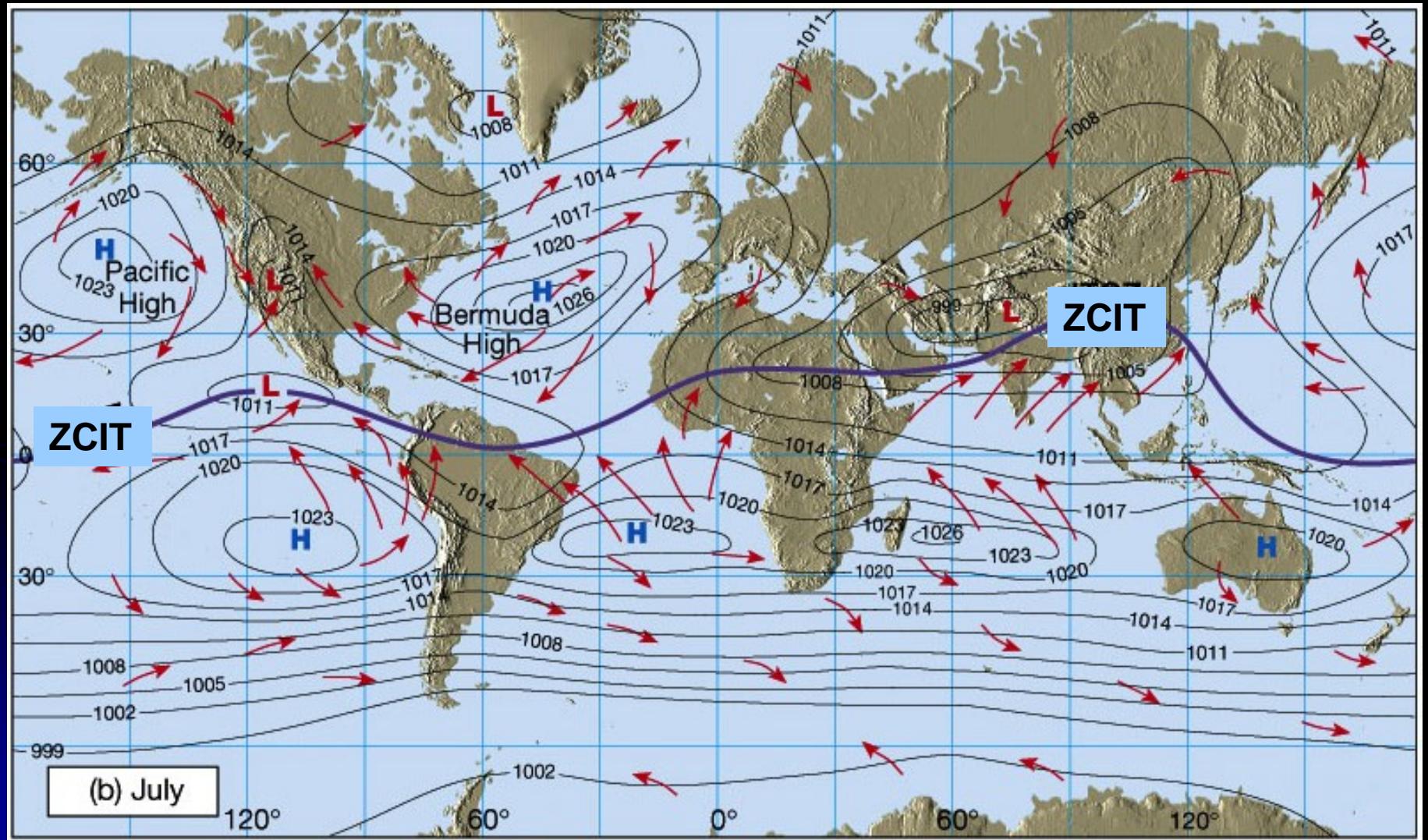
A circulação geral da atmosfera gera os ventos predominantes, os quais por sua vez são responsáveis pela formação das zonas de convergência intertropical (ZCIT) e extratropical (ZCET), e também dos anticiclones semi-permanentes nas latitudes de cavalo.



As figuras a seguir mostram a posição média da ZCIT nos meses de Janeiro e Julho. É possível notar que durante o verão no HS a ZCIT desloca-se para o sul, o que contribui para o aumento das chuvas nas regiões N, CO e SE do Brasil.

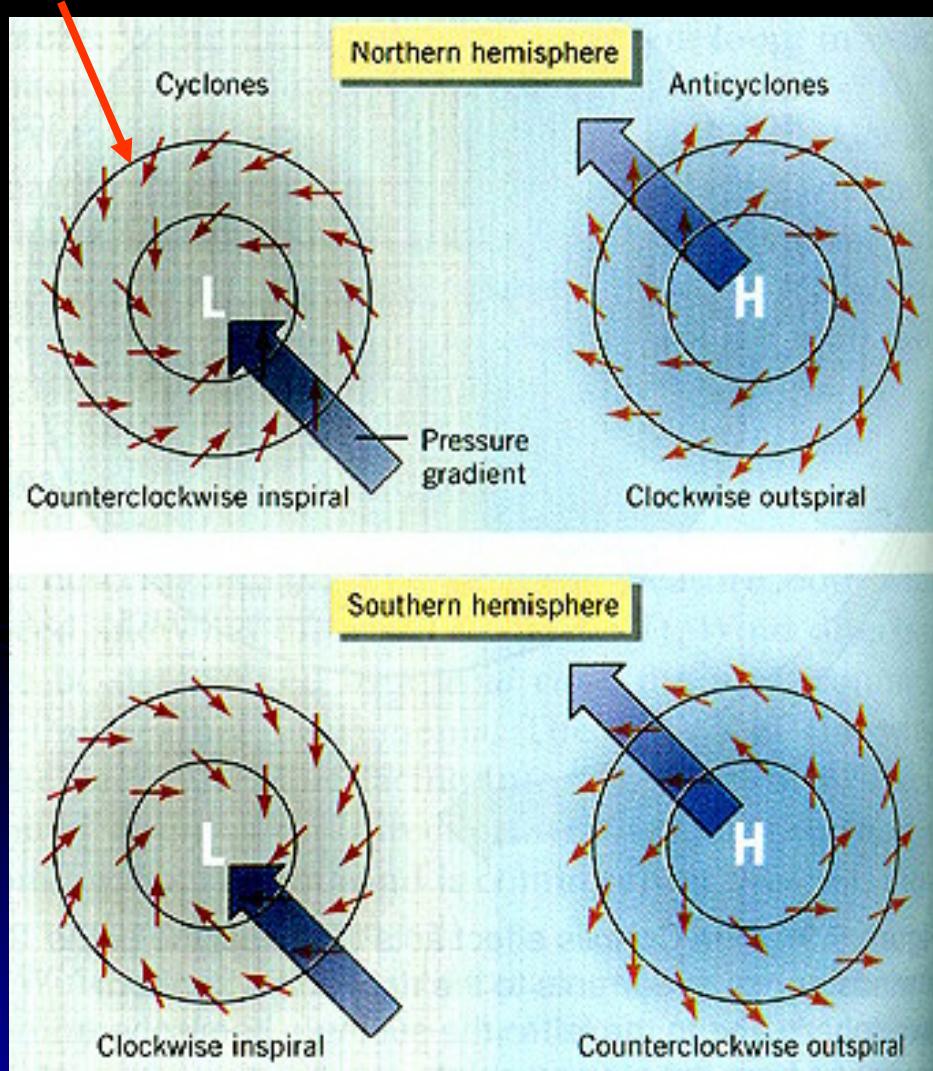


No mês de julho (inverno no HS), por outro lado, a ZCIT desloca-se para o norte, o que contribui para a diminuição das chuvas nas regiões SE, CO e inclusive em parte da região N do Brasil.



Ciclones e Anticiclones

Isóbaras



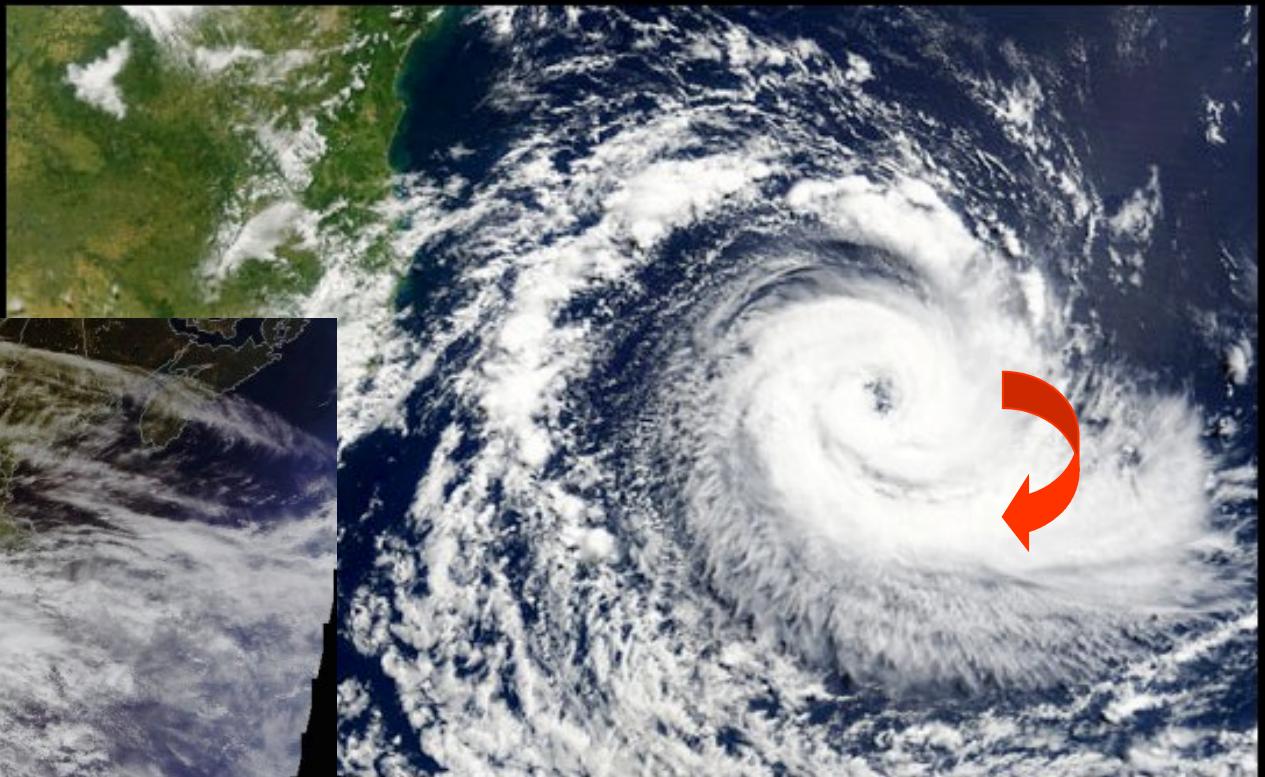
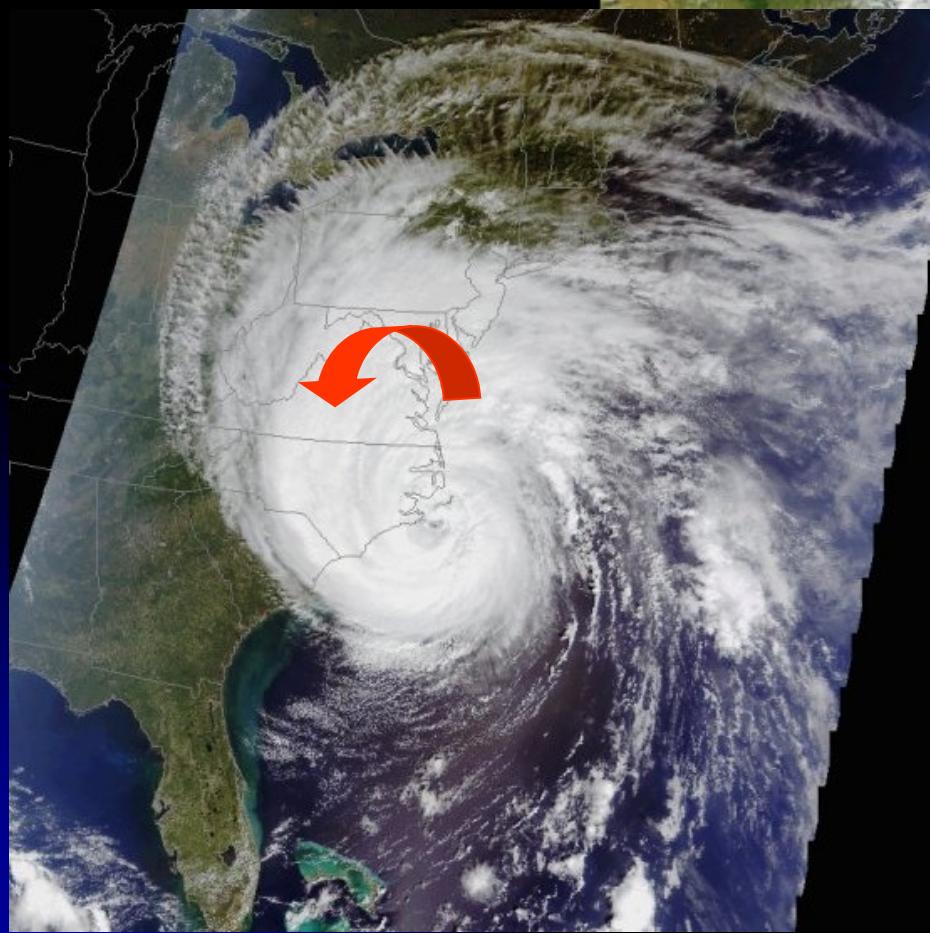
Os ciclones e anticiclones formados na atmosfera são responsáveis pela mudança na direção dos ventos predominantes

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)

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

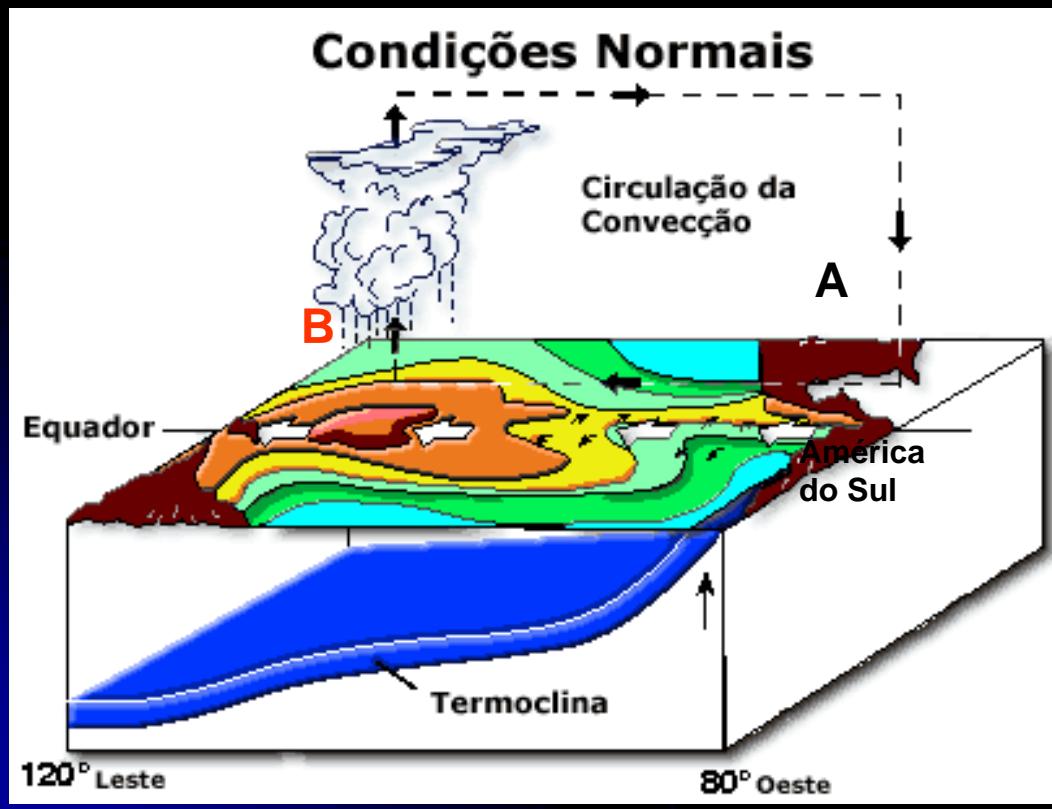
Furacão Isabel (Atlântico Norte) – observe o seu sentido anti-horário)



Obs – o furacão é um ciclone de maiores proporções

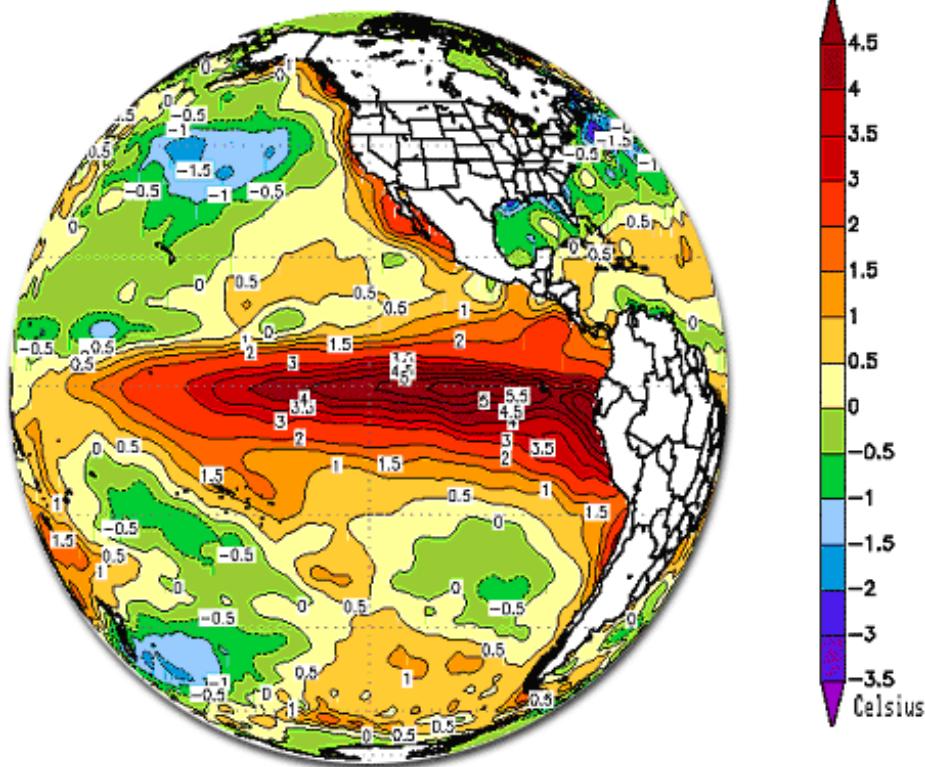
Circulação Atmosférica na América do Sul

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.

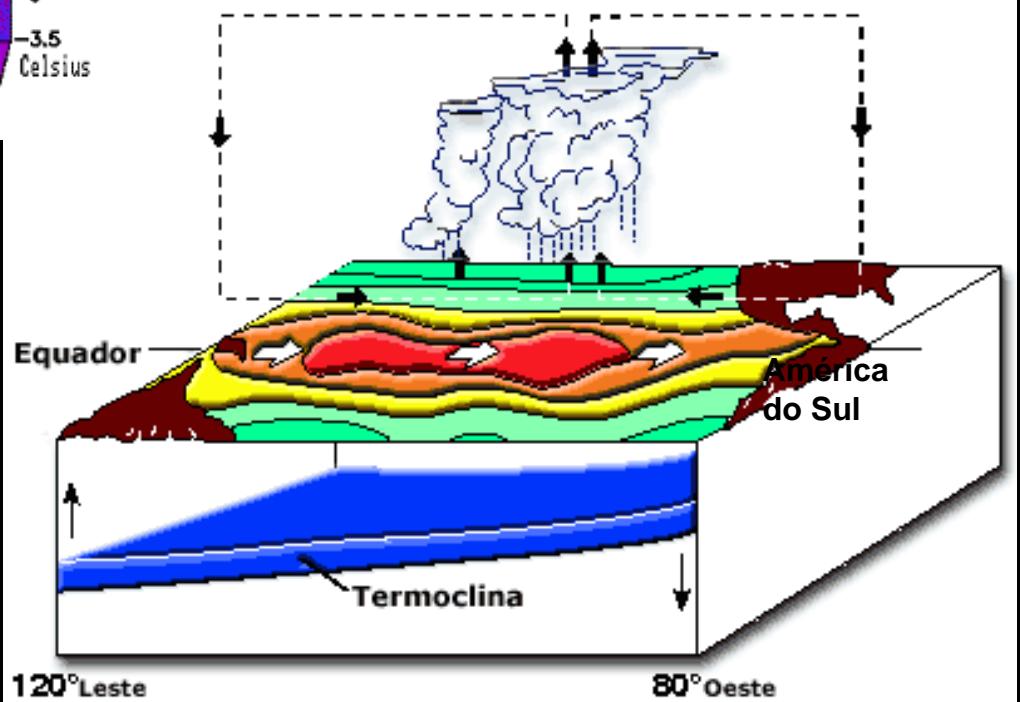
Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar
Dezembro de 1998



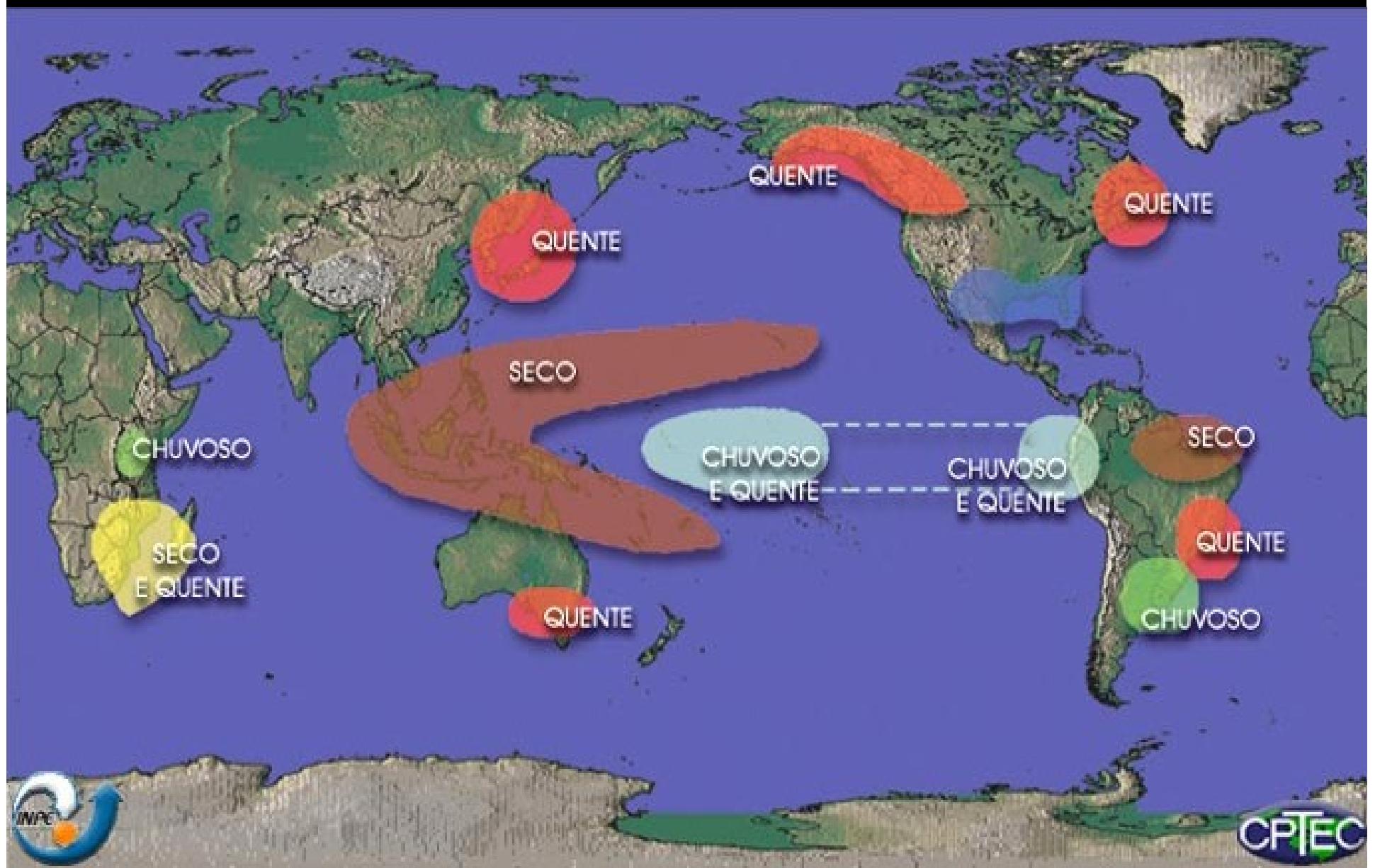
Nota-se que os ventos em superfície, em alguns casos, chegam até a mudar de sentido, ou seja, ficam de oeste para leste. Há um deslocamento da região com maior formação de nuvens e a célula de Walker fica bipartida.

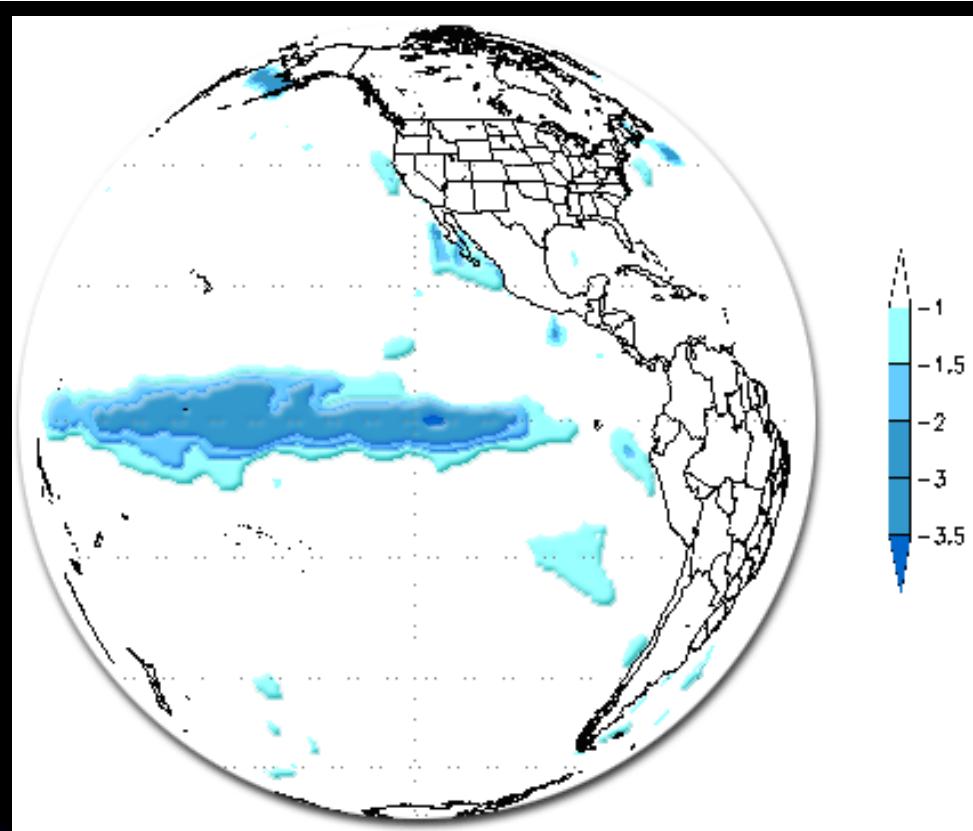
El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anômalo das águas do oceano Pacífico Tropical, que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento em escala mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias.

Condições El Niño



Impactos do El Niño

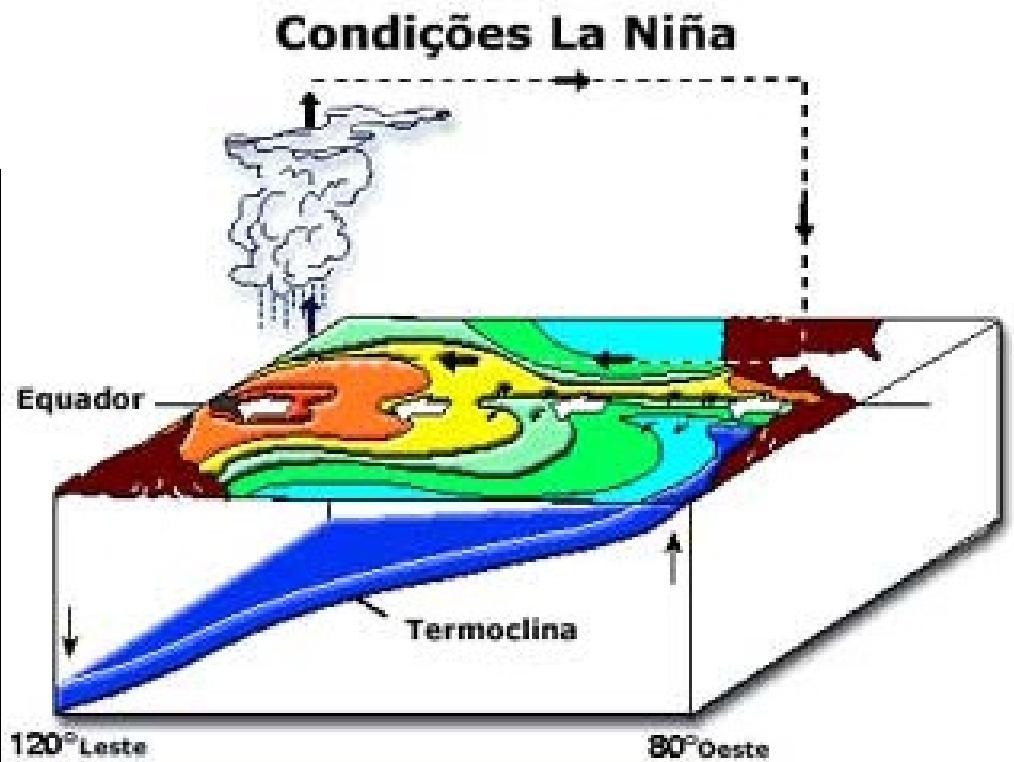




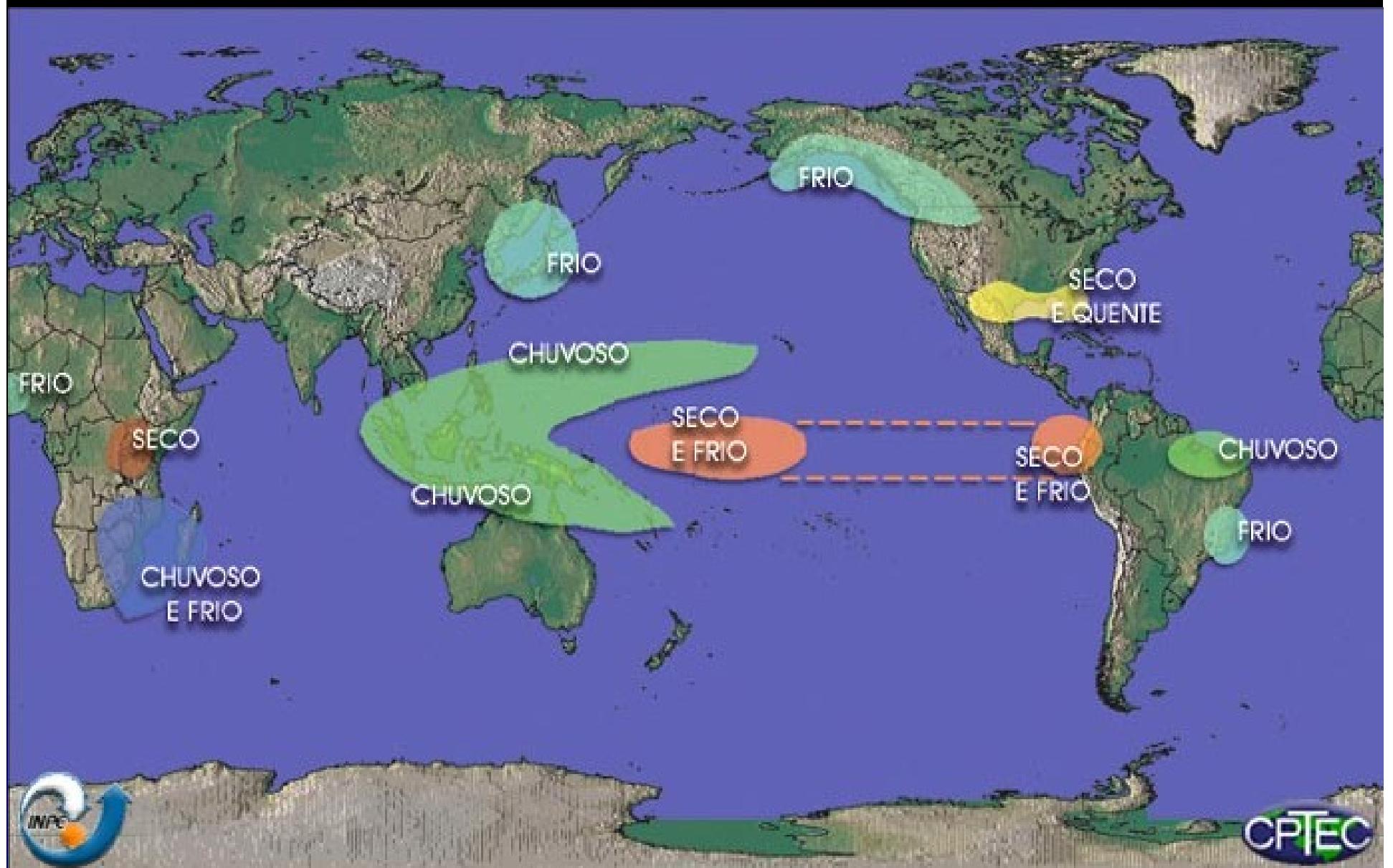
La Niña

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.



Impactos da La Niña



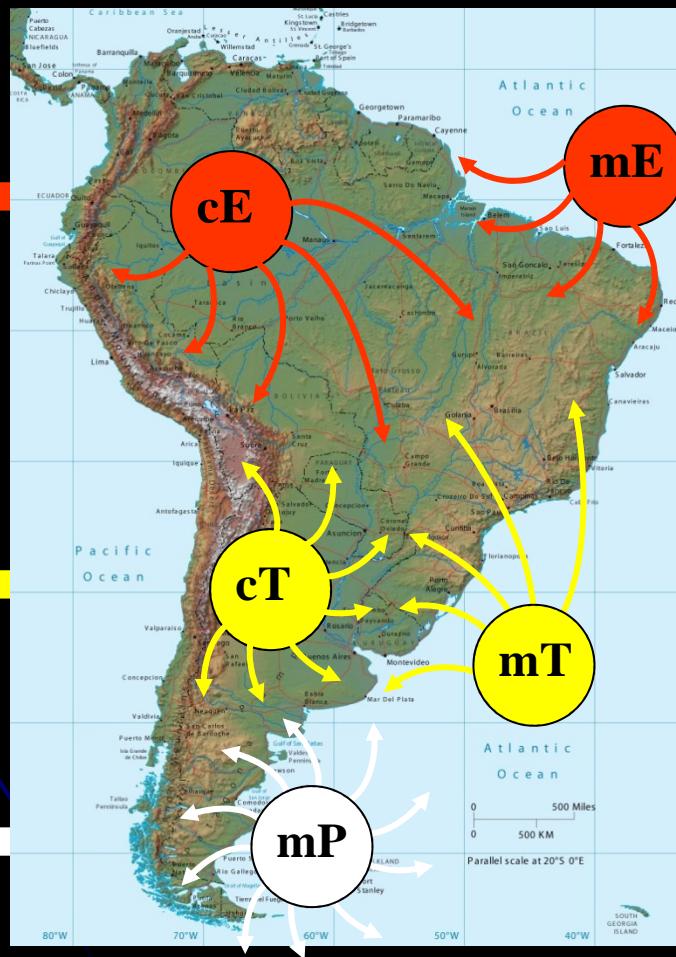
Massas de ar

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:

Equatorial continental (quente e úmida)

Tropical continental (quente e seca)

Polar marítima (fria e seca)

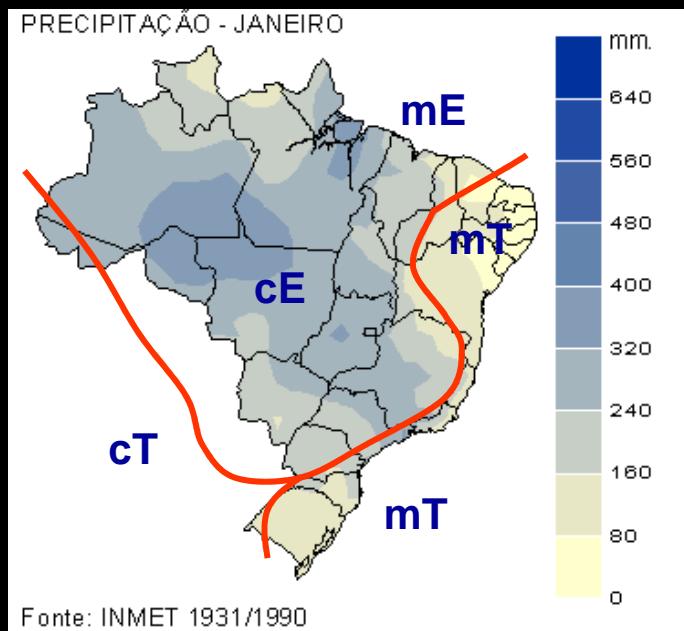


Equatorial marítima (quente e úmida)

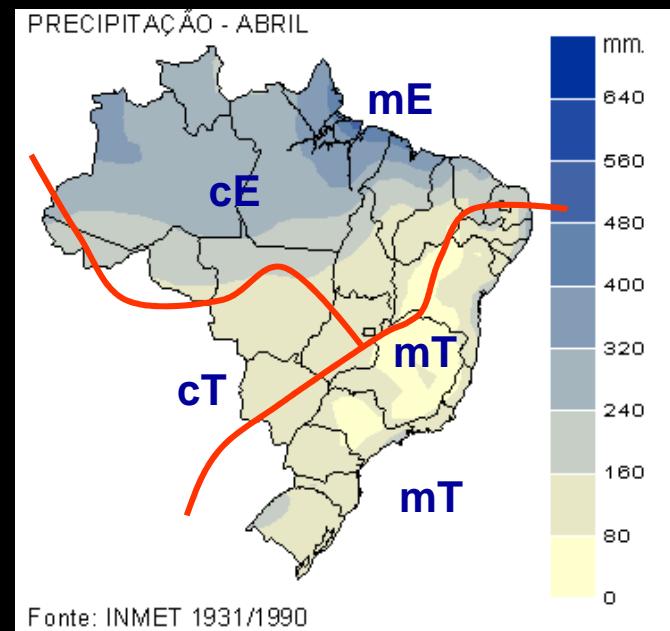
Tropical marítima (amena e condicionadora de estabilidade e pouca precipitação)

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

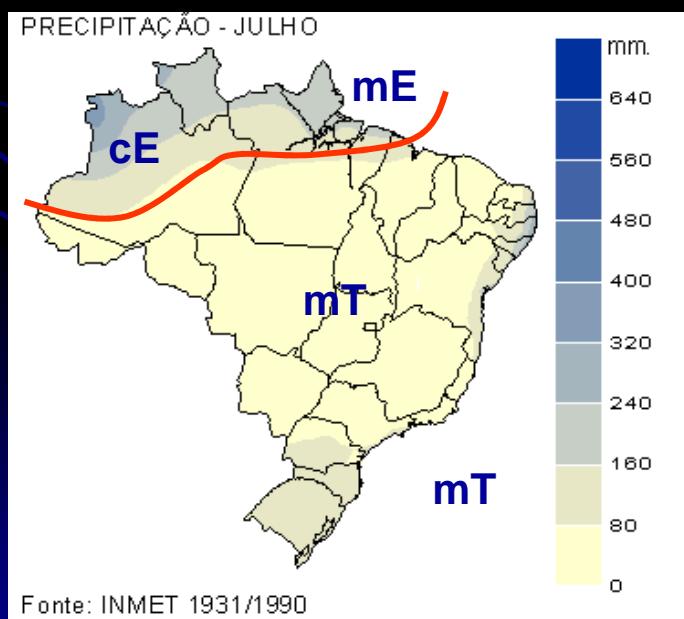
Verão



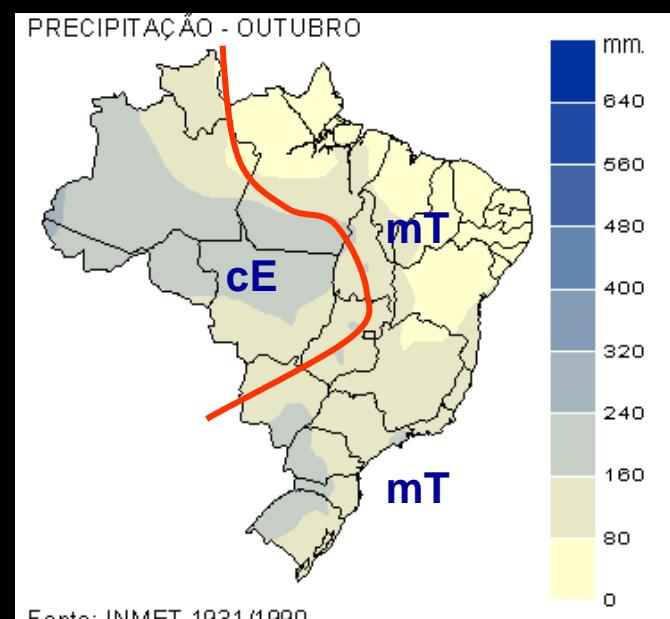
Outono



Inverno

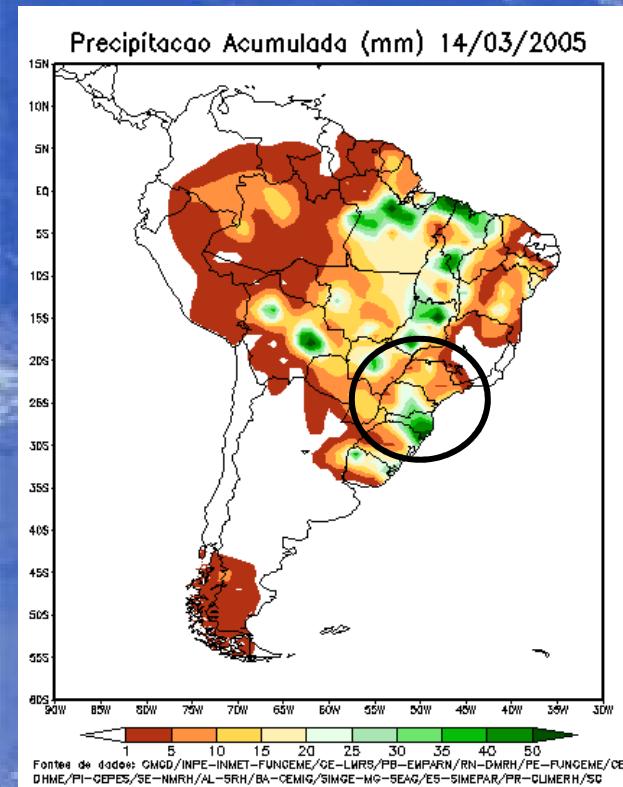


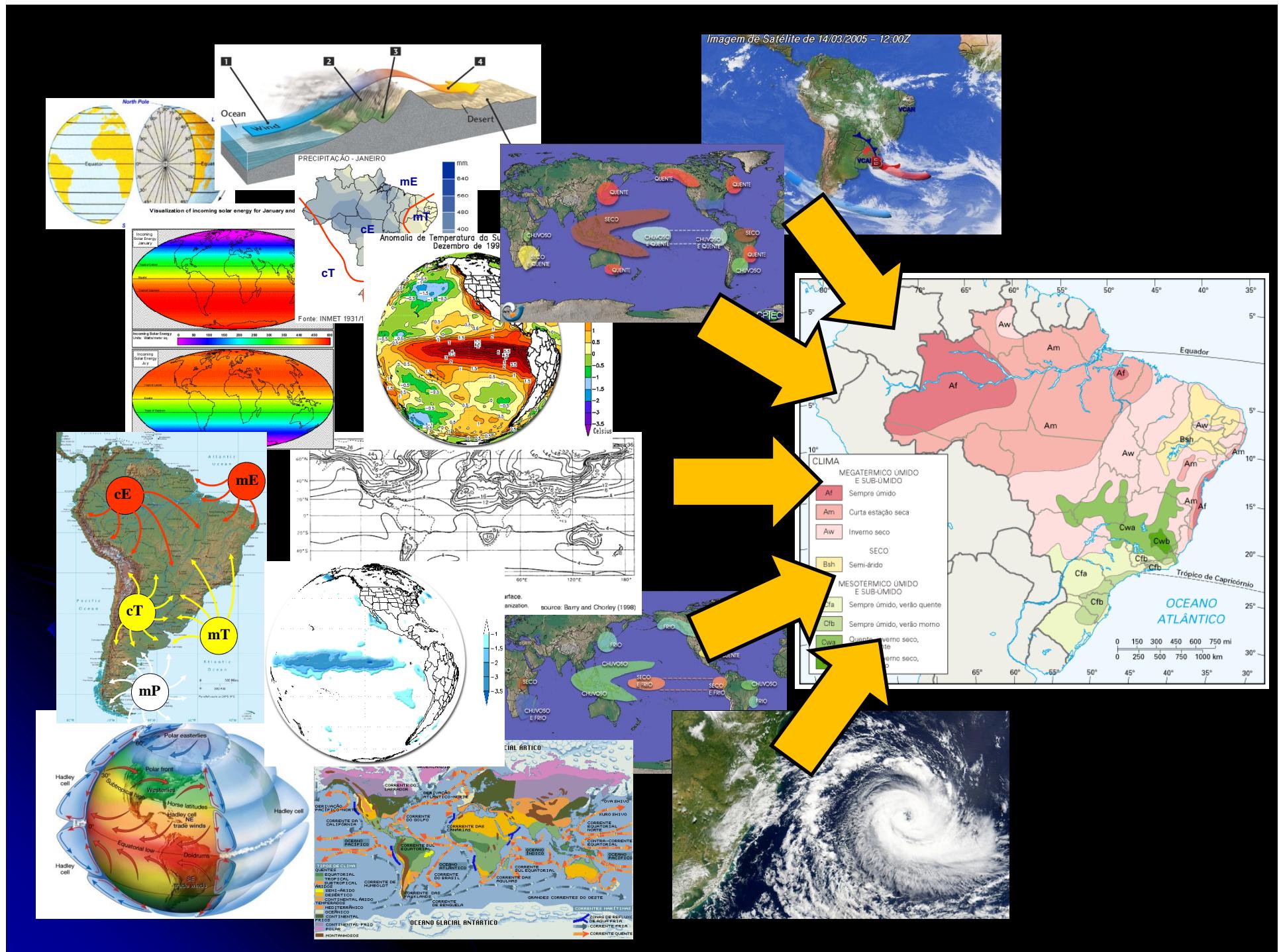
Primavera



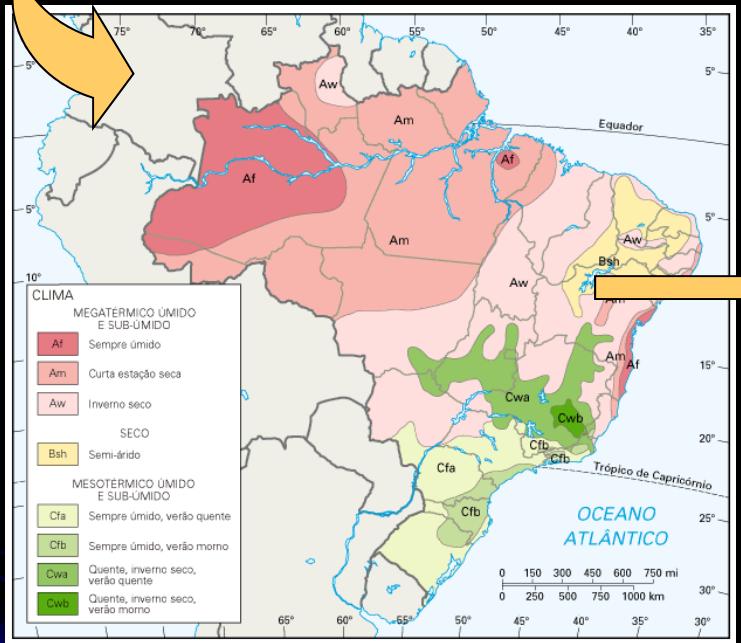
Frentes fria e quente

Imagen de Satélite de 14/03/2005 – 12:00Z





Os sistemas climáticos são extremamente complexos, já que dependem de diversos fatores determinantes. A combinação desses fatores na escala Macro será responsável pelas características Macroclimáticas de um local, que poderá ser alterada em função das escalas Topo e Micro.



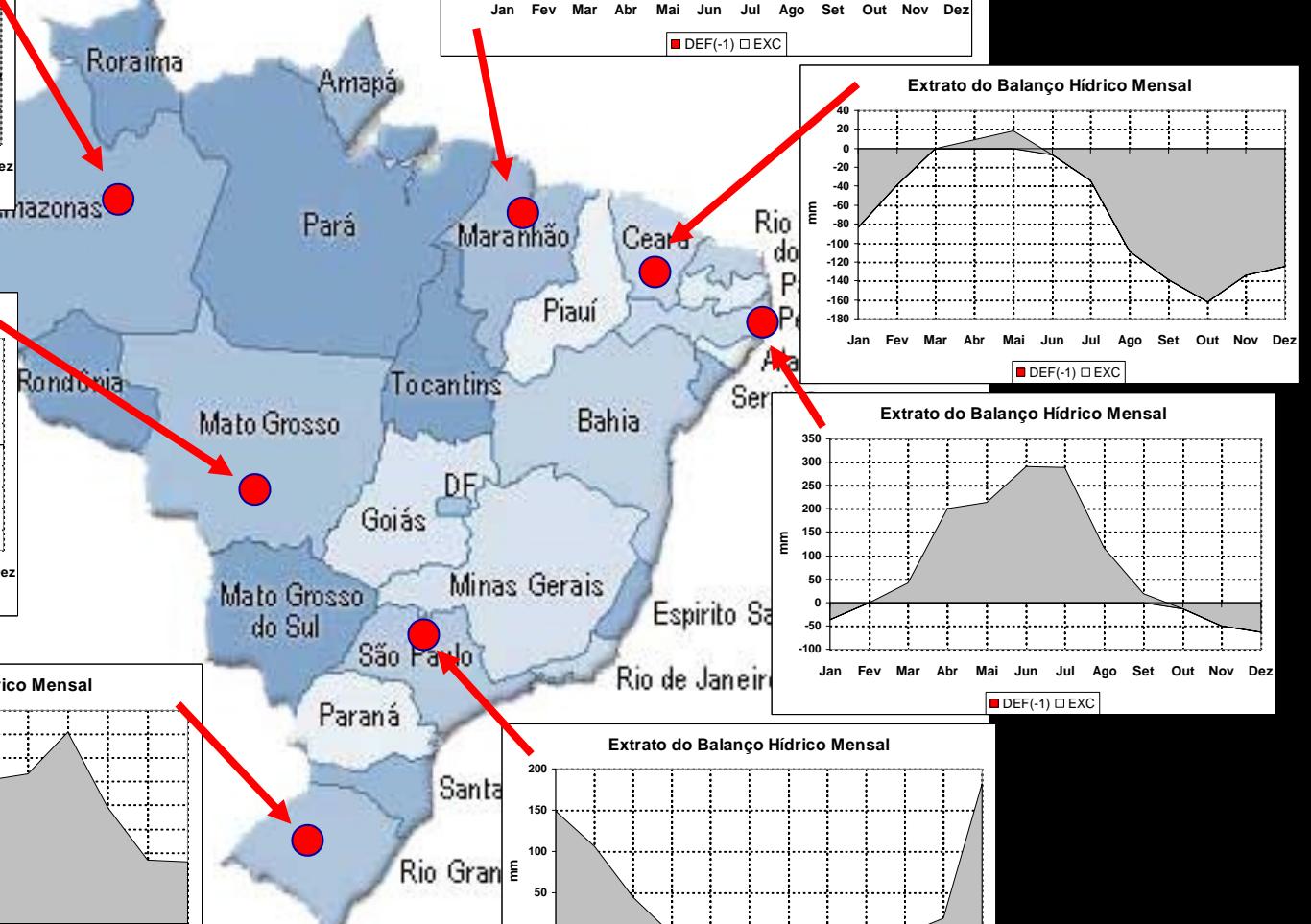
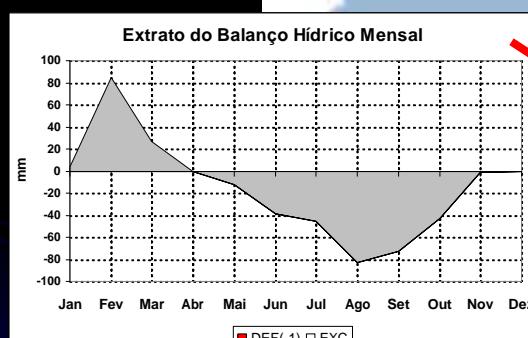
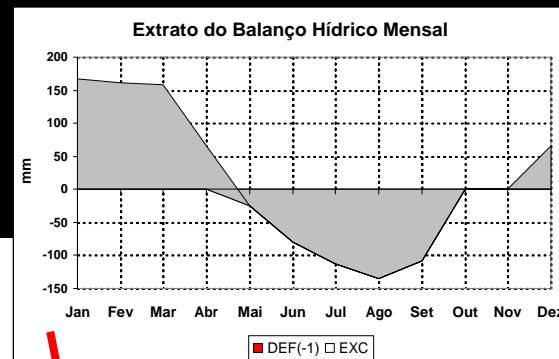
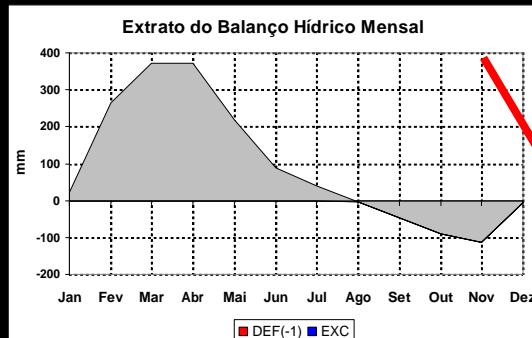
Portanto, em um mesmo MACROCLIMA podem ocorrer diferentes TOPOCLIMAS...



...e dentro de um mesmo TOPOCLIMA podem haver diversos MICROCLIMAS

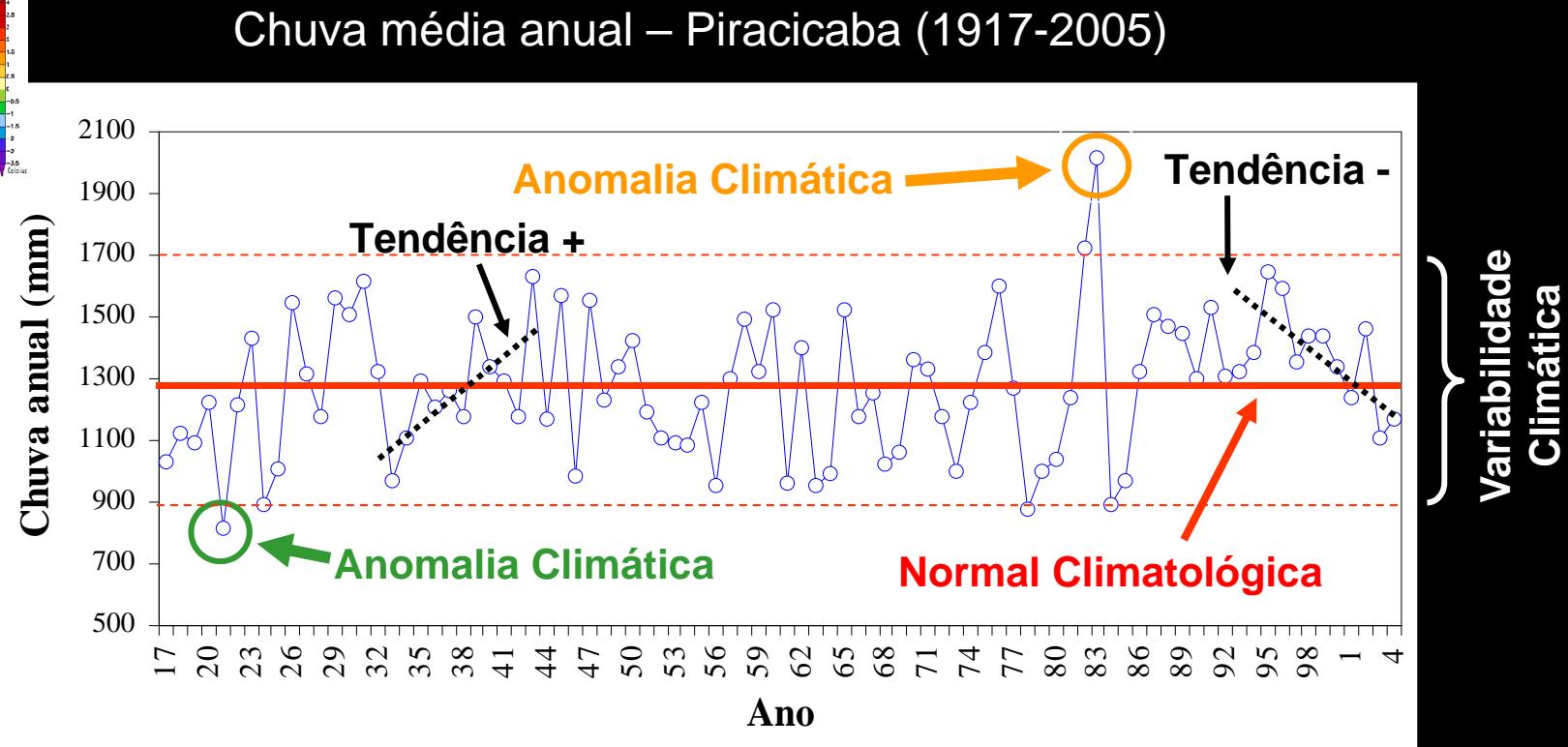
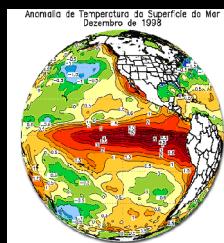


Caracterização Macroclimática da disponibilidade hídrica regional



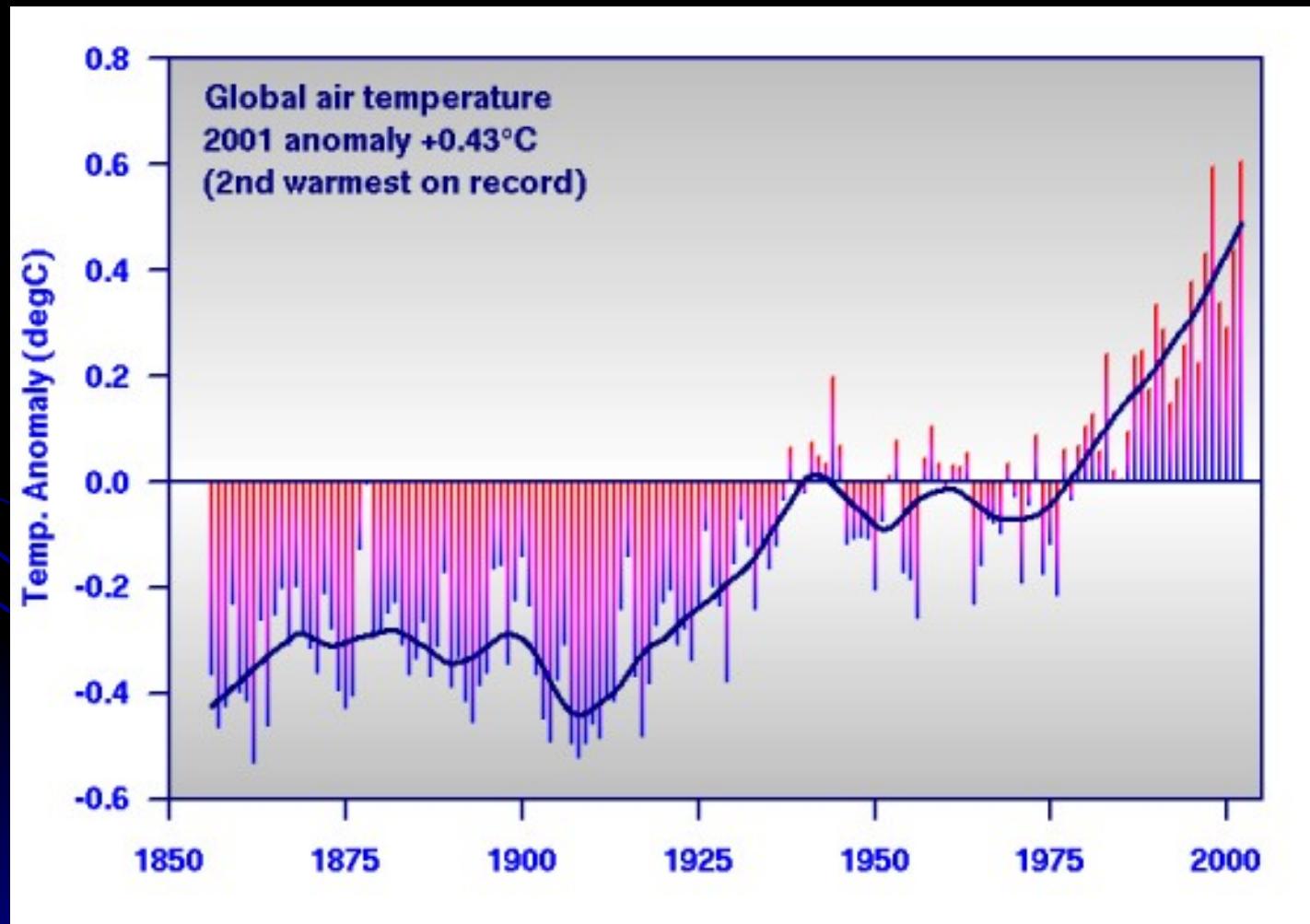
Variabilidade, Anomalia e Mudança Climática

- Variabilidade climática: refere-se às flutuações em torno da média de longo período, podendo apresentar algumas tendências + ou -
- Anomalia climática: eventos meteorológicos com desvios muito acima do padrão de variabilidade normalmente observada. As anomalias estão associadas a fenômenos que ocorrem no globo terrestre e que provocam consequência nas condições meteorológicas. Um exemplo é a ocorrência do fenômeno El Niño e La Niña



Variabilidade, Anomalia e Mudança Climática

→ Mudança climática: alterações globais das condições climáticas



Variabilidade, Anomalia e Mudança Climática

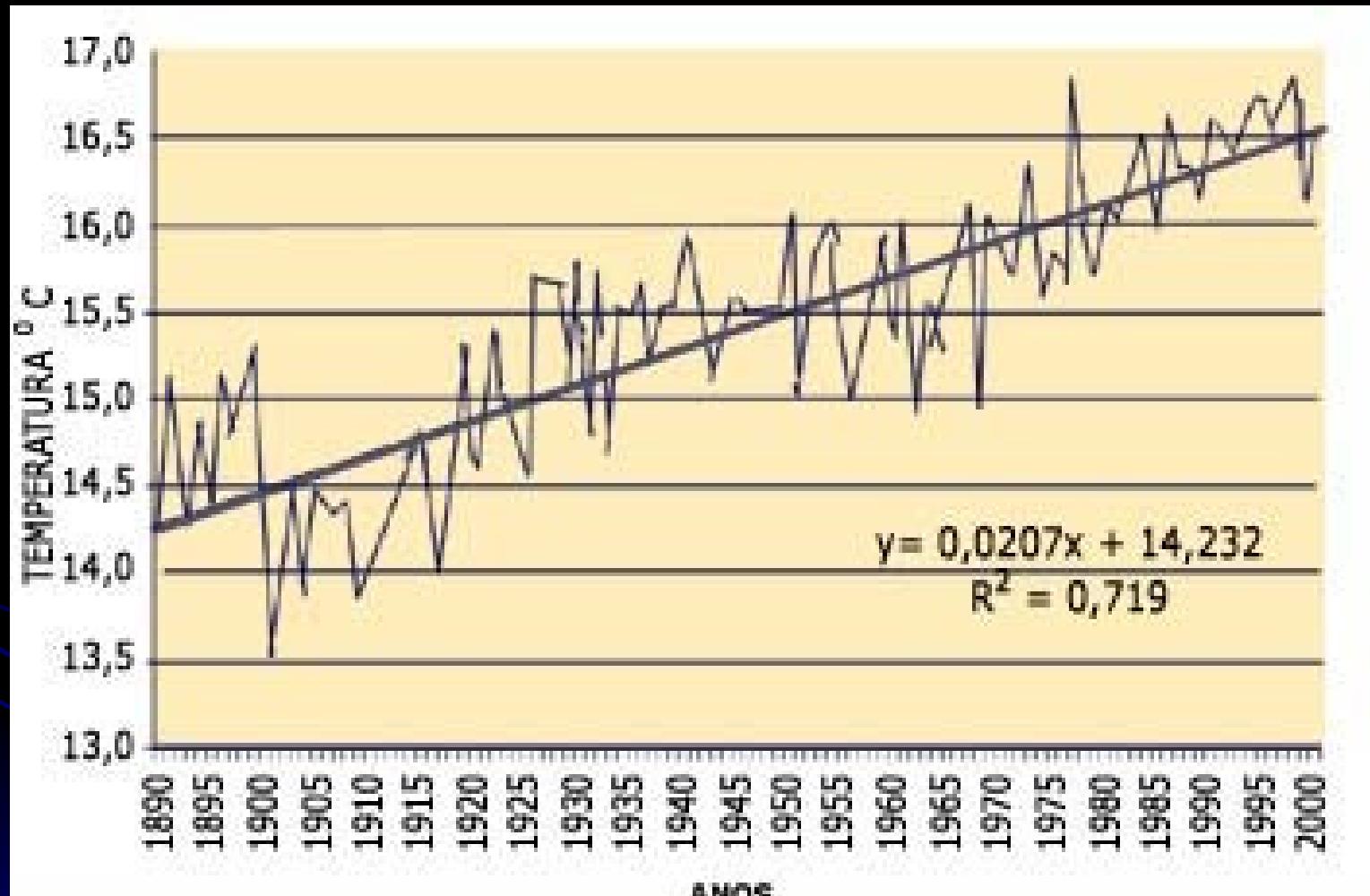
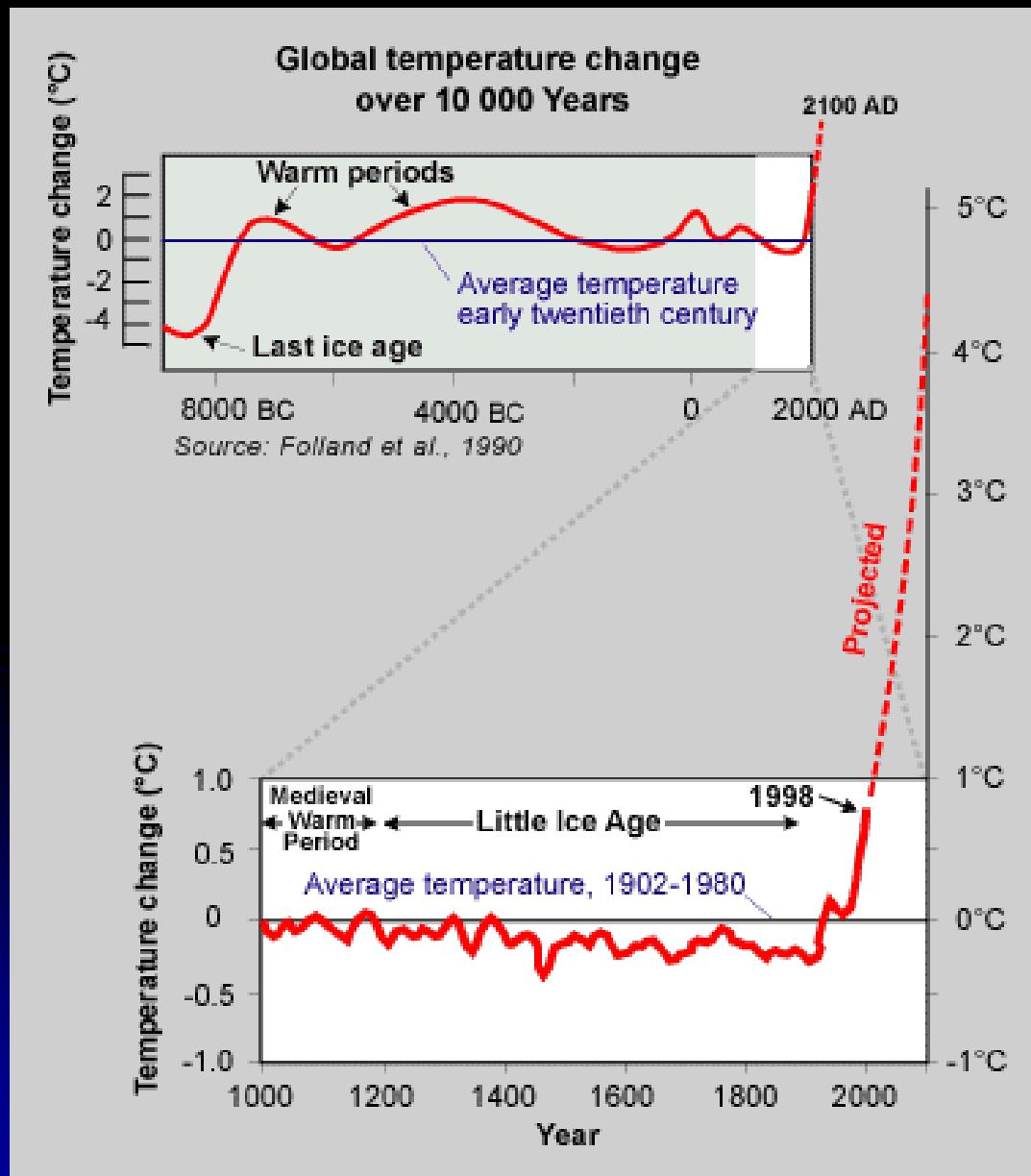


Figura 2. Variação das Temperaturas Médias Mínimas em Campinas - SP.
Fonte: IAC/Apta/SAA

Variação da temperatura global da Terra nos últimos mil anos e nos últimos 10.000 anos em relação à condição atual, representada pela linha preta



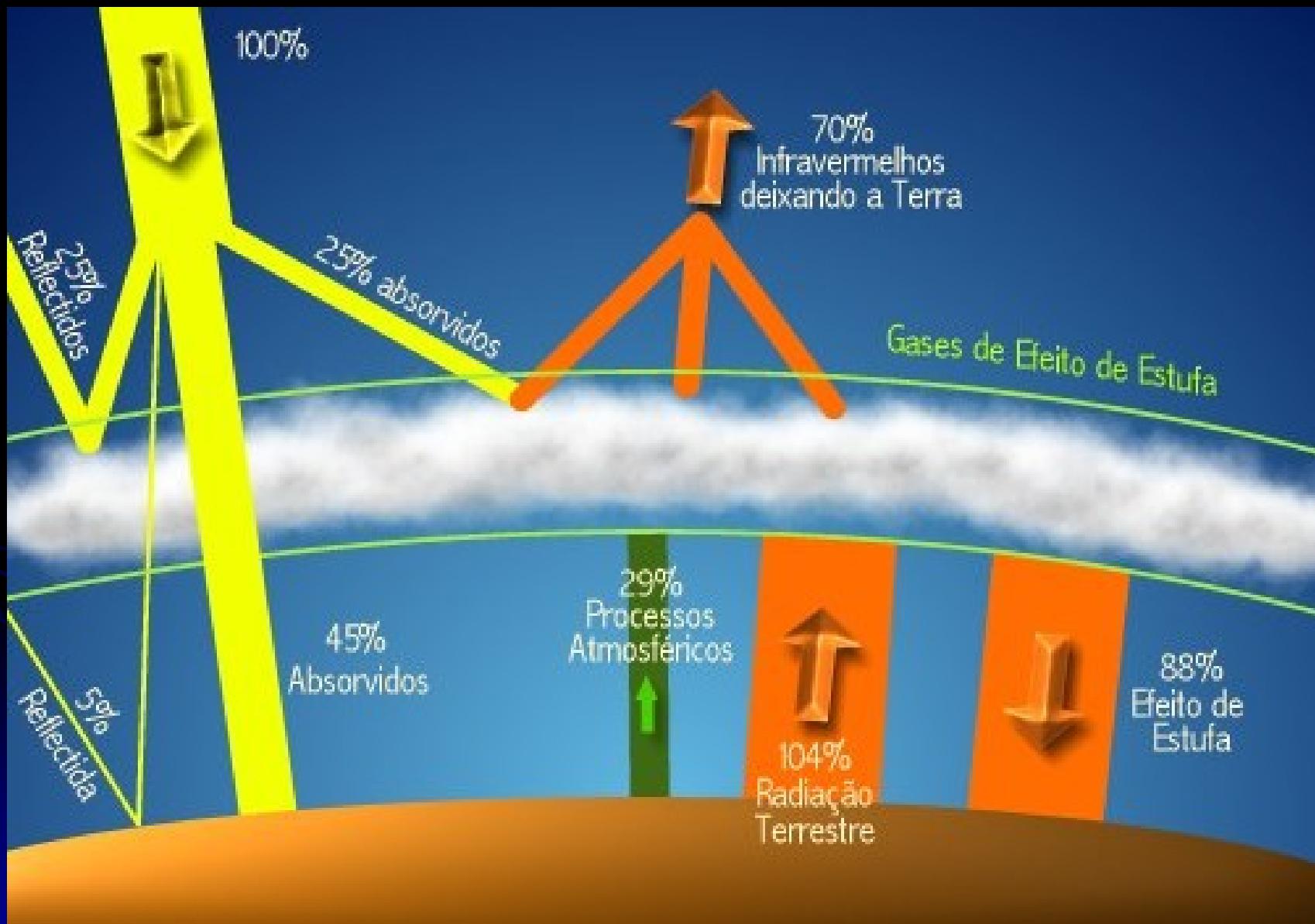
Apesar dessas definições, não há uma distinção absoluta entre esses termos. O que pode parecer uma mudança climática na escala de décadas ou séculos, poderia ser considerada apenas uma tendência ou variabilidade na escala de dezenas de milhares de anos. As Figuras ao lado exemplificam isso, mostrando o desvio da temperatura em relação à condição atual, representada pela linha pontilhada. Observe que já houveram períodos quentes semelhantes ao atual.

- Os fatores que provocam as flutuações climáticas na escala de eras geológicas, ou seja, que podem causar mudanças do clima, são:
- Terrestres: modificações na composição da atmosfera, distribuição dos oceanos e continentes, vulcanismo, tamanho das calotas polares
 - Astronômicos: variação na excentricidade da órbita e da inclinação do eixo terrestre
 - Extraterrestre: variação da emissão de energia solar

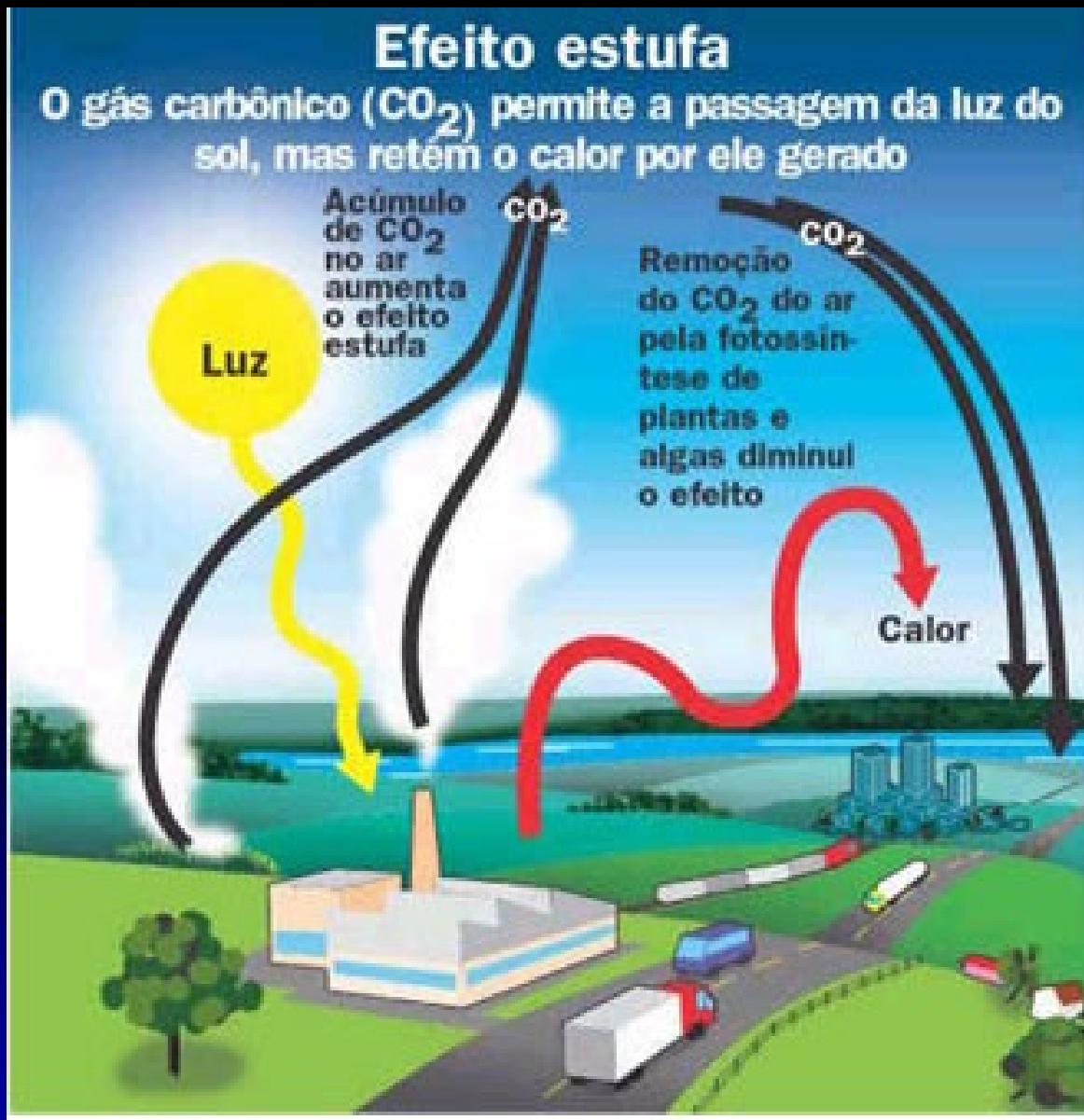


- Dentre os fatores que vem promovendo alterações no padrão do clima da Terra, a modificação da composição química da atmosfera é o mais PLAUSÍVEL, pois vem provocando a alteração do balanço de radiação da Terra, ou seja, intensificando o *EFEITO ESTUFA*, promovendo assim o que conhecemos como *AQUECIMENTO GLOBAL*.

Balanço de Radiação, Efeito Estufa e Aquecimento Global



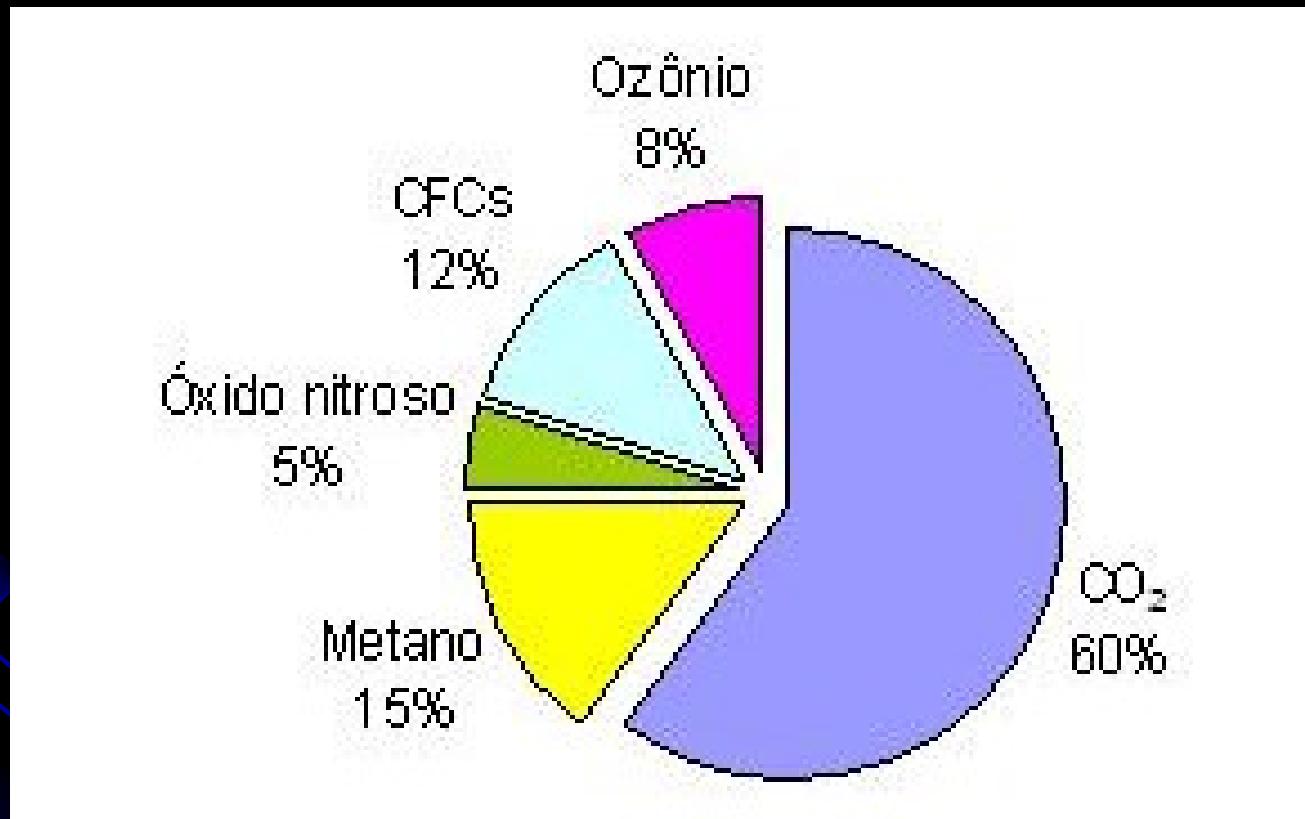
Efeito Estufa – Importância para o Planeta TERRA



O efeito estufa é um fenômeno atmosférico natural, em que alguns gases que compõem a atmosfera funcionam como uma barreira para as ondas de calor (radiação terrestre) emitidas pela Terra, aprisionando parte desse calor, o que mantém o planeta aquecido. Sem o efeito estufa a Terra teria temperaturas médias abaixo de 10°C negativos.

Devido à emissão excessiva de gases, como o CO₂, o efeito estufa vem se intensificando, fazendo com que a temperatura da Terra também aumente

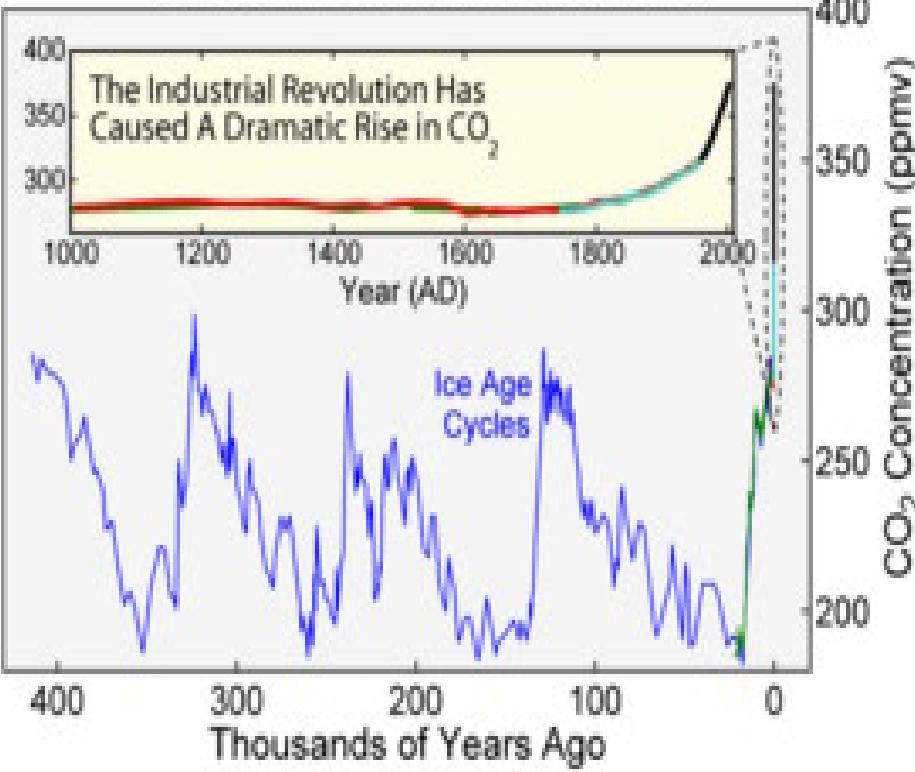
Contribuição relativa dos gases provenientes de atividades antrópicas (ação humana) para o efeito estufa



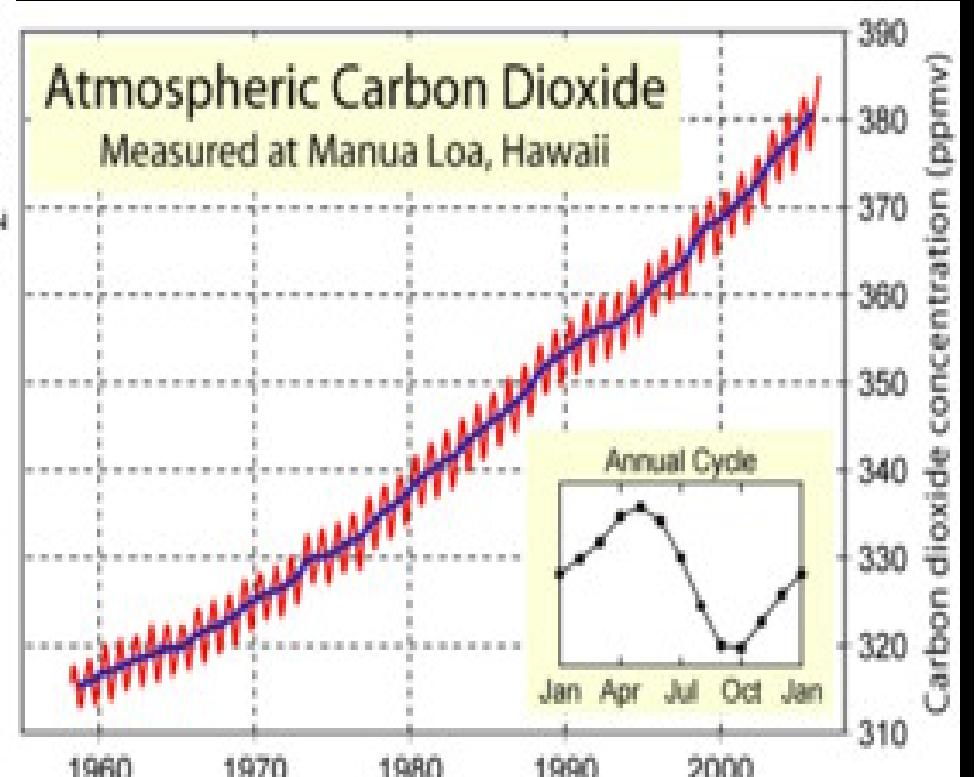
Dentre os gases de efeito estufa, o metano e o óxido nitroso tem um poder estufa muito maior, porém a baixa concentração e o menor tempo de residência desses gases na atmosfera fazem com que o CO₂ seja o gás de efeito estufa mais importante

Variação da concentração de CO₂ na atmosfera

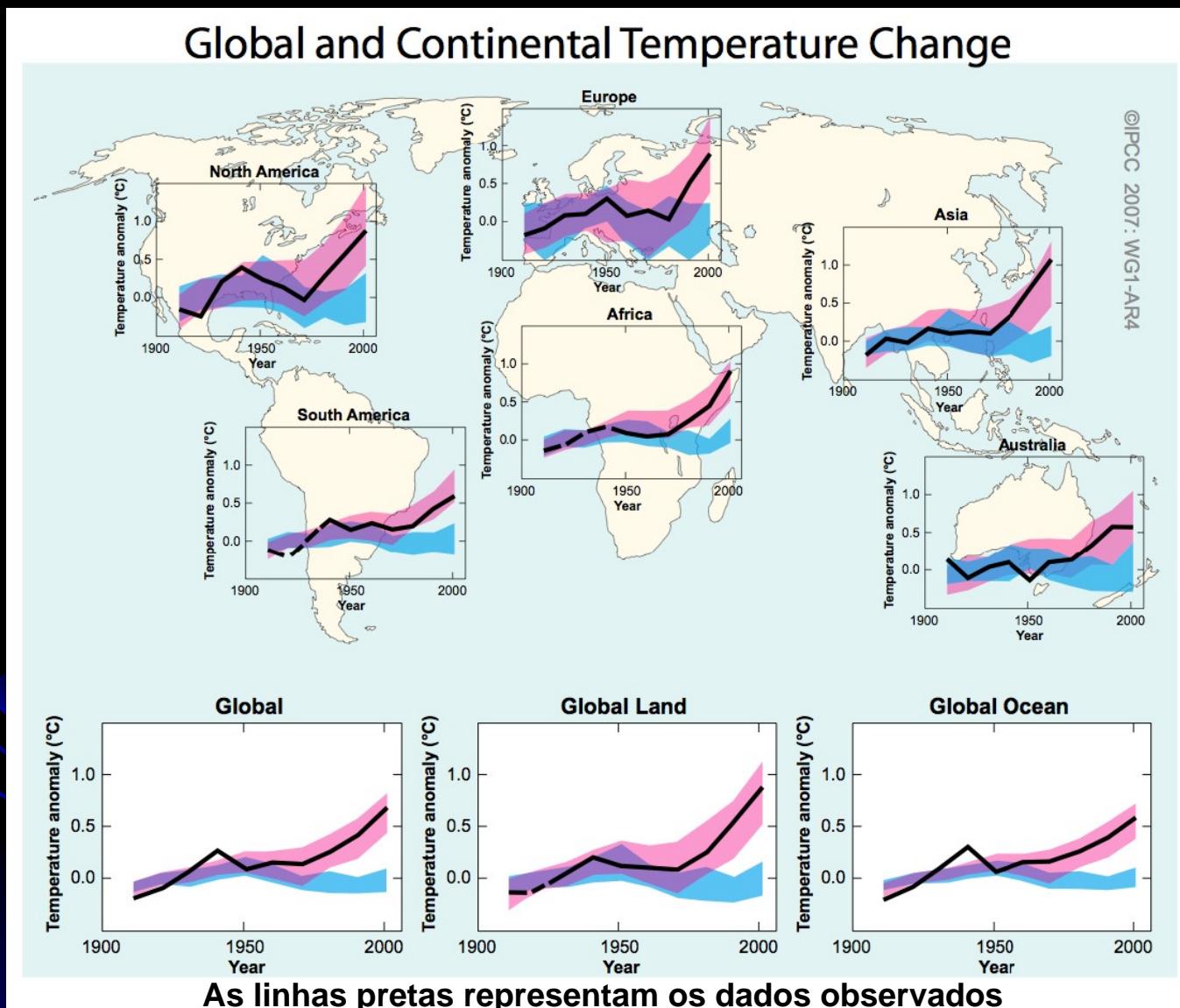
Carbon Dioxide Variations



Atmospheric Carbon Dioxide
Measured at Mauna Loa, Hawaii



Aumento da Temperatura do ar

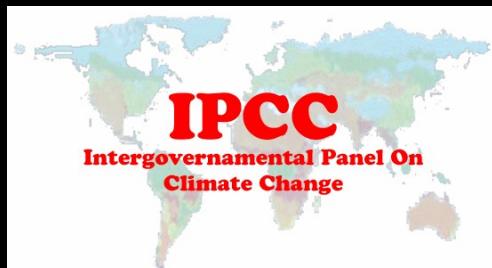


Considerando-se as forçantes naturais
e a emissão crescente de GEF

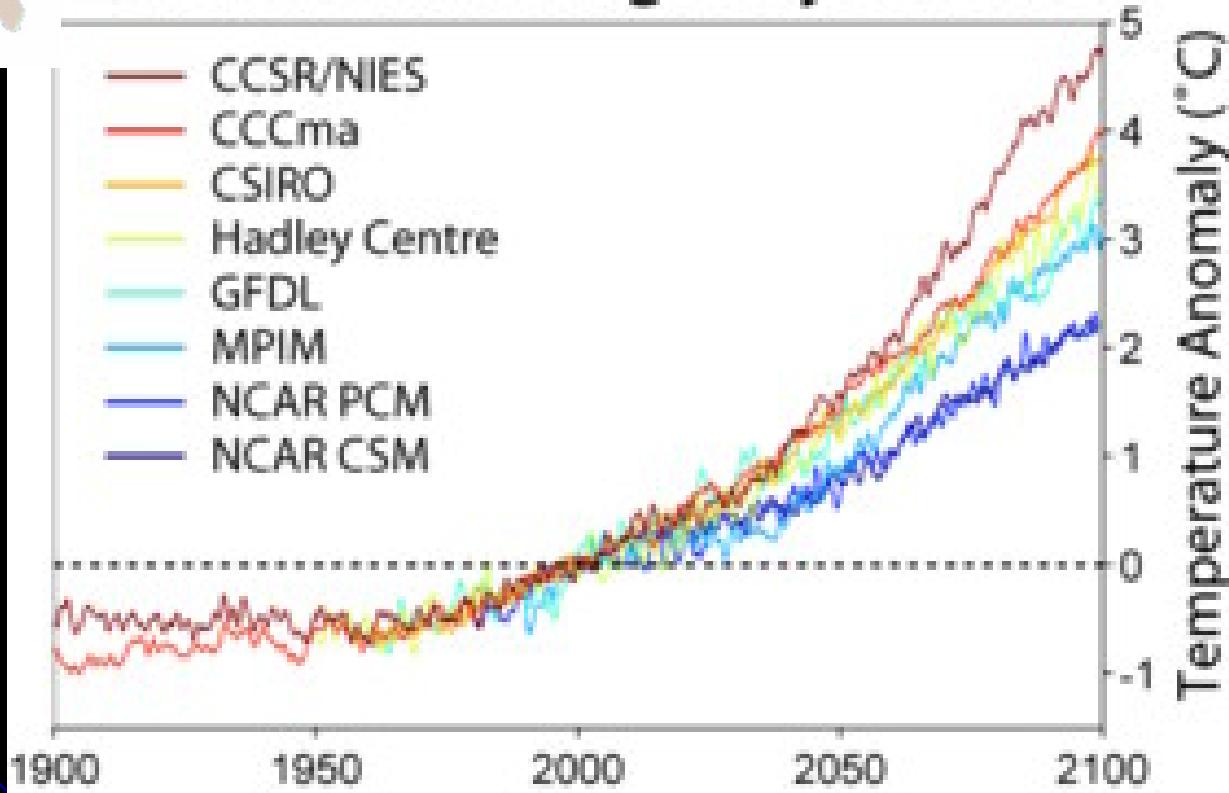
Considerando-se apenas as
forçantes naturais

Conseqüências do Aquecimento Global para o Clima da Terra



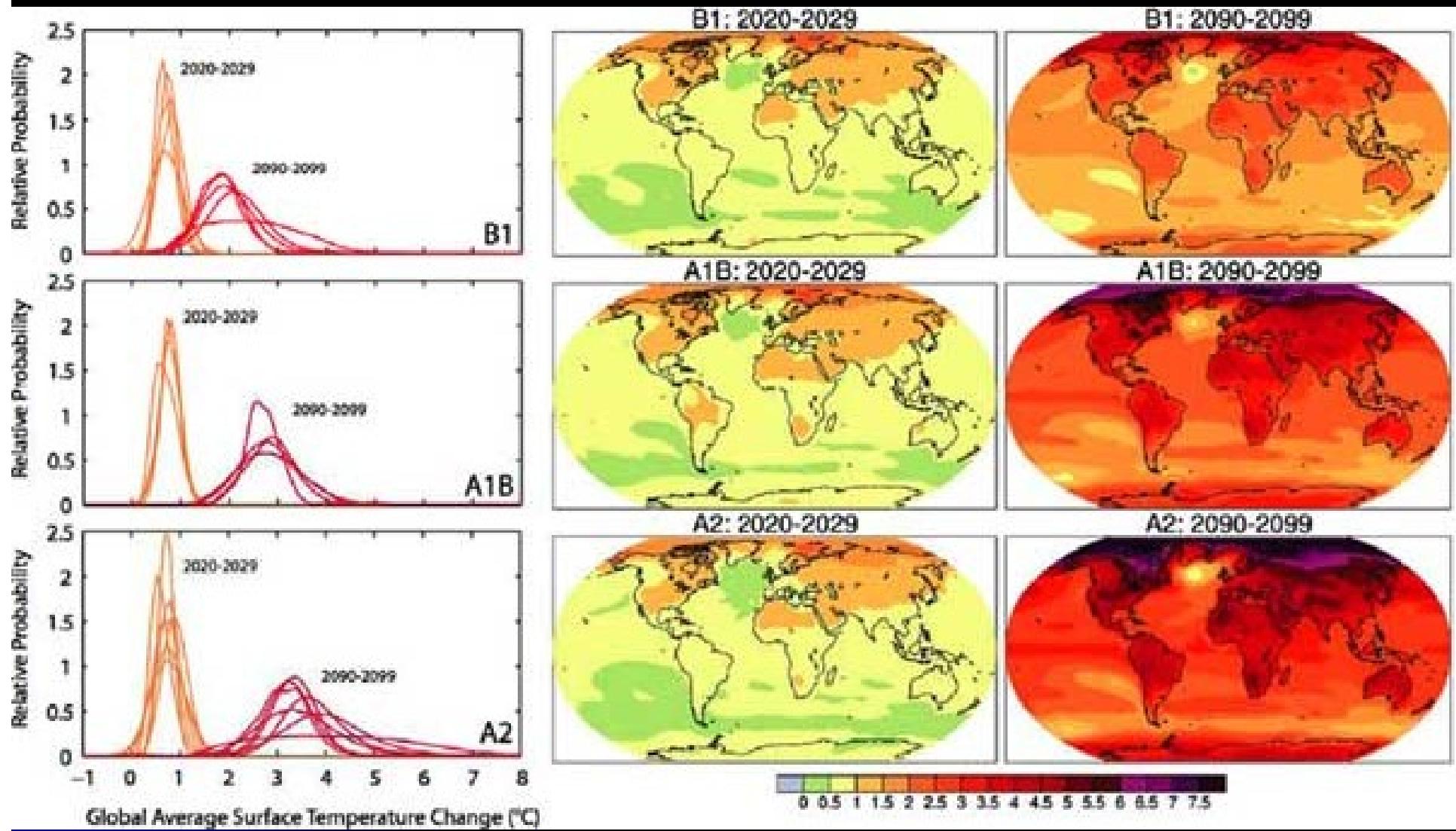


Global Warming Projections



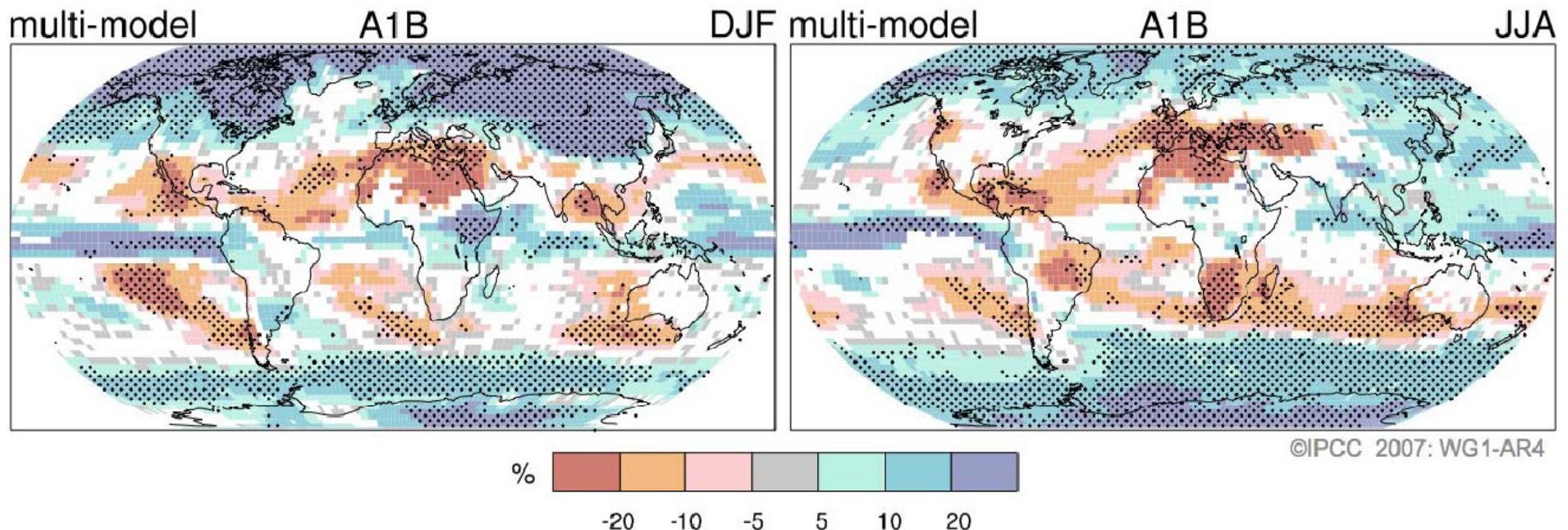
Projeções de aquecimento global para o Século 21 a partir de vários modelos climáticos usando um cenário de emissões de gases de efeito estufa sem que nenhuma ação seja tomada para reduzí-las

Distribuição geográfica do aumento da temperatura da superfície terrestre entre 2020-2029 e 2090-2099, em relação ao período 1961-1990 - Fonte: IPCC (2007)



Variação das Chuvas

Projected Patterns of Precipitation Changes



As projeções são de poucas alterações durante o verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e de reduções em grande parte do Brasil, no inverno (junho, julho e agosto), para o período de 2090-2099. Os pontilhados representam a confiabilidade das estimativas (com = alta, sem = baixa)

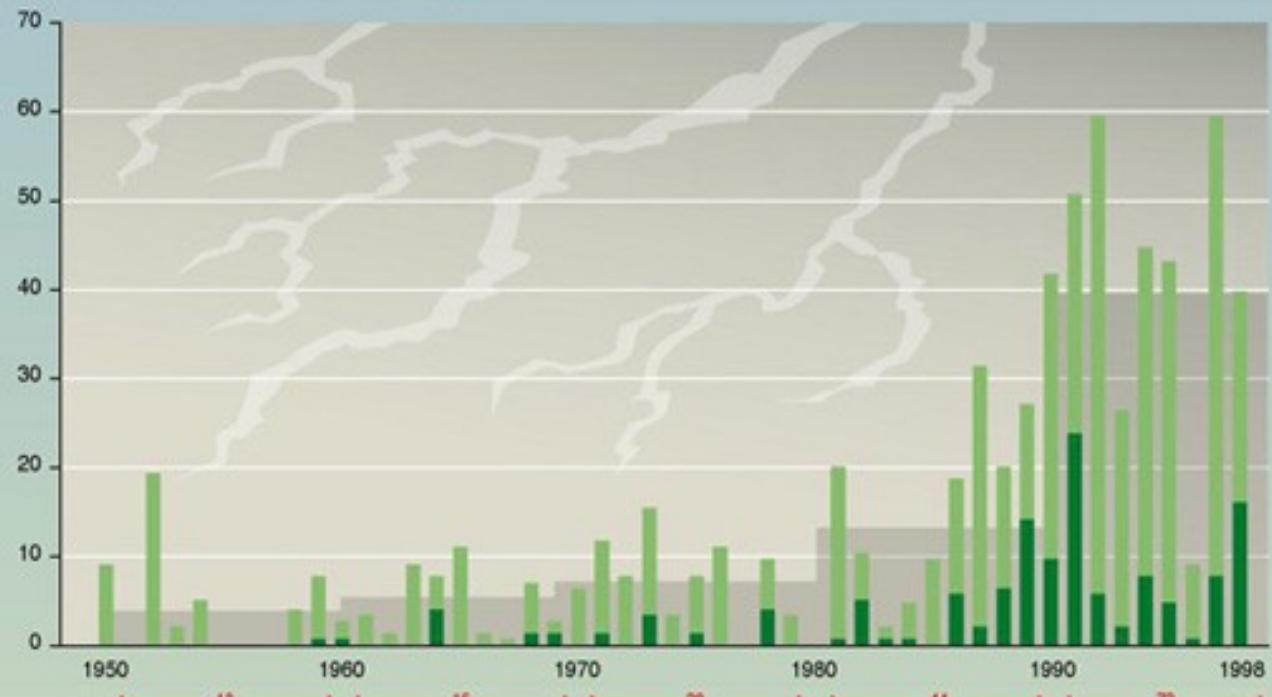
Eventos extremos mais intensos





Custo Global dos Eventos Extremos

Annual losses, in thousand million U.S. dollars



Perdas totais

— 13 —

No. eventos

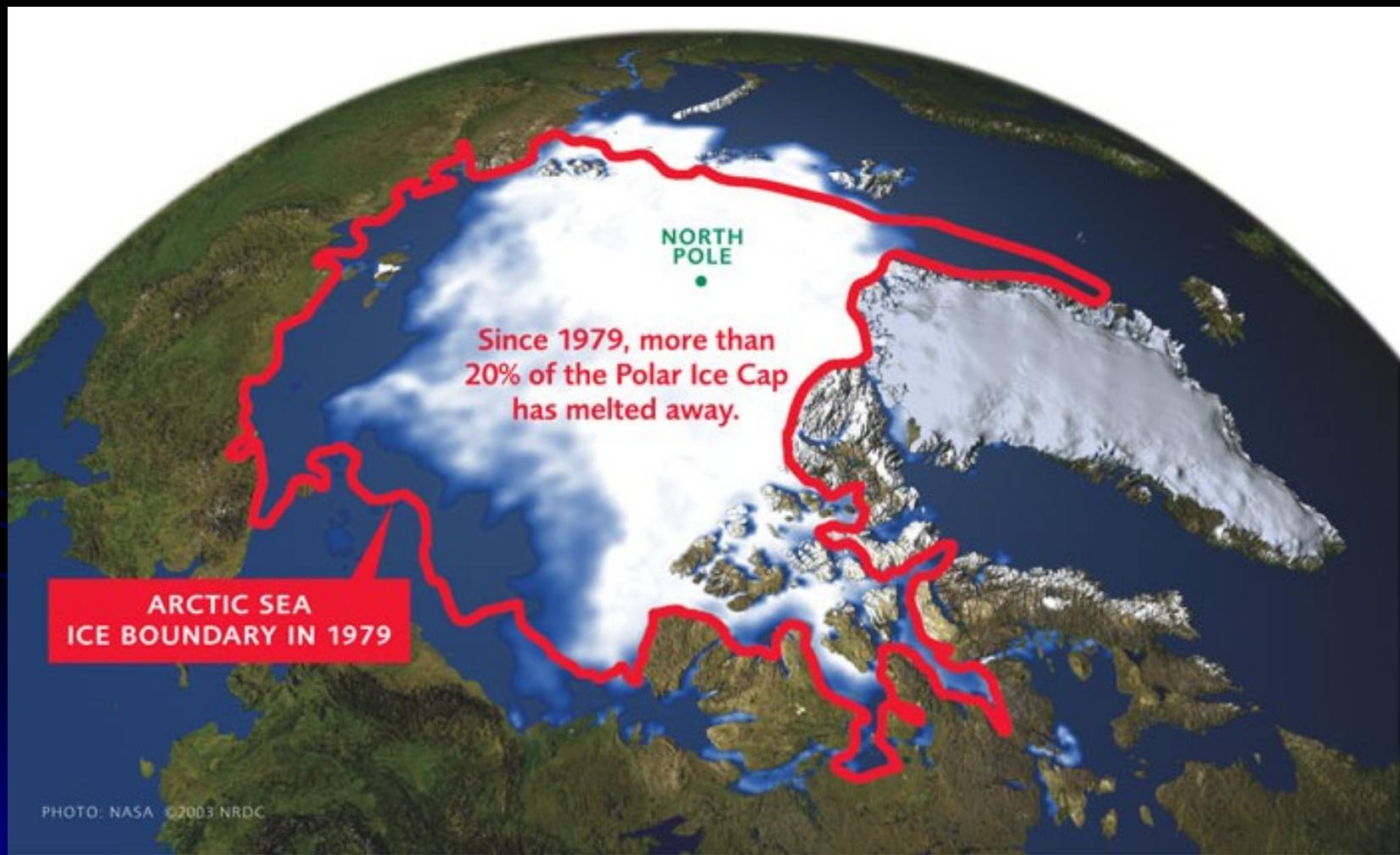
Perdas c/ seguro

— 13 —

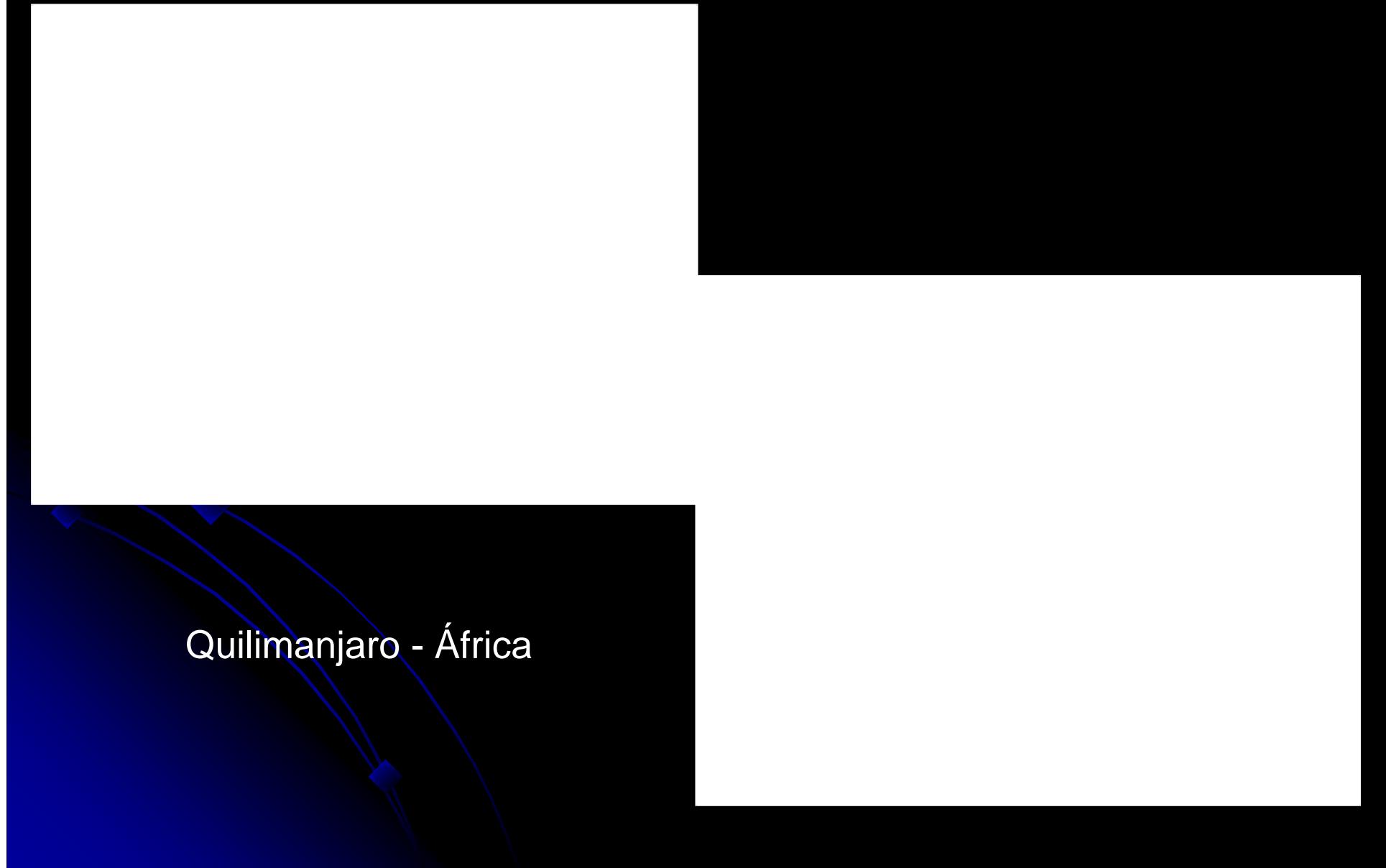
Média decadal



Derretimento das Calotas Polares...



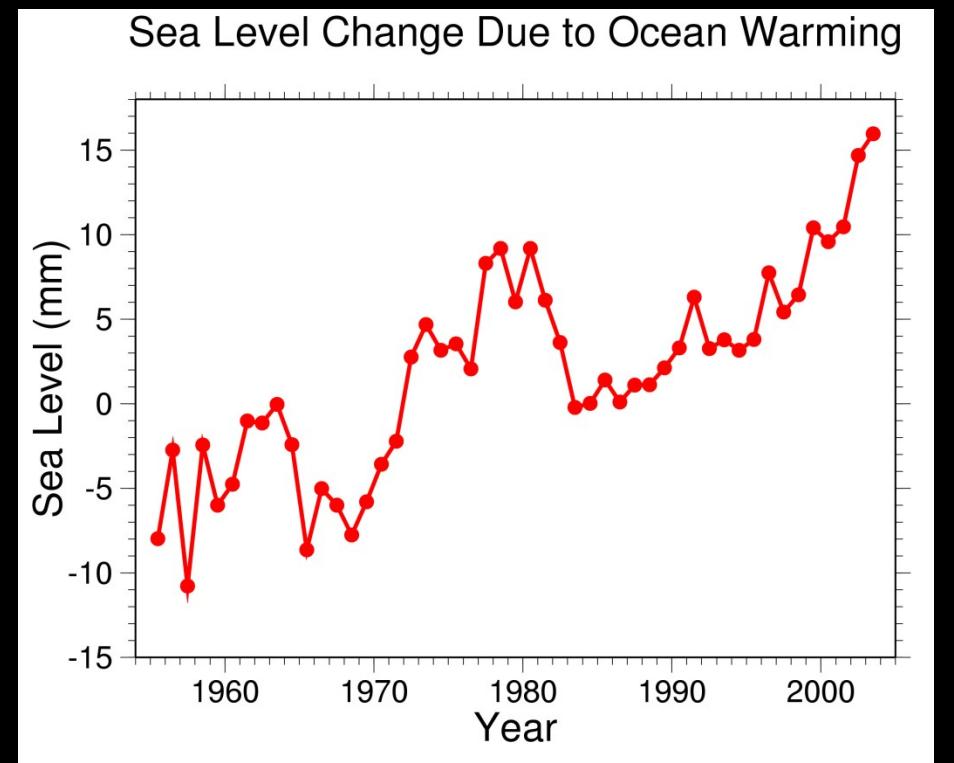
...e das geleiras dos picos nevados.



Aumento dos níveis dos oceanos

Taxa de elevação dos oceanos (mm por ano). Comparação entre os períodos de 1961 a 2003 e de 1993 a 2003

	1961-2003	1993-2003
Efeito das mudanças climáticas	$1,1 \pm 0,5$	$2,8 \pm 0,7$
Elevação Observada	$1,8 \pm 0,5$	$3,1 \pm 0,7$



Impactos Gerais do Aquecimento Global no Ciclo Hidrológico

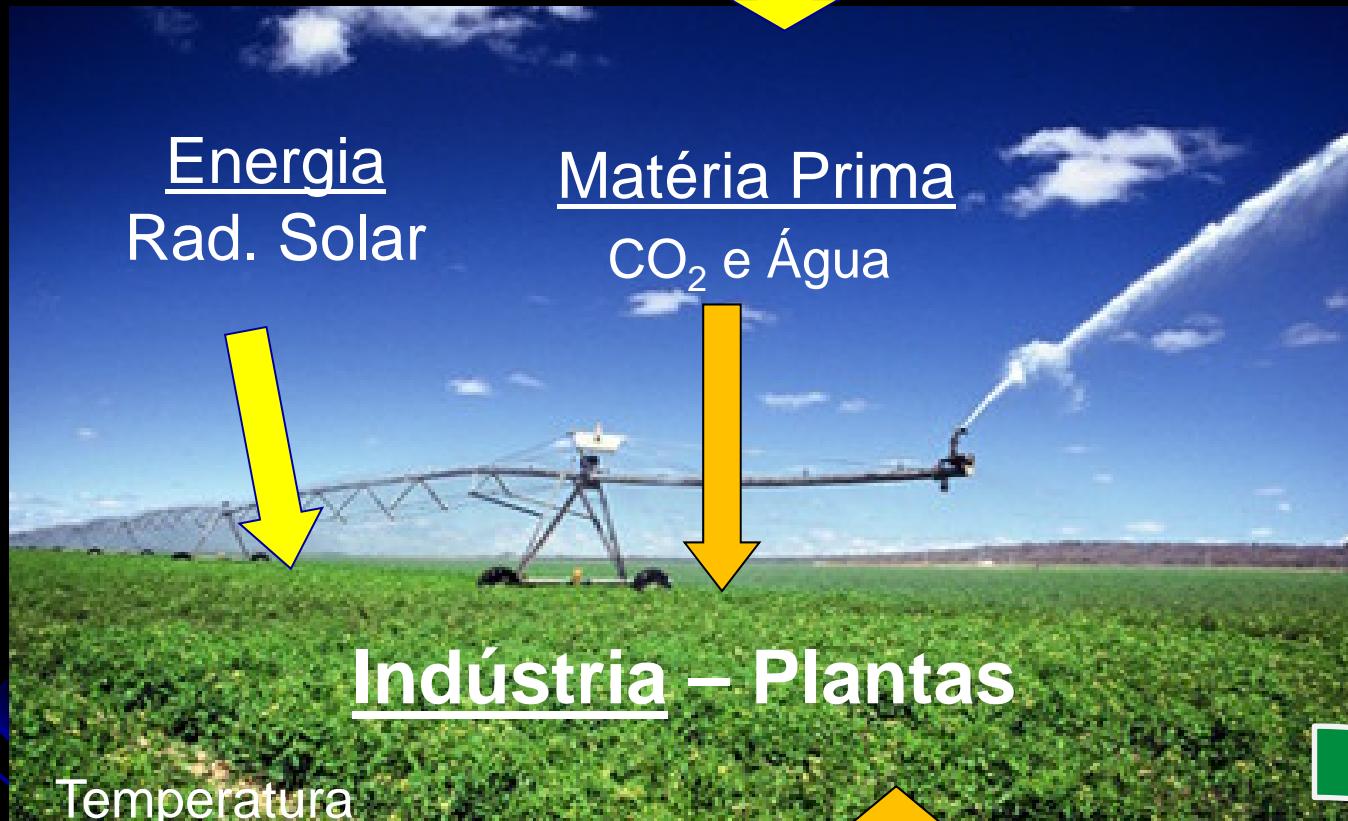




Conseqüências das Mudanças
Climáticas na Agricultura, em Geral

Efeitos do Ambiente na Produção Agrícola

Turno de Trabalho
Fotoperíodo

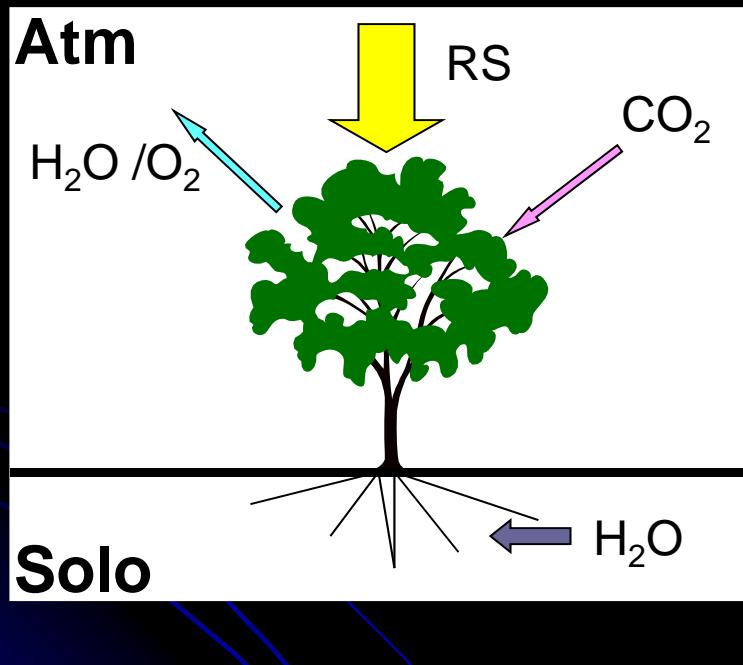


Processo – Fotossíntese → Produto

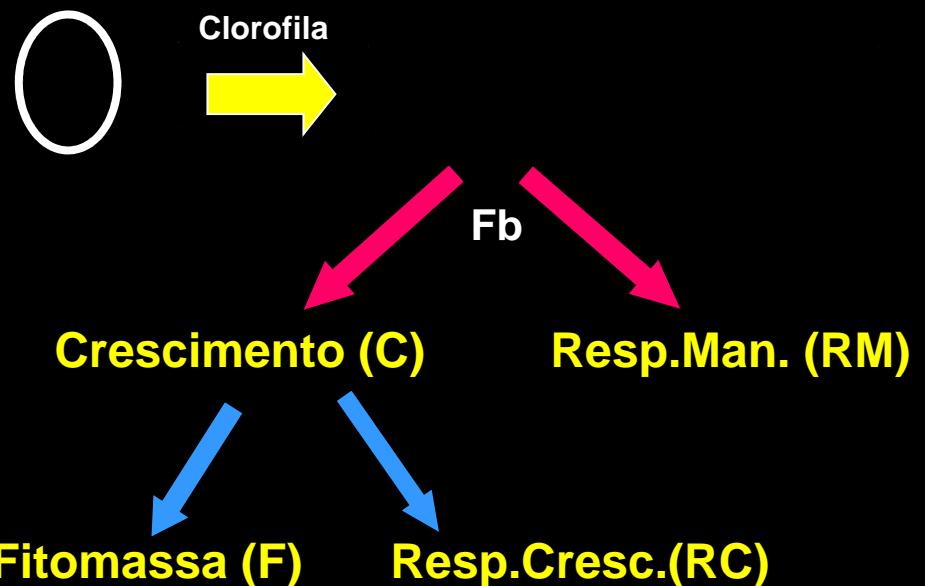


Base Fisiológica da Produtividade Vegetal

Fotossíntese



Estômato - regula a transpiração (saída de água) e a fixação de CO₂, que são controlados pela RS, T, UR, Vel.Vento e Disp. Água Solo



Eficiência de Conversão de Carboidratos

$$ECC = F/C$$

Milho ECC = 0,73
Soja ECC = 0,53

Taxa de Crescimento da Cultura

$$TCC = ECC (Fb - RM)$$

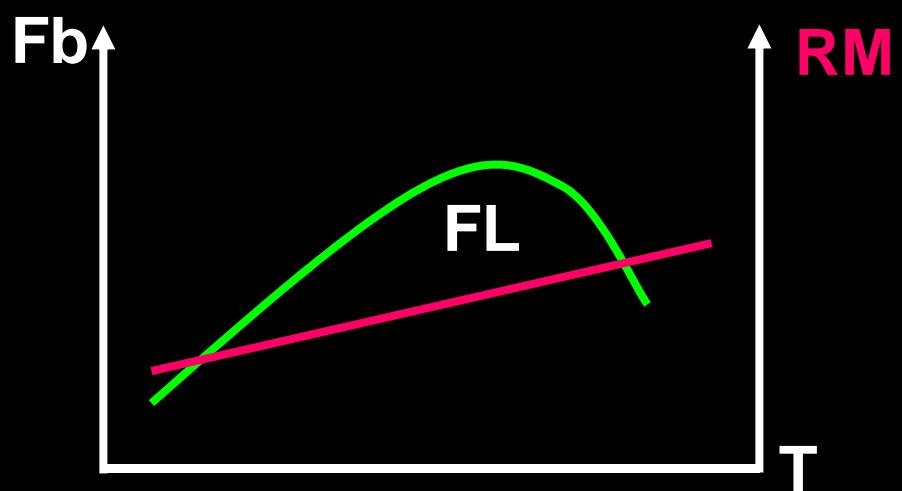
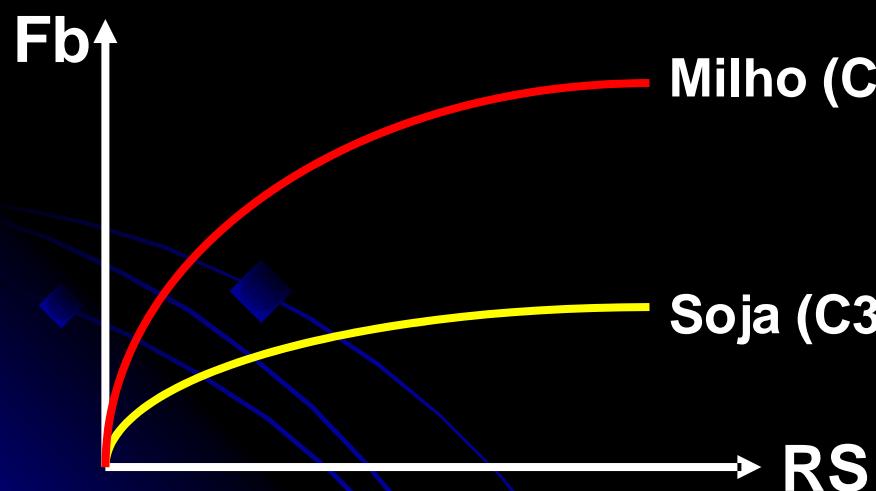
Influência das Condições Meteorológicas na TCC

$$TCC = ECC (Fb - RM)$$

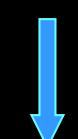
Espécie

RS, T, CO₂, Disp.
água no solo

T, idade e tamanho
da planta



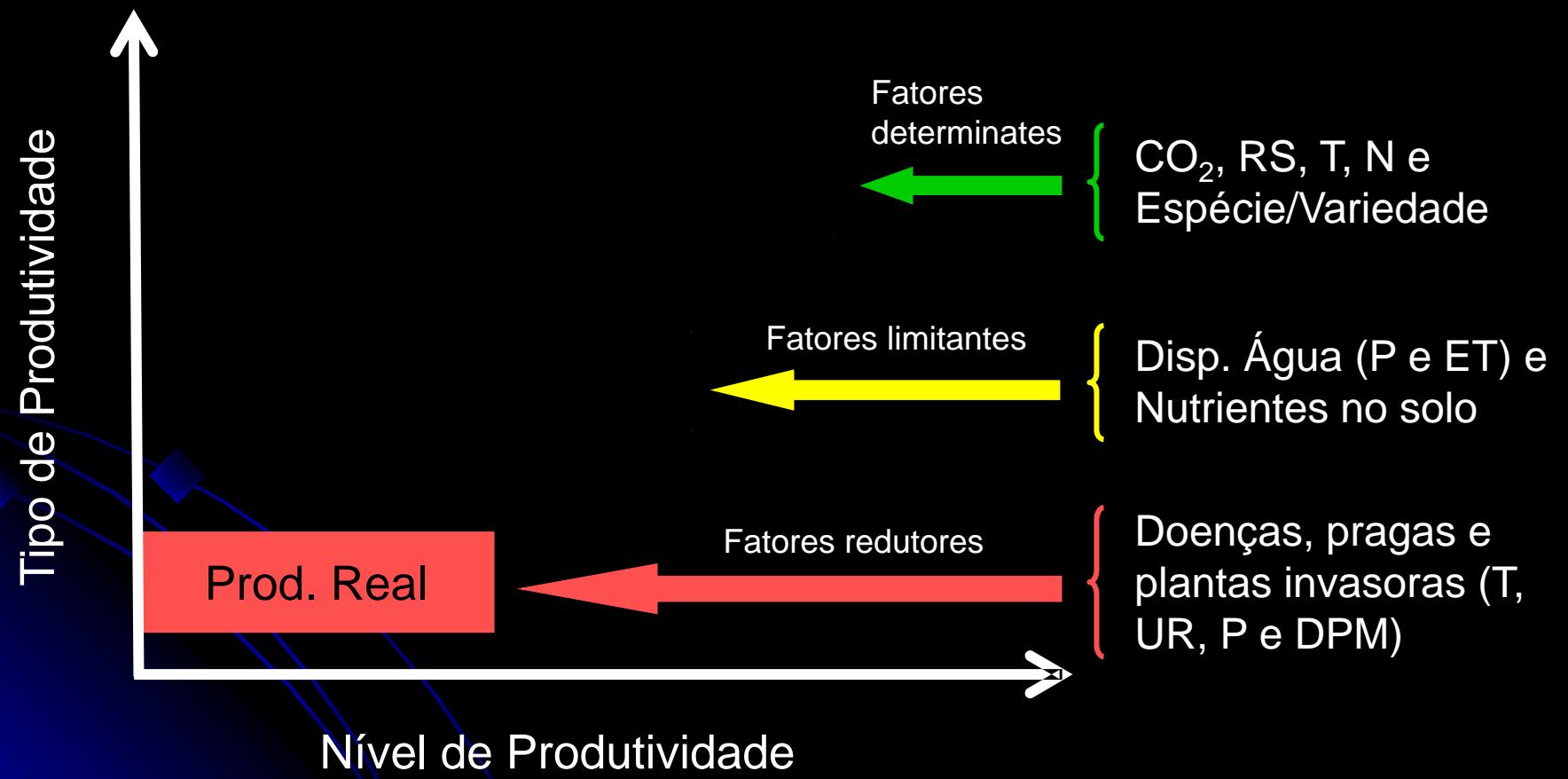
Transpiração



Água no solo

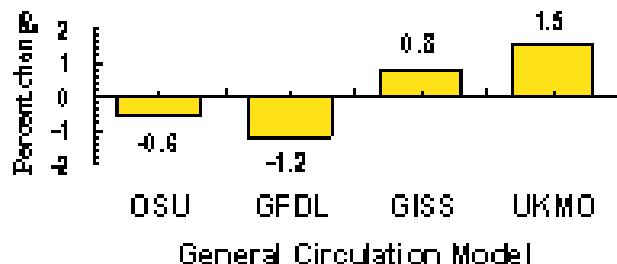
Deficiência Hídrica
Redução na fixação de CO₂
Redução da Fb e FL
Redução da Produtividade

Tipos e Níveis de Produtividade

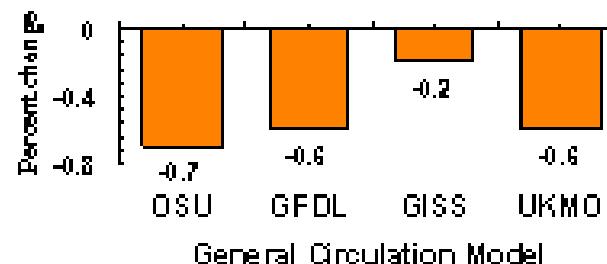


Efeito do aquecimento global (2,8 a 5,2°C) na produção agrícola mundial

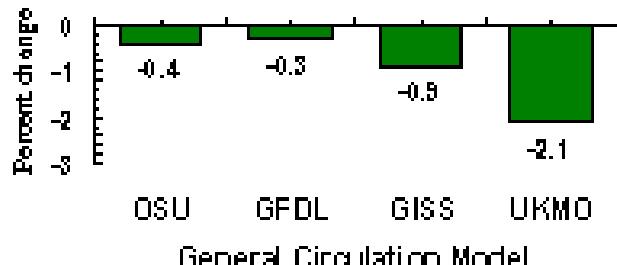
Trigo



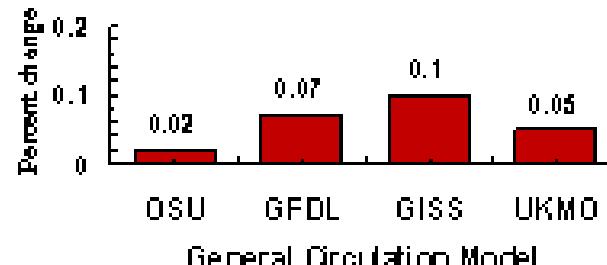
Outros grãos



Outras culturas



Pastagens

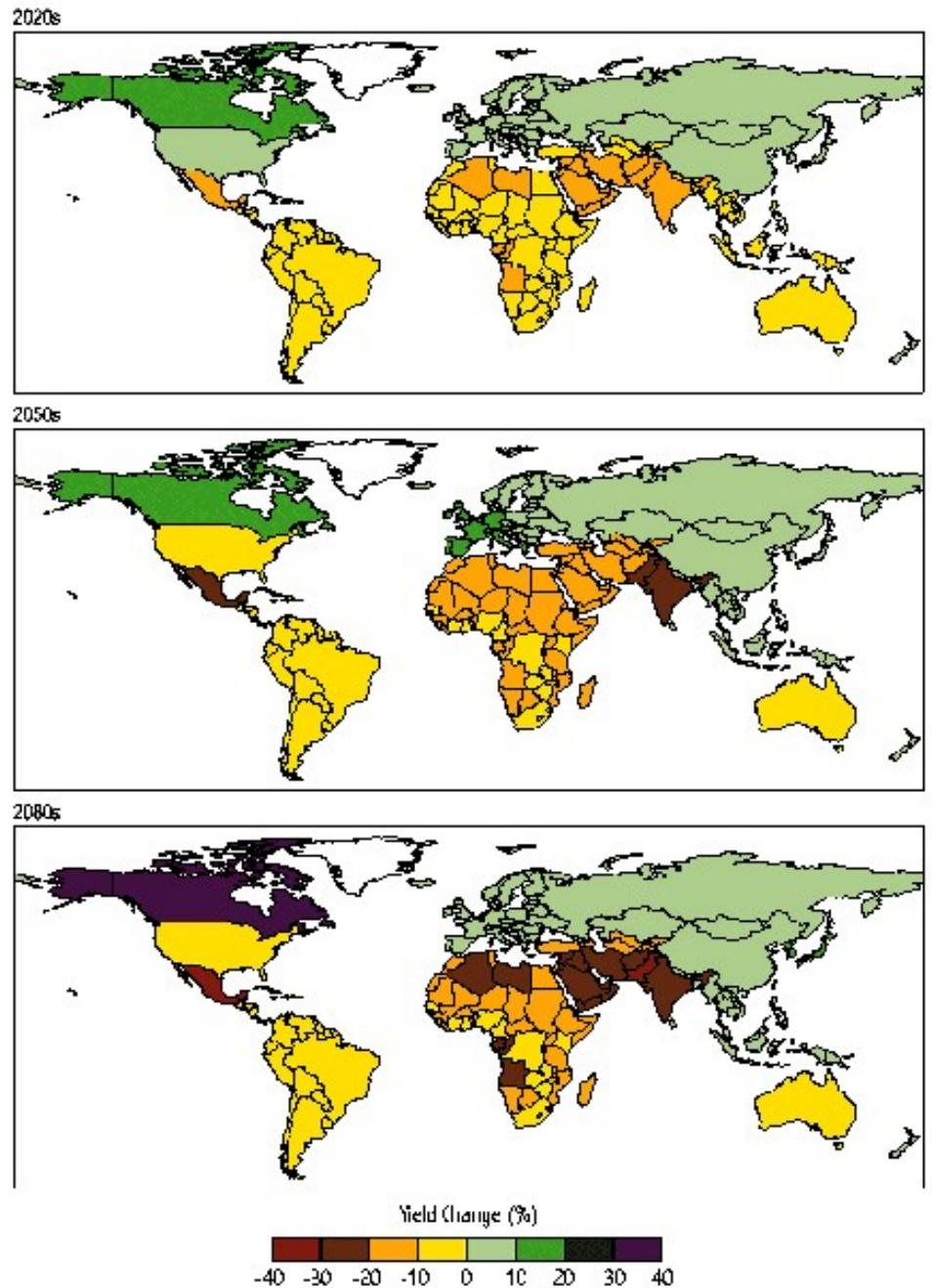


Note: Estimates based on results from general circulation models of Oregon State University (OSU), the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), the Goddard Institute for Space Studies (GISS), and the United Kingdom Meteorological Office (UKMO) when applied to economic conditions and atmospheric concentrations of carbon dioxide in 1990.

Variação na Produtividade Agrícola

Os impactos esperados para a agricultura são predominantemente negativos, apesar de que em alguns locais, especialmente nas altas latitudes deverá haver aumento da produção agrícola, com aumento da produtividade e da área cultivada. No entanto, esses resultados são válidos para as culturas do trigo, arroz e milho.

E para as outras culturas?



Source: Jackson Institute, University College London / Goddard Institute for Space Studies / International Institute for Applied Systems Analysis

Efeito do Aquecimento Global no Zoneamento Agrícola

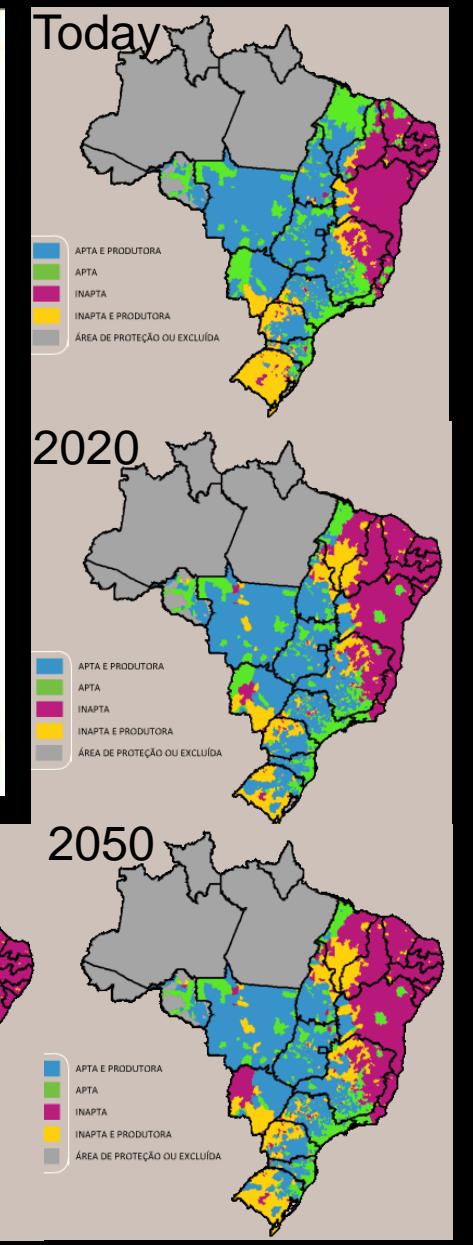
| Home | Como a Agricultura será afetada | Causa e Efeito | Pesquisadores explicam | Como se adequar | Autores | Links | Contato |

Aquecimento Global e a Produção Agrícola do Brasil



Impacto na Agricultura **ACESSE MAPAS** → **Algodão | Arroz | Café | Cana-de-açúcar | Feijão | Girassol | Mandioca | Milho | Soja**

As mudanças climáticas previstas para as próximas décadas como resultado do aquecimento global vão colocar em risco a produção agrícola no Brasil. Estudo de pesquisadores da Embrapa e da Unicamp prevê que o aumento da temperatura no país vai diminuir a área favorável aos cultivos de soja, café, milho, arroz, feijão e algodão, podendo levar a um prejuízo de R\$ 7,4 bilhões já em 2020. As exceções são a cana-de-açúcar, que terá espaço para se expandir e até dobrar a produção, e a mandioca, que, apesar de perder espaço de cultivo no Nordeste, poderá ser plantada em outras regiões do país. Os resultados sugerem que a geografia da produção agrícola brasileira vai mudar nos próximos anos, e, para evitar danos maiores ao desenvolvimento do país, é preciso começar a agir desde já.



Fonte: EMBRAPA – Agritempo

Efeito do Aquecimento Global no Zoneamento Agrícola

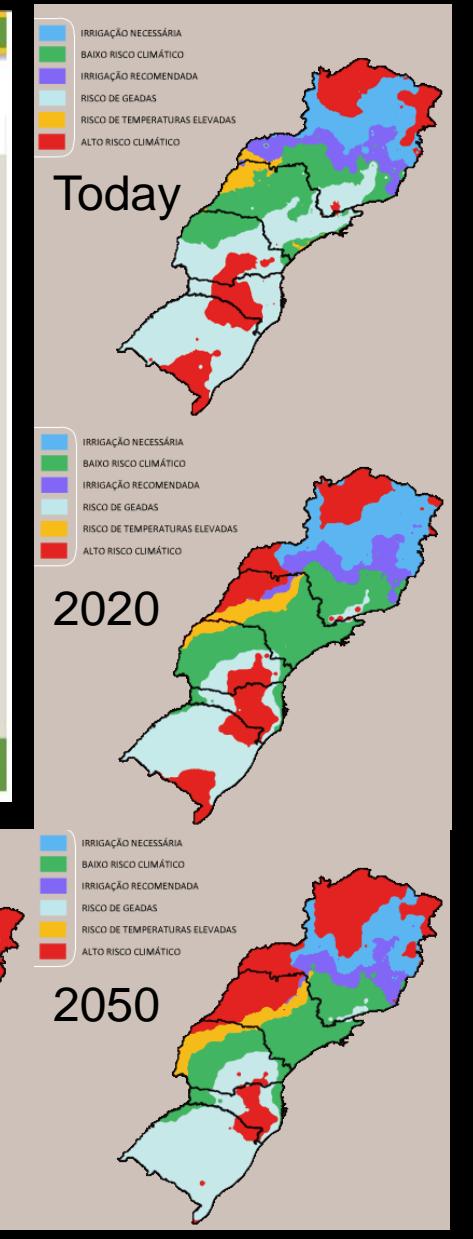
| Home | Como a Agricultura será afetada | Causa e Efeito | Pesquisadores explicam | Como se adequar | Autores | Links | Contato |

Aquecimento Global e a Produção Agrícola do Brasil



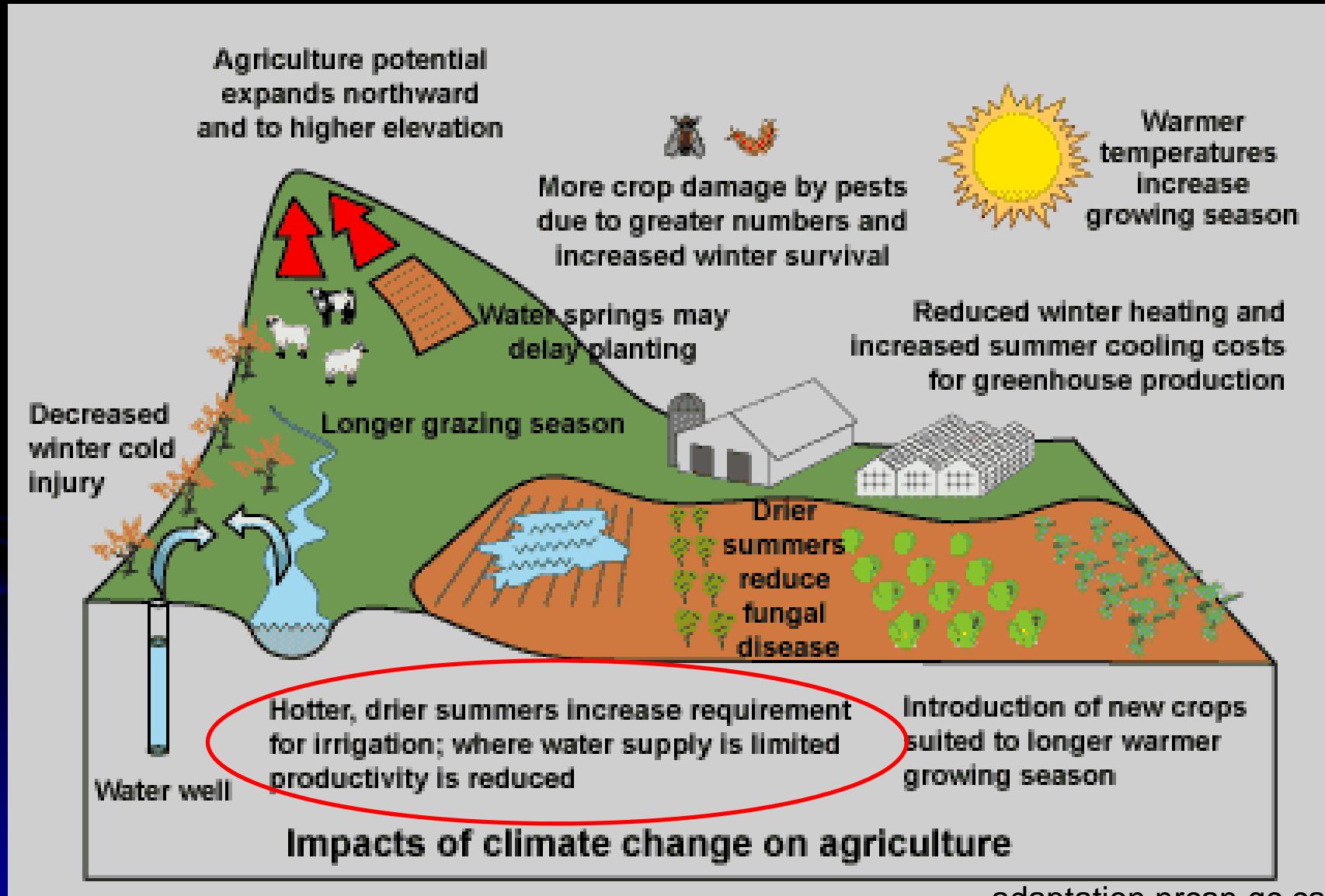
Impacto na Agricultura → Acesse MAPAS → Algodão | Arroz | **Café** | Cana-de-açúcar | Feijão | Girassol | Mandioca | Milho | Soja

As mudanças climáticas previstas para as próximas décadas como resultado do aquecimento global vão colocar em risco a produção agrícola no Brasil. Estudo de pesquisadores da Embrapa e da Unicamp prevê que o aumento da temperatura no país vai diminuir a área favorável aos cultivos de soja, café, milho, arroz, feijão e algodão, podendo levar a um prejuízo de R\$ 7,4 bilhões já em 2020. As exceções são a cana-de-açúcar, que terá espaço para se expandir e até dobrar a produção, e a mandioca, que, apesar de perder espaço de cultivo no Nordeste, poderá ser plantada em outras regiões do país. Os resultados sugerem que a geografia da produção agrícola brasileira vai mudar nos próximos anos, e, para evitar danos maiores ao desenvolvimento do país, é preciso começar a agir desde já.



Fonte: EMBRAPA – Agritempo

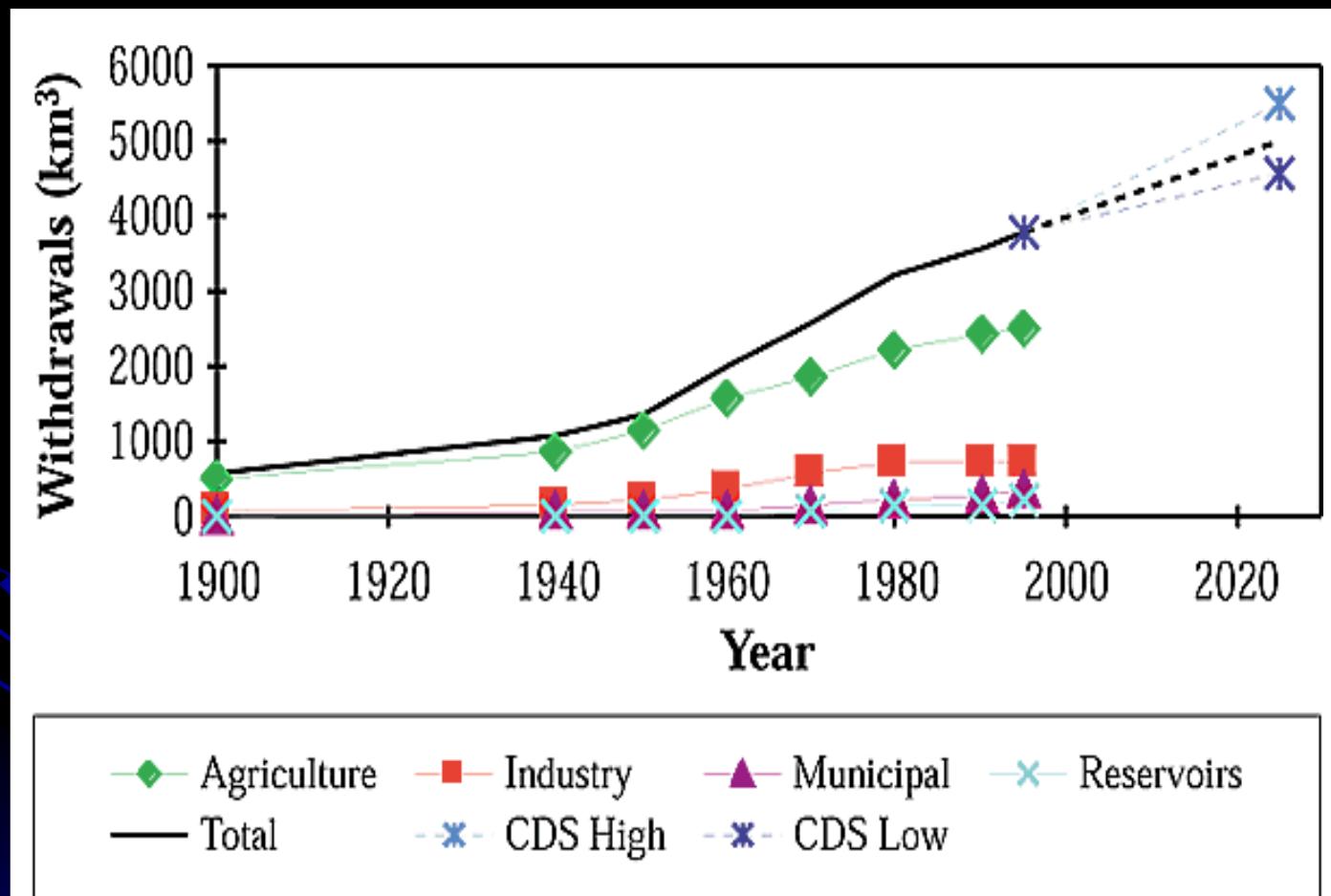
Impactos Gerais do Aquecimento Global na Agricultura



Conseqüências das Mudanças Climáticas na Agricultura Irrigada

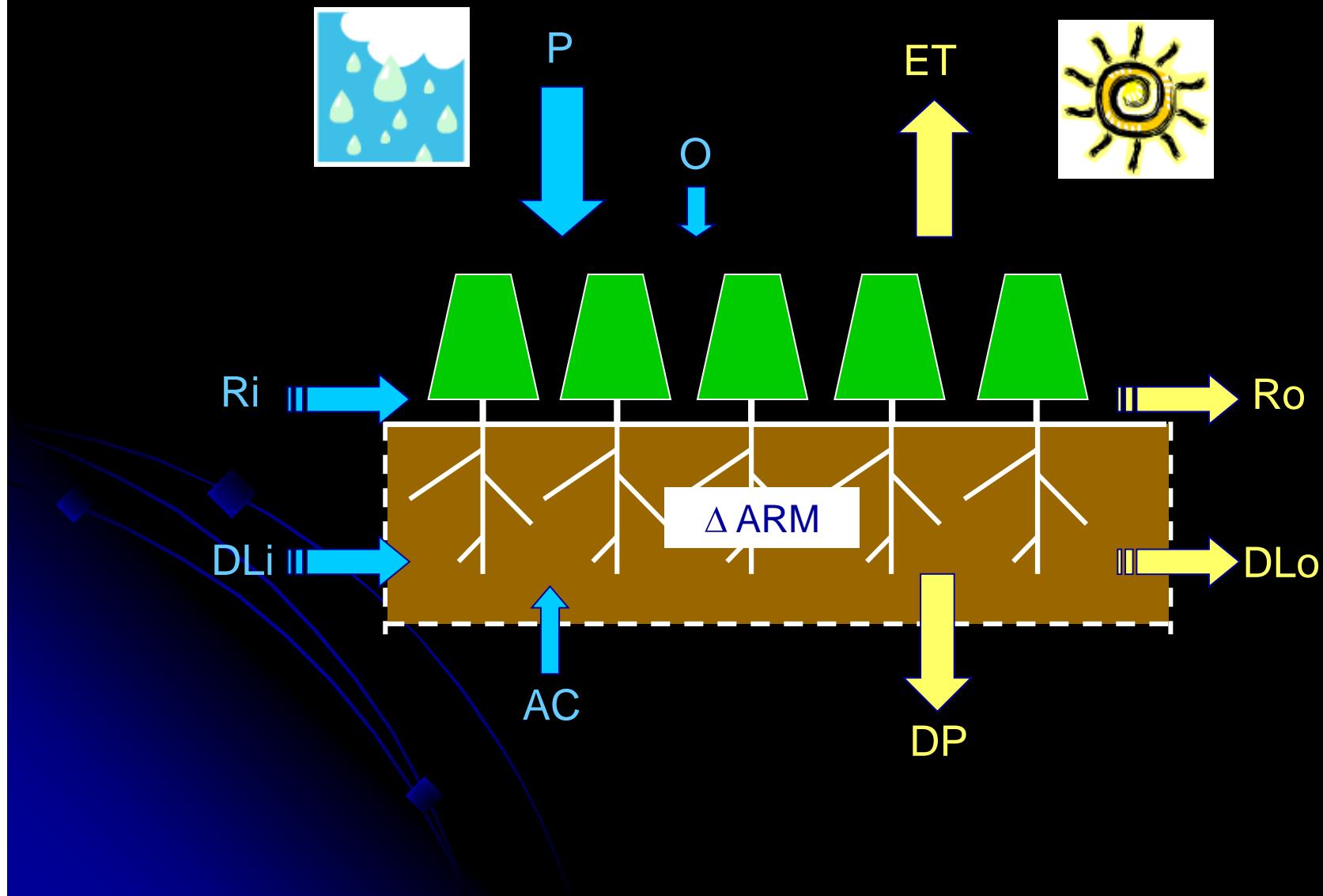


De toda água doce utilizada no Mundo, a irrigação consome cerca de 72% desse total, sendo portanto, extremamente importante a racionalização de seu uso, especialmente diante das mudanças climáticas, em que a demanda evapotranspirativa deverá aumentar



Uso global da água (1900–1995), com projeções para 2025
(Shiklomanov et al., 2000; Raskin et al., 1997)

Impactos do Aquecimento Global no Balanço Hídrico

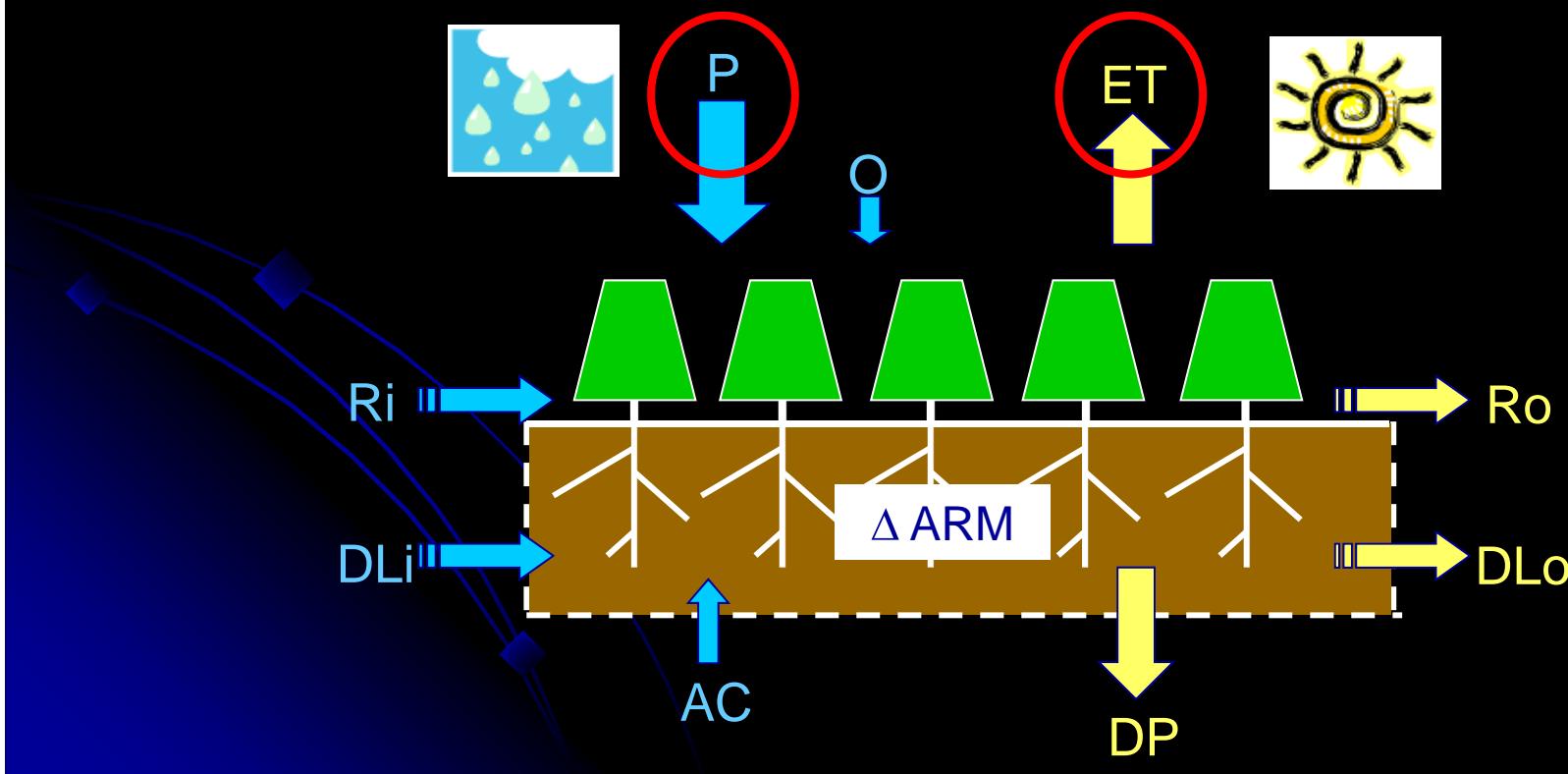


Os principais impactos do Aquecimento Global no Balanço Hídrico serão devido à redução/aumento das chuvas e à elevação das taxas de evapotranspiração, que terão como consequências:

Aumento/Redução da Disponibilidade Hídrica do Solo

Aumento/Redução da Deficiência Hídrica

Aumento/Redução da Recarga dos Mananciais



Impactos do Aquecimento Global no Balanço Hídrico de Algumas Localidades do Nordeste Brasileiro

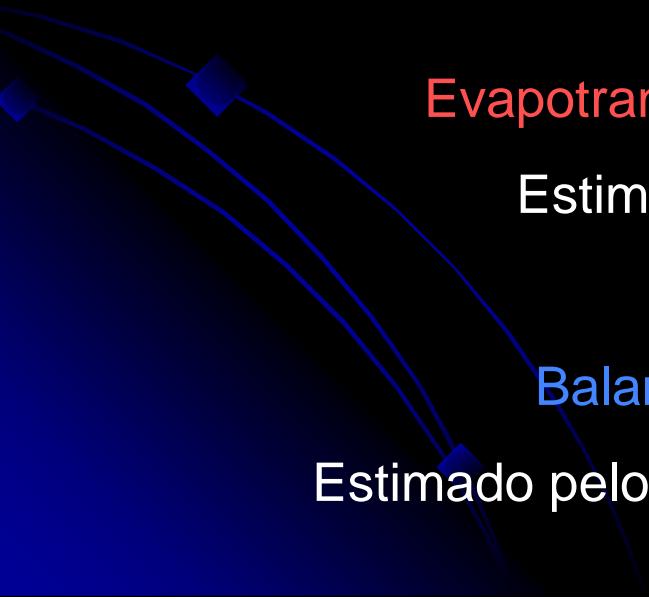
Comparação entre o cenário atual (1961-1990) e as projeções estimadas pelo relatório do IPCC (2007) para 2080:

Aumento da Temperatura (+4°C)

Redução da Umidade Relativa (-5%)

Aumento das Chuvas no período DJF (+5%)

Redução das Chuvas no período JJA (-10%)



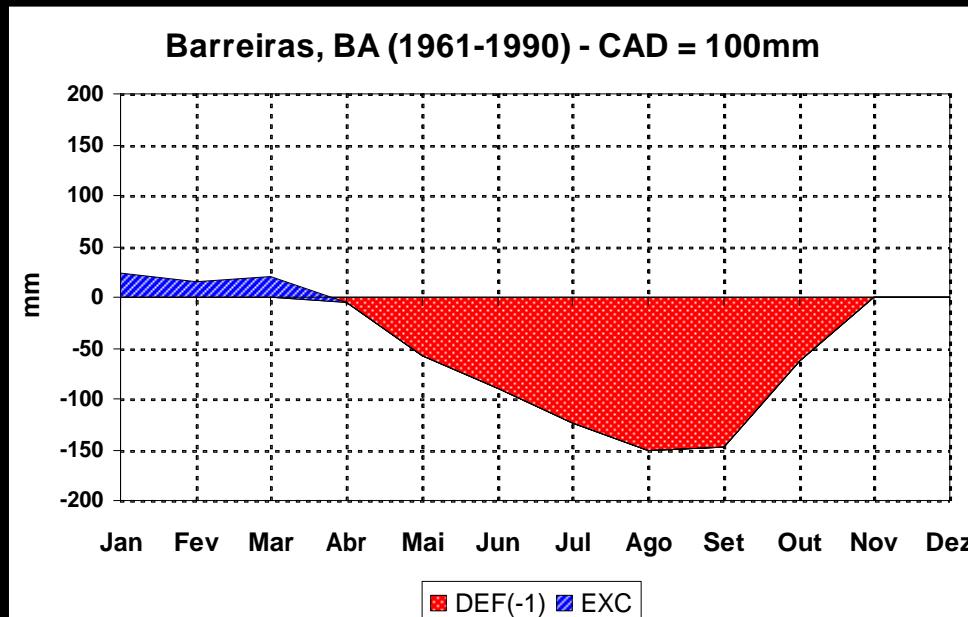
Evapotranspiração de Referência (ETo)

Estimada por Penman-Monteith

Balanço Hídrico Climatológico

Estimado pelo Método de Thornthwaite & Mather

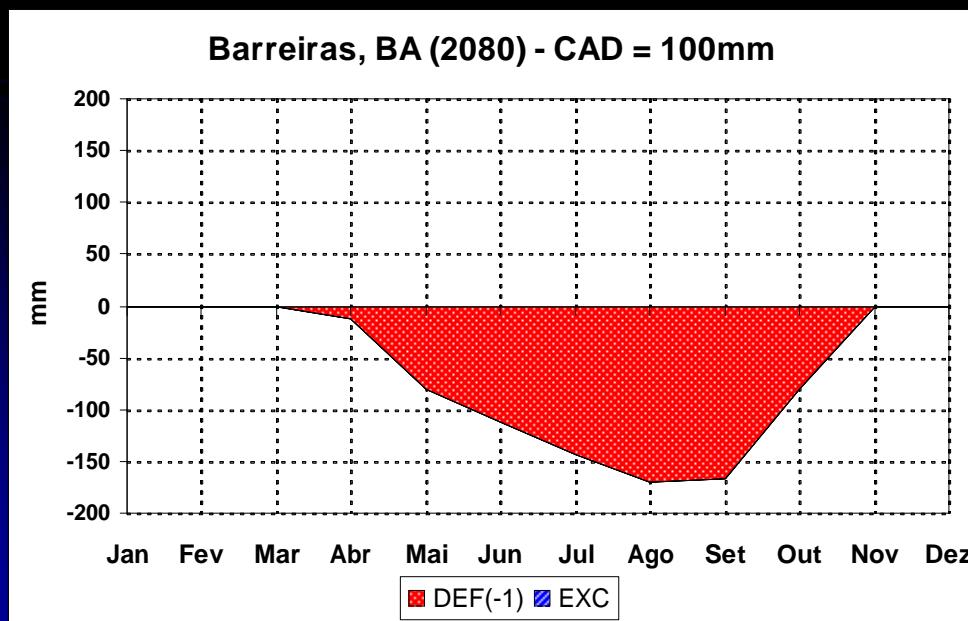
Impactos do Aquecimento Global no Balanço Hídrico



Prec = 1121 mm ET_o = 1697mm

DEF = 636 mm EXC = 59 mm

$$ET_o = 4,6 \text{ mm dia}^{-1}$$

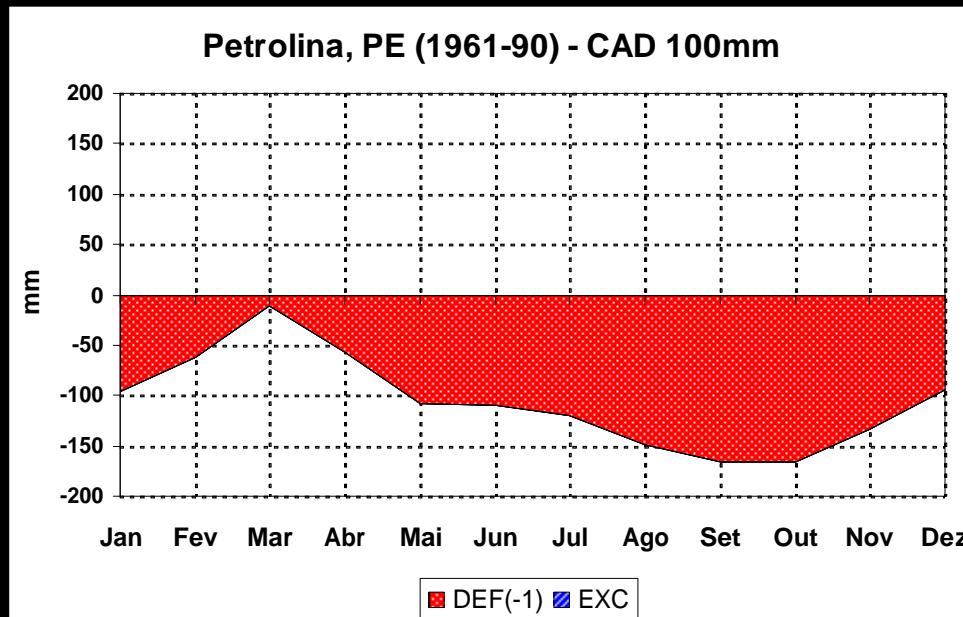


Prec = 1145 mm ET_o = 1911mm

DEF = 766 mm EXC = 0 mm

$$ET_o = 5,2 \text{ mm dia}^{-1}$$

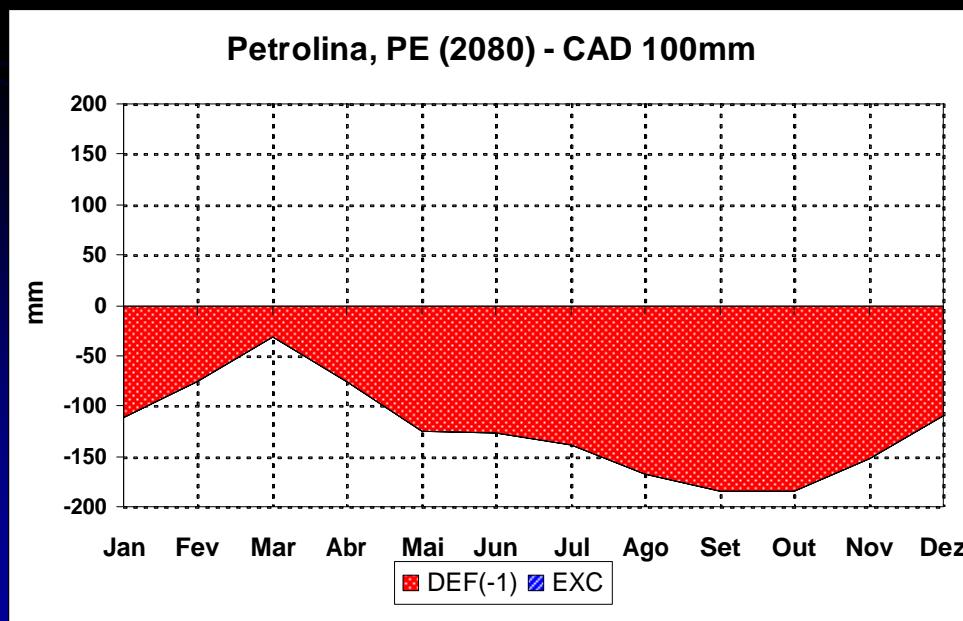
Impactos do Aquecimento Global no Balanço Hídrico



Prec = 608 mm ETo = 1881 mm

DEF = 1273 mm EXC = 0 mm

$$ETo = 5,2 \text{ mm dia}^{-1}$$

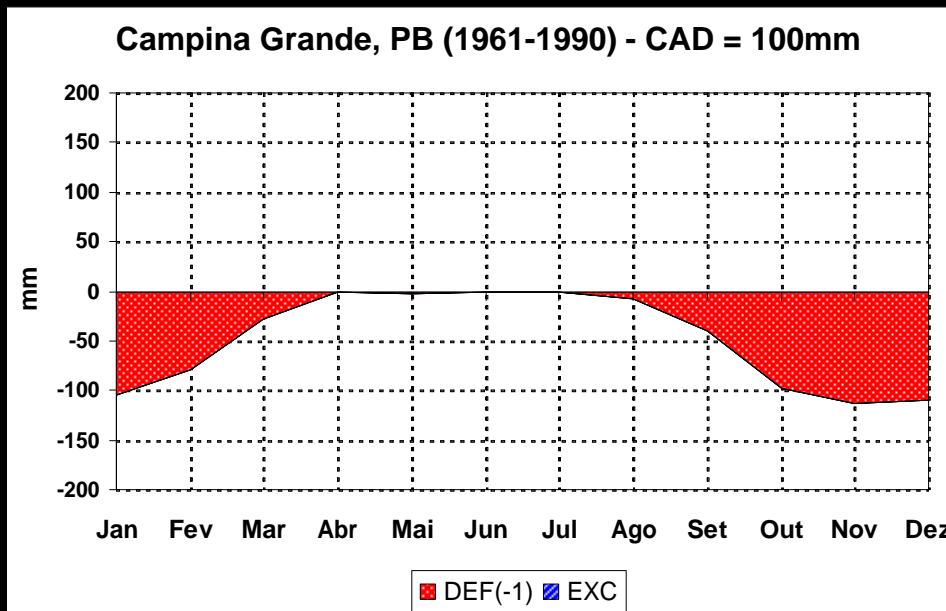


Prec = 618 mm ETo = 2100 mm

DEF = 1482 mm EXC = 0 mm

$$ETo = 5,8 \text{ mm dia}^{-1}$$

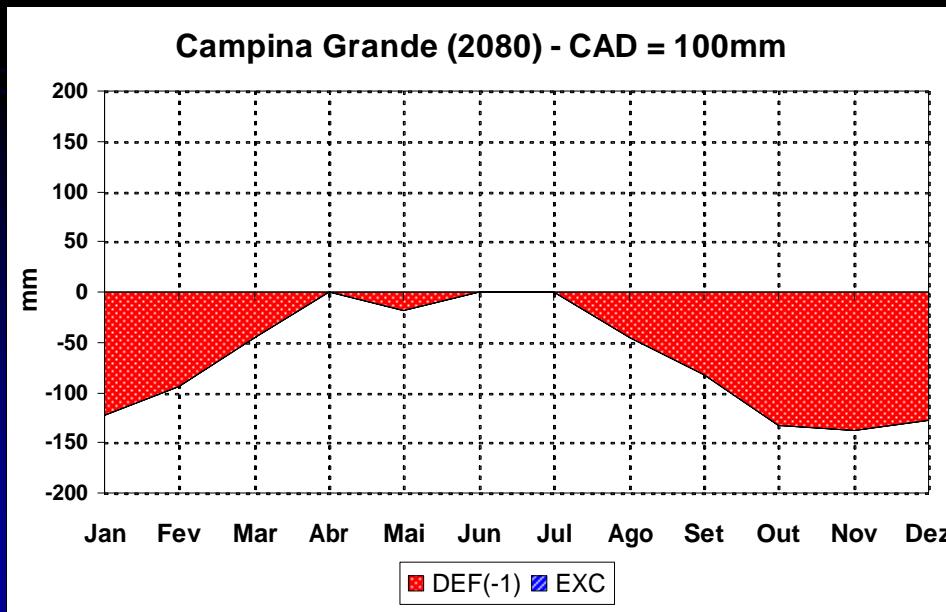
Impactos do Aquecimento Global no Balanço Hídrico



Prec = 803 mm ETo = 1386 mm

DEF = 583 mm EXC = 0 mm

$$ETo = 3,8 \text{ mm dia}^{-1}$$

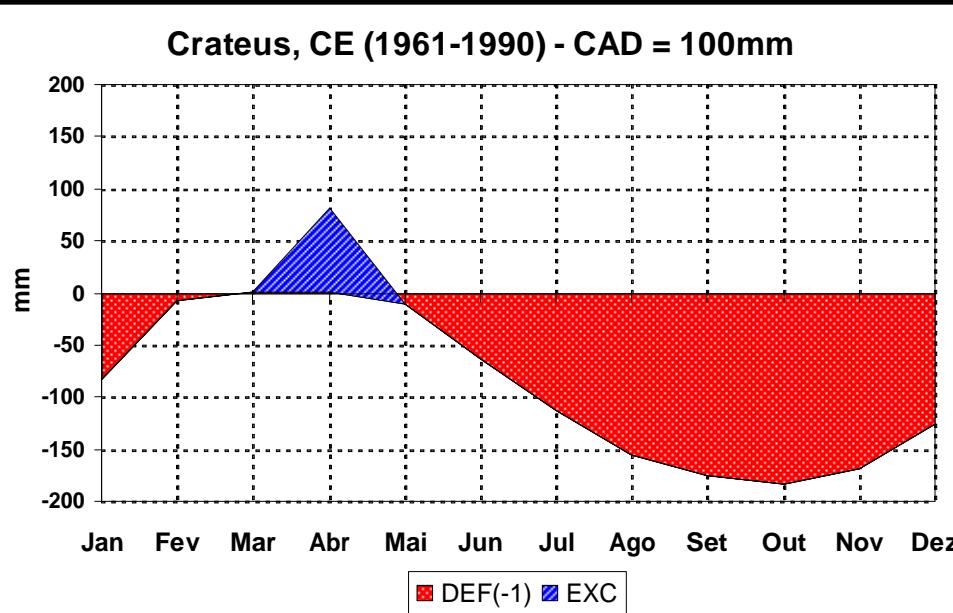


Prec = 780 mm ETo = 1586 mm

DEF = 806 mm EXC = 0 mm

$$ETo = 4,3 \text{ mm dia}^{-1}$$

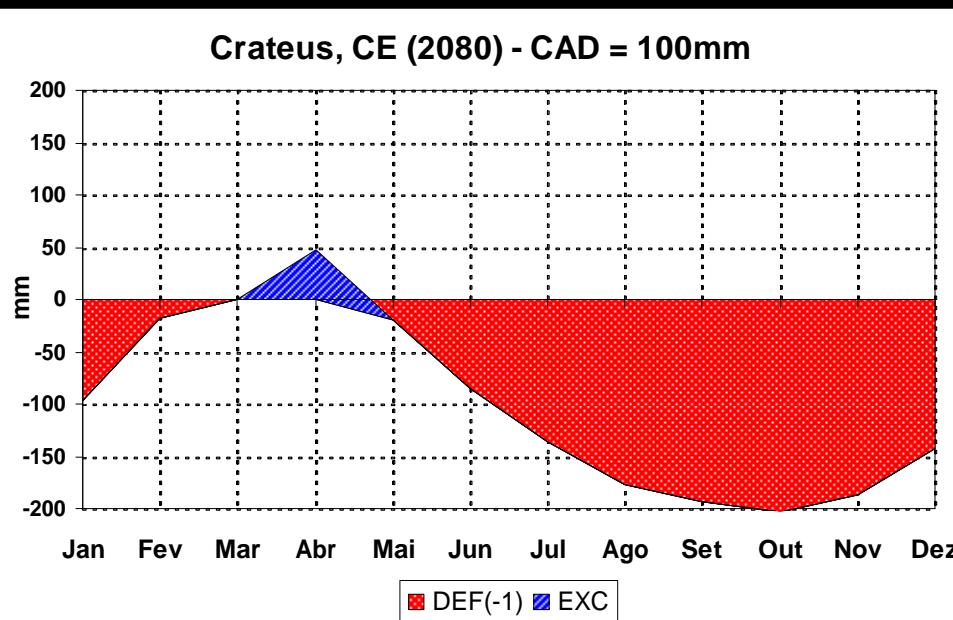
Impactos do Aquecimento Global no Balanço Hídrico



Prec = 825 mm ETo = 1831 mm

DEF = 1088 mm EXC = 82 mm

$$ETo = 5,0 \text{ mm dia}^{-1}$$

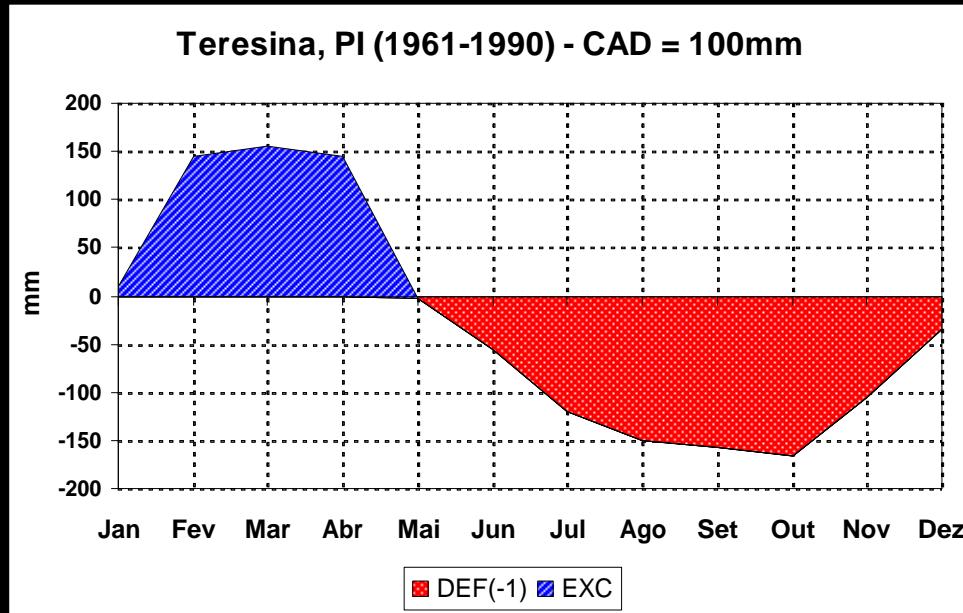


Prec = 833 mm ETo = 2044 mm

DEF = 1260 mm EXC = 48 mm

$$ETo = 5,6 \text{ mm dia}^{-1}$$

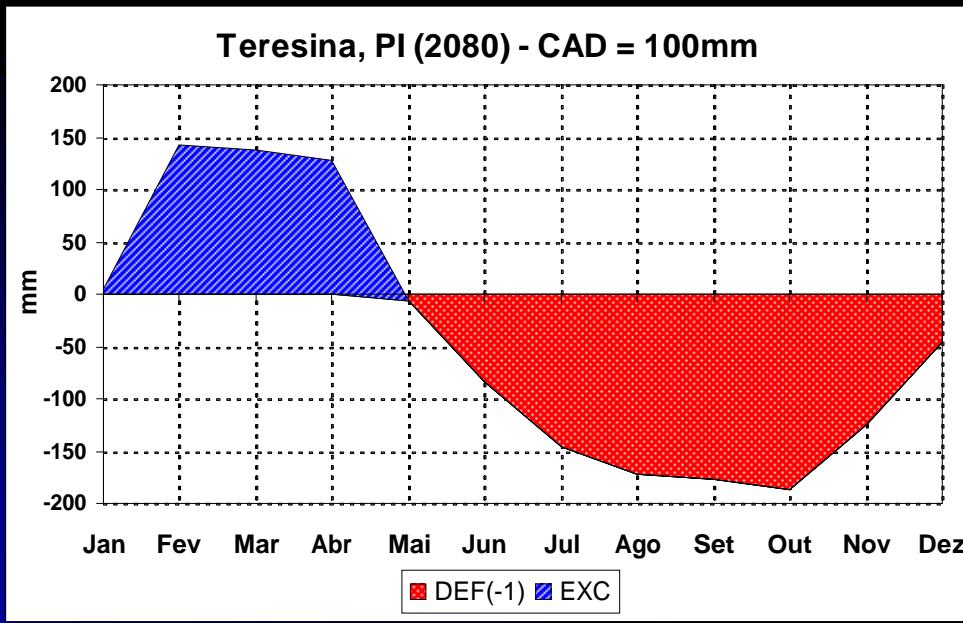
Impactos do Aquecimento Global no Balanço Hídrico



Prec = 1445 mm ETo = 1781 mm

DEF = 793 mm EXC = 456 mm

$$ETo = 4,9 \text{ mm dia}^{-1}$$



Prec = 1474 mm ETo = 2001 mm

DEF = 943 mm EXC = 413 mm

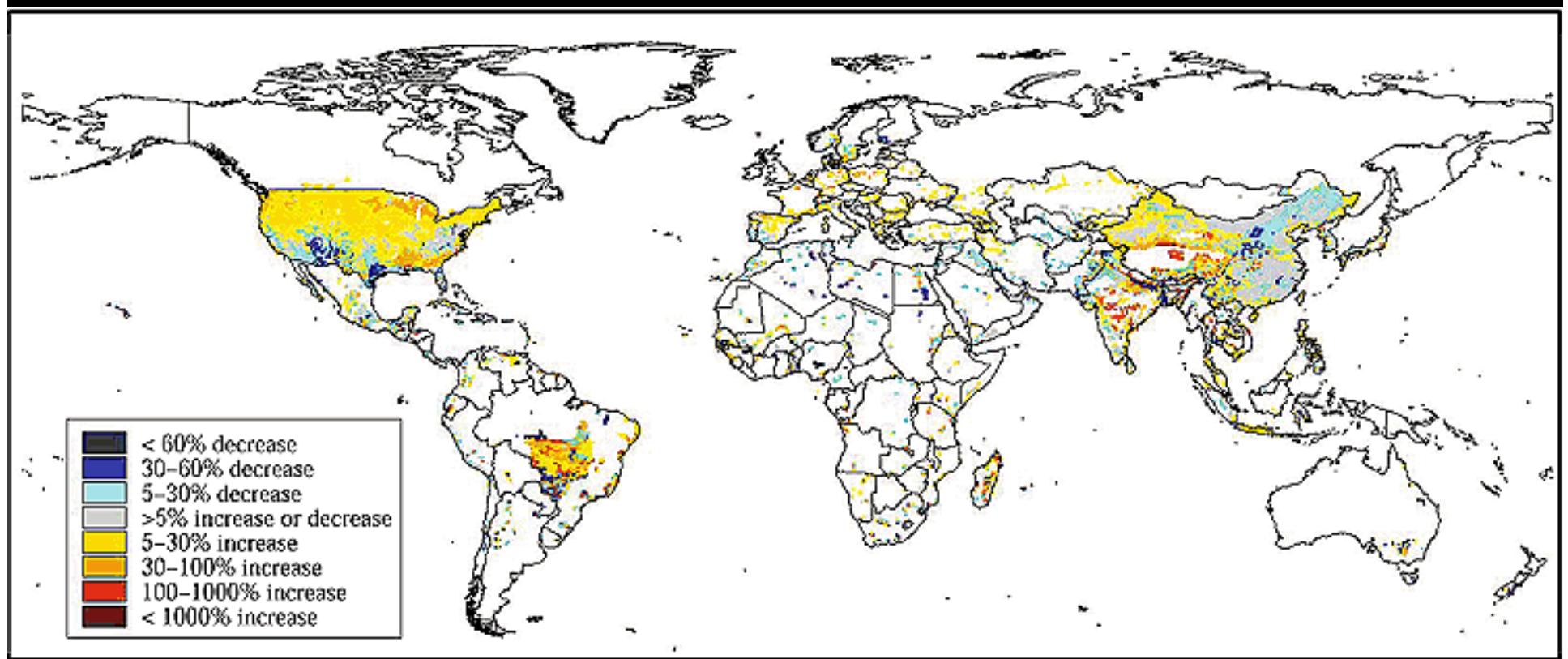
$$ETo = 5,5 \text{ mm dia}^{-1}$$

Portanto, no caso da irrigação na região NE do Brasil, o principal impacto das mudanças climáticas deverá ser o aumento da ETo e, portanto, do consumo hídrico das culturas, que para os exemplos apresentados seria da ordem de 12 a 13%...

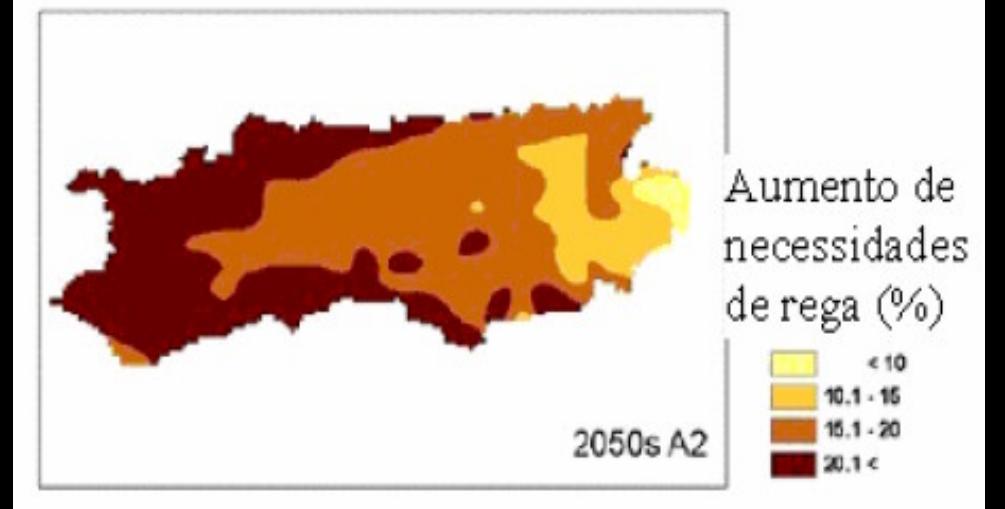
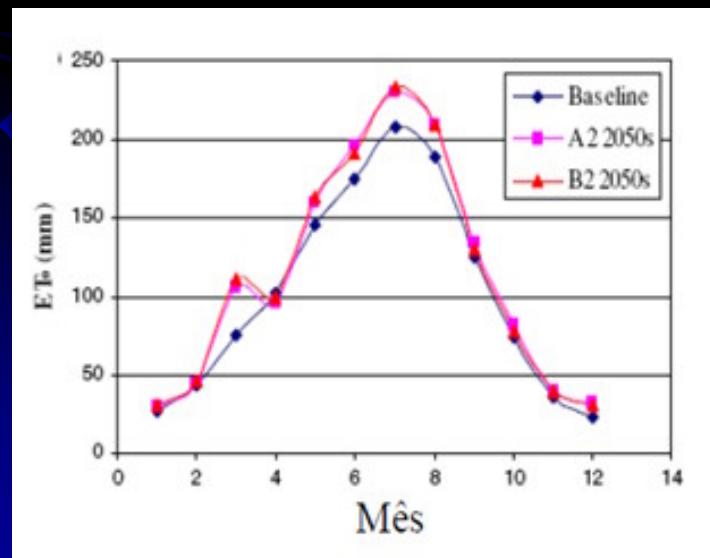
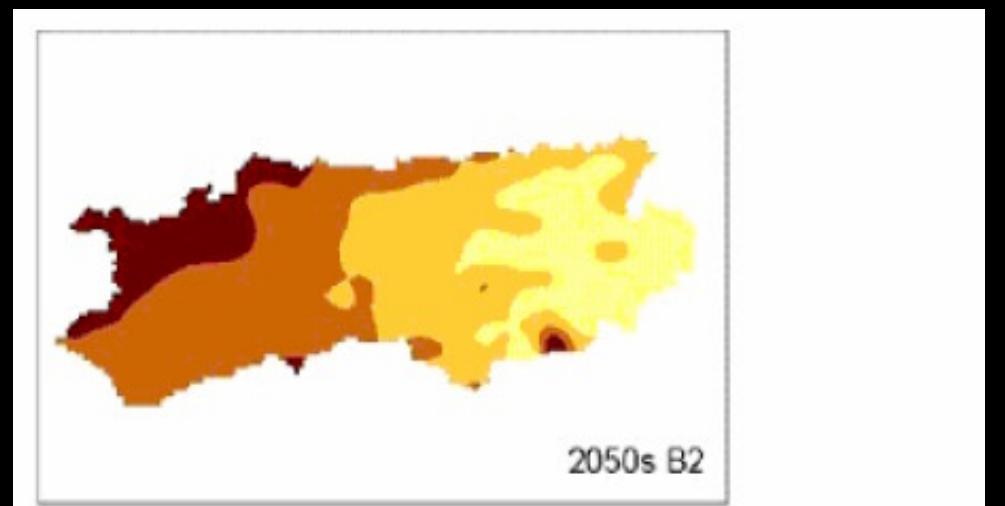
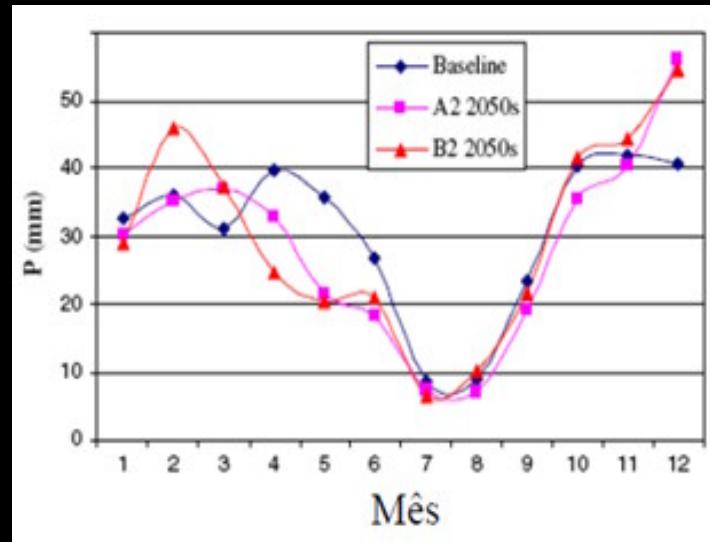


...o que corrobora os resultados de Döll and Siebert (2001), Rodriguez et al. (2008) e Abreu & Pereira (2010), apresentados a seguir

Mudanças relativa da necessidade de irrigação anual entre a condição atual (1961–1990) e 2025, como resultado das mudanças climáticas (áreas onde a irrigação era empregada em 1995) (Döll e Siebert, 2001).

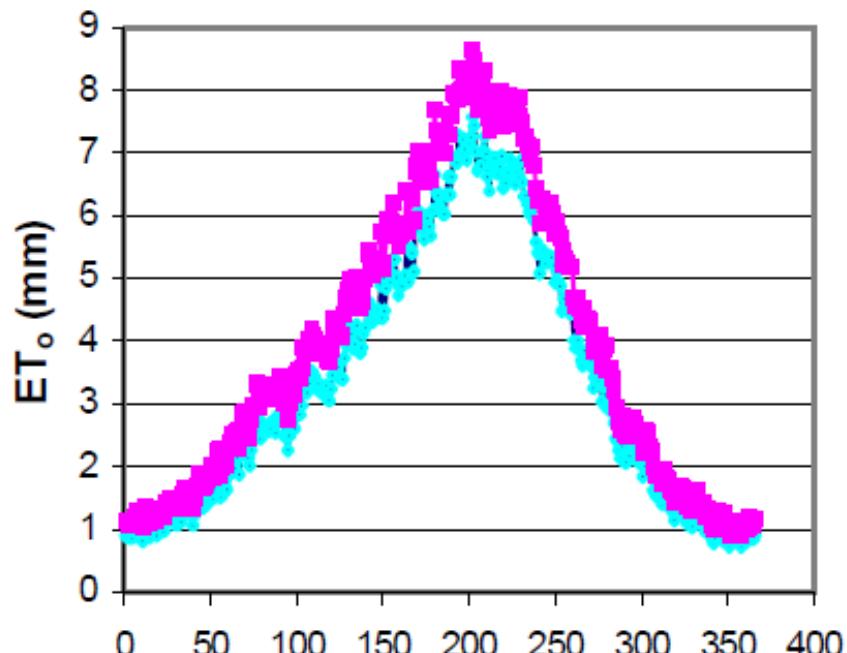


Impacto das mudanças climáticas na Chuva (P), na ETo e na lâmina de irrigação no sul da Espanha, para o clima atual (Baseline) e para os cenários A2 e B2 do IPCC, para 2050 (Rodriguez et al., 2008)

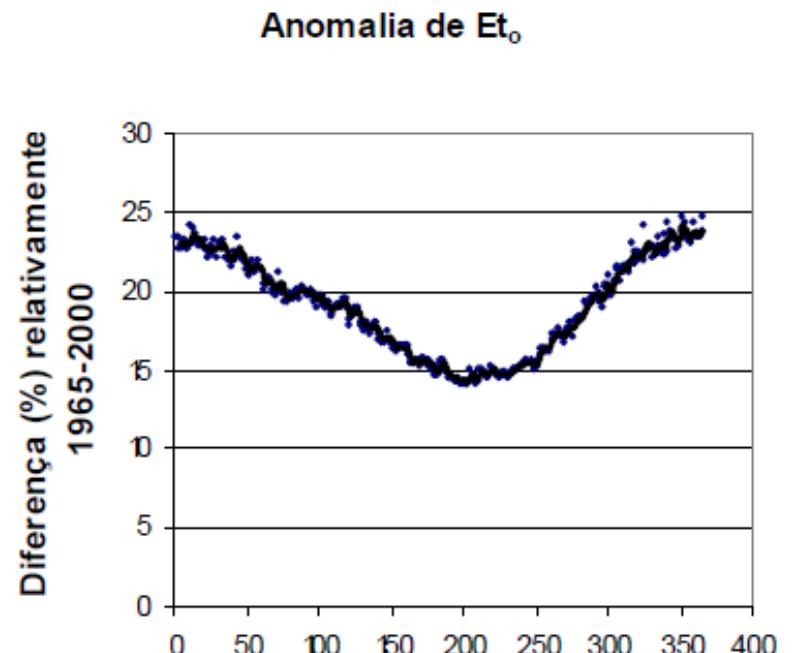


Impacto das mudanças climáticas na ETo em Évora, Portugal, para o clima atual e para o cenário A2 do IPCC para 2080
(Abreu & Pereira, 2010)

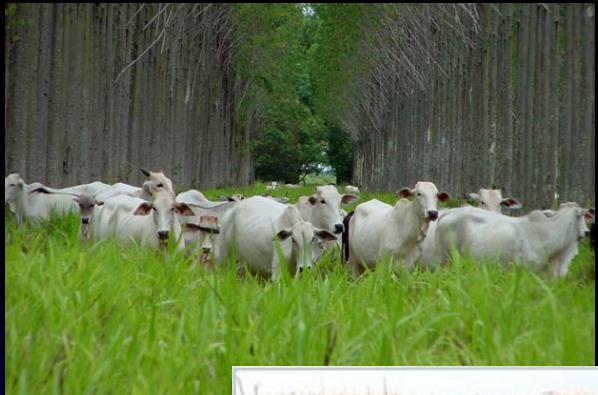
Impacto na ETo diária



Variação percentual



O que podemos fazer para minimizar os impactos do Aquecimento Global na Agricultura



Obtenção de Resiliência



Fortalecimento dos sistemas agrícolas por meio da diversificação e das estratégias de manejo dos riscos



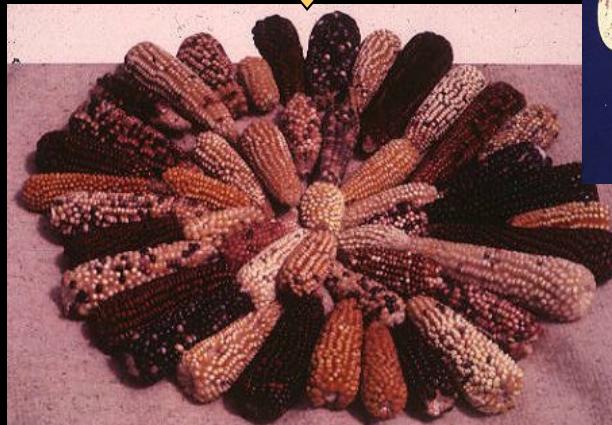
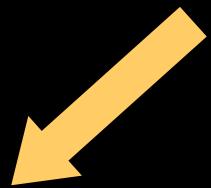
Resiliência se refere à capacidade e habilidade do sistema agrícola de enfrentar condições meteorológicas adversas e severas, como altas temperaturas e secas prolongadas.



A resiliência dos sistemas agrícolas pode ser melhorada por meio das seguintes ações:



Melhoramento genético, diversificação de culturas, variedades e datas de plantio – reduz a exposição das culturas às condições adversas em estágios críticos, tal como florescimento e enchimento dos grãos



Consórcio Soja-Reflorestamento



Consórcio Palmito-Seringueira

Consorciação de Culturas

Sistemas Agroflorestais

Sistemas Sombreados ou
Arborização

Sistemas Silvi-Pastoris



Ajudam a reduzir a temperatura da cultura protegida, devido à menor incidência de radiação solar em boa parte do dia. Isso leva também à redução da ET



Sombreamento de cafézais

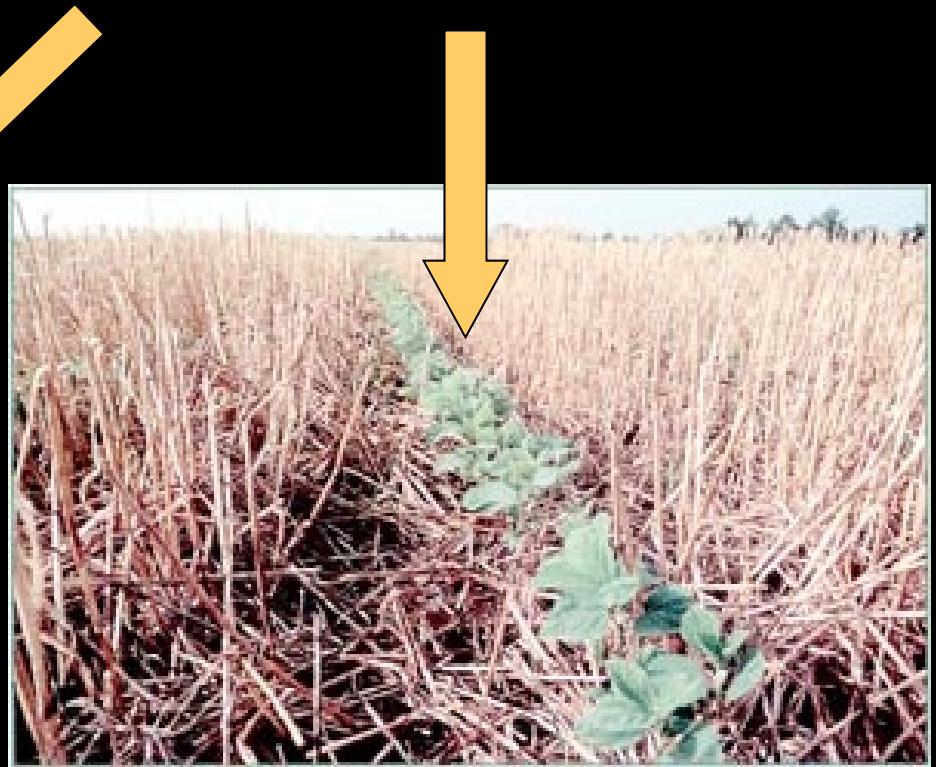


Consórcio Pastagem-Reflorestamento



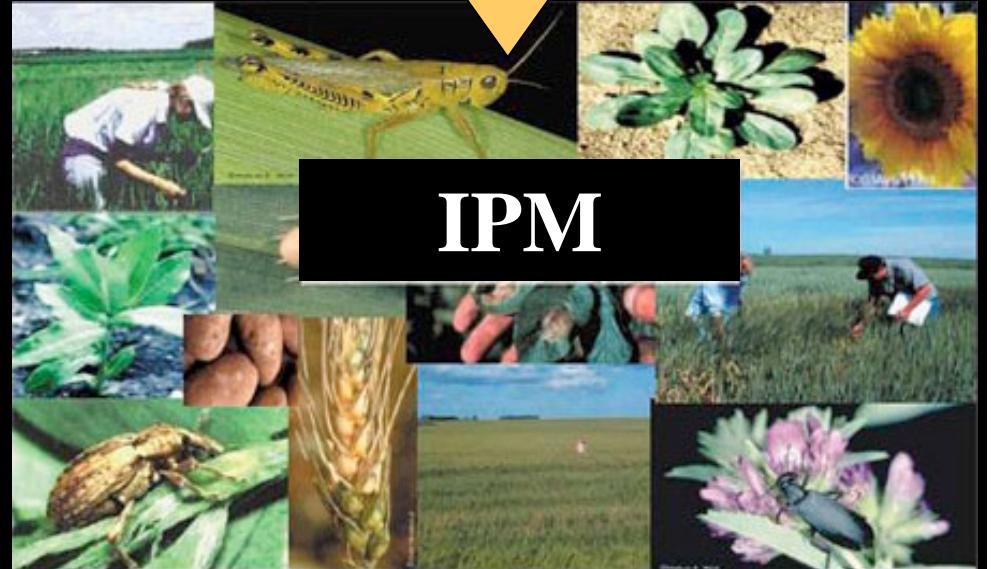


Utilização do cultivo mínimo ou do plantio direto – reduz a evaporação da água do solo, resultando num melhor uso da água pelas culturas e dando mais flexibilidade para o escalonamento dos plantios.



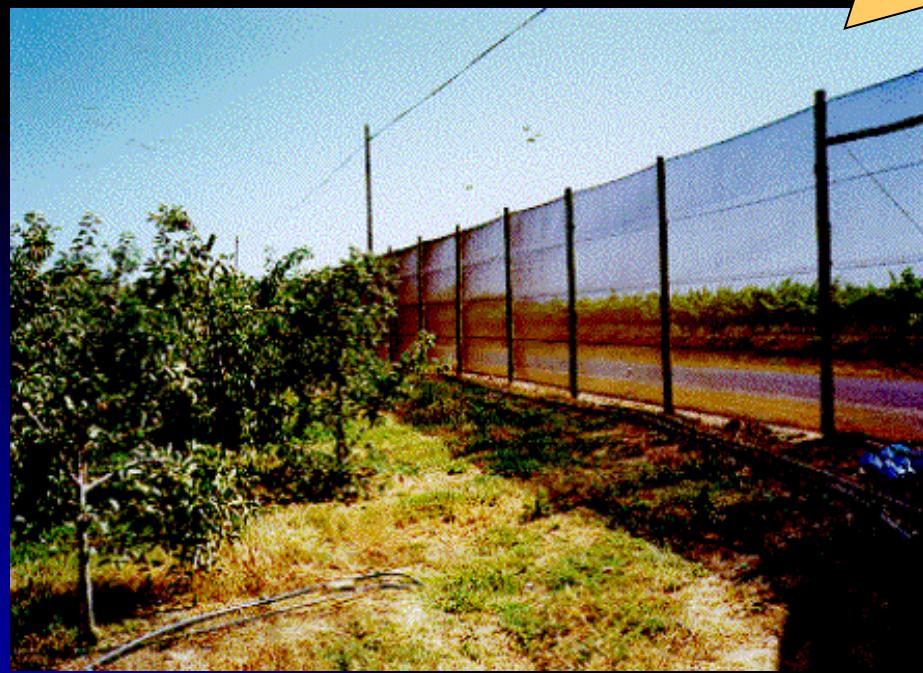


Correção das deficiências nutricionais e controle integrado de pragas e doenças – melhora o vigor das culturas, permitindo maior tolerância às condições meteorológicas adversas





Uso de quebra-ventos -
reduz a evapotranspiração
das culturas em áreas
sujeitas a ventos intensos





Uso da irrigação racional - reduz os impactos das secas, especialmente nas fases mais críticas das culturas (estabelecimento, florescimento e enchimentos dos grãos).





Uso da irrigação – reduz os impactos das temperaturas extremas, especialmente das máximas no caso da região NE





Os desafios tecnológicos para o planejamento e o manejo da irrigação diante das mudanças climáticas





Os desafios tecnológicos para o planejamento e o manejo da irrigação diante das mudanças climáticas

- As mudanças climáticas provavelmente levarão a uma maior escassez de água nas regiões e épocas onde a irrigação é necessária. Isso irá aumentar a competição pelo uso da água, elevando o seu custo para a irrigação.
- Para se enfrentar esse provável panorama futuro, haverá a necessidade da adoção de medidas adaptativas por parte dos agricultores irrigantes, as quais deverão ser fundamentadas em pesquisas científicas.
- Dentre as medidas adaptativas a serem adotadas, as principais são:



- Adoção de novos sistemas de cultivo que maximizem a eficiência do uso da água e da radiação;
- Desenvolvimento e uso de espécies e variedades/cultivares mais tolerantes ao déficit hídrico;
- Manejo mais eficiente da irrigação, por meio do emprego de tecnologias disponíveis e considerando-se a relação benefício-custo das irrigações de salvação, com déficit e plena;
- Desenvolvimento de equipamentos de irrigação mais eficientes, minimizando as perdas de água e energia;
- Captação e armazenamento da água da chuva e o uso de técnicas que reduzam a evaporação de água dos reservatórios, além da intensificação do uso de águas residuárias.



Medidas Adaptativas

A adoção de tais medidas irá requerer investimentos e comprometimento de longo-prazo de todos os segmentos envolvidos com a agricultura irrigada:

Ensino

Pesquisa

Extensão

Produção

Obrigado!!!

Prof. Dr. Paulo Cesar Sentelhas
Dept de Engenharia de Biossistemas / ESALQ/USP
Tel (19) 3429-4283 (ramal 225)
E-mail: pcsentel@esalq.usp.br