Pecege

MBA USP ESALQ

Meteorologia Agrícola

Importância da Informação Meteorológica para a Agricultura

Prof. Dr. Paulo C. Sentelhas
Setor de Agrometeorologia - LEB
ESALQ - Universidade de São Paulo

USP ESALQ

AGRO METEORO LOGIA USP · ESALQ

Sumário da Aula

1. Produtividade agrícola e sua interação com o ambiente

2. Conceitos e definições de tempo e clima
   - Variabilidade climática
   - Tendência climática
   - Anomalia climática

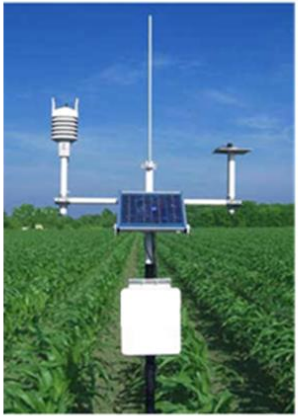
3. Agrometeorologia como ferramenta de gestão agrícola

4. Importância das informações agrometeorológicas
   - Propósitos estratégicos
   - Propósitos táticos
   - Obtenção de resiliência

4. Sistema de monitoramento agrometeorológico – formação de uma matriz de monitoramento e decisão.

Produtividade agrícola e sua interação com o ambiente

Produtividade agrícola e sua interação com o ambiente

Fatores da Produtividade Agrícola			
			
Clima	Solo	Genótipo	Manejo
50%	23%	13%	14%

Produtividade agrícola e sua interação com o ambiente

Fatores da Produtividade Agrícola

Clima

Solo

Genótipo

Manejo

?

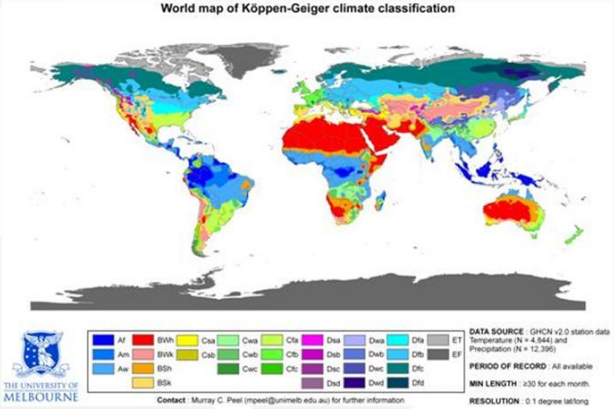
Homem tem ação sobre esses fatores

Conceituação de Tempo e Clima

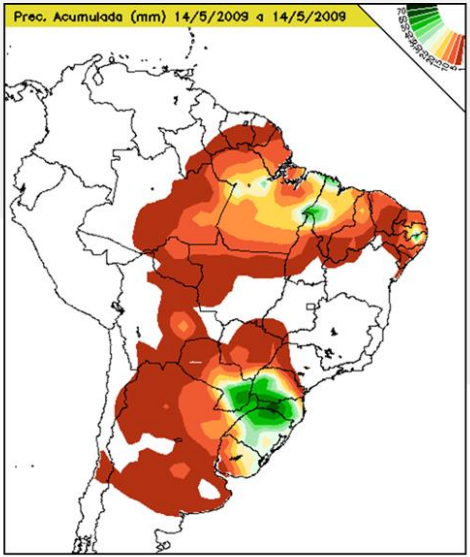
Condição atual

O estado da atmosfera pode ser descrito por variáveis que caracterizam sua condição física. Essas variáveis são o que chamamos de ***elementos meteorológicos***: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, precipitação, pressão atmosférica, radiação solar, etc...

Para um dado local, o estado da atmosfera pode ser descrito tanto em <u>*termos instantâneos*</u>, definindo a **condição atual**, a qual é extremamente *dinâmica*, como também em <u>*termos estatísticos*</u>, definindo a **condição média**, a qual é por sua vez uma descrição *estática*.



Condição média

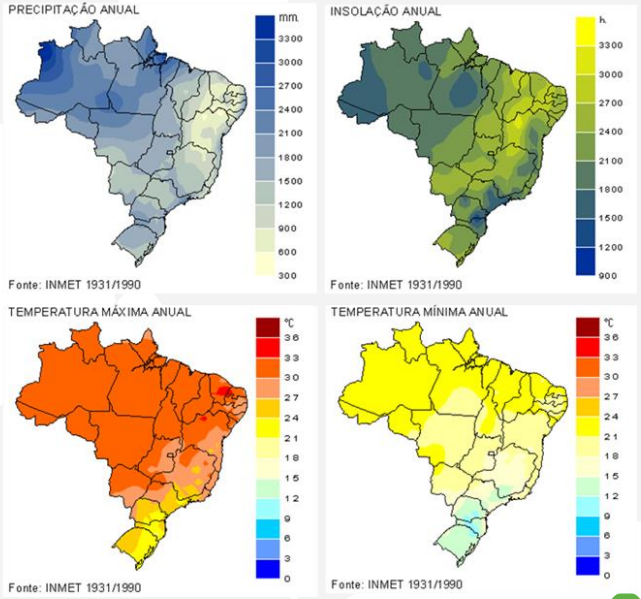


À condição atual ou de um período específico denomina-se:

TEMPO

À condição média do tempo denomina-se:

CLIMA



Fatores Determinantes do Tempo e do Clima

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.

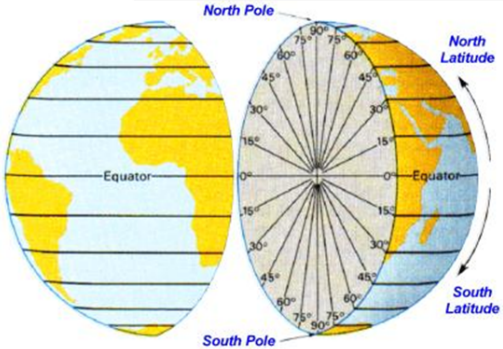
Alguns elementos meteorológicos podem atuar também como fatores, o que é o caso da ***radiação solar***, que pode ser tomada tanto como elemento, por ser uma variável que quantifica a disponibilidade de energia solar na superfície terrestre, como também pode ser considerada um fator, por condicionar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

Fatores do Macroclima

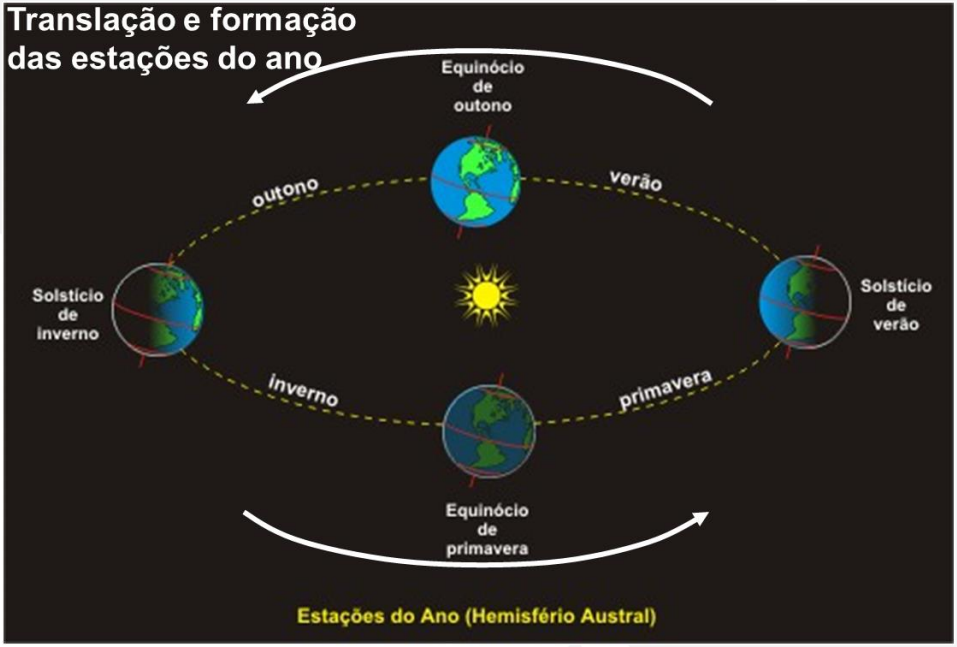
São aqueles que atuam em escala regional ou geográfica. São classificados como *permanentes* (latitude, altitude/relevo, oceanidade/continetalidade, etc.) ou *variáveis* (correntes oceânicas, centros semi-permanentes de alta e baixa pressão, massas de ar, composição atmosférica, etc.).

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 (23º27´) 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.

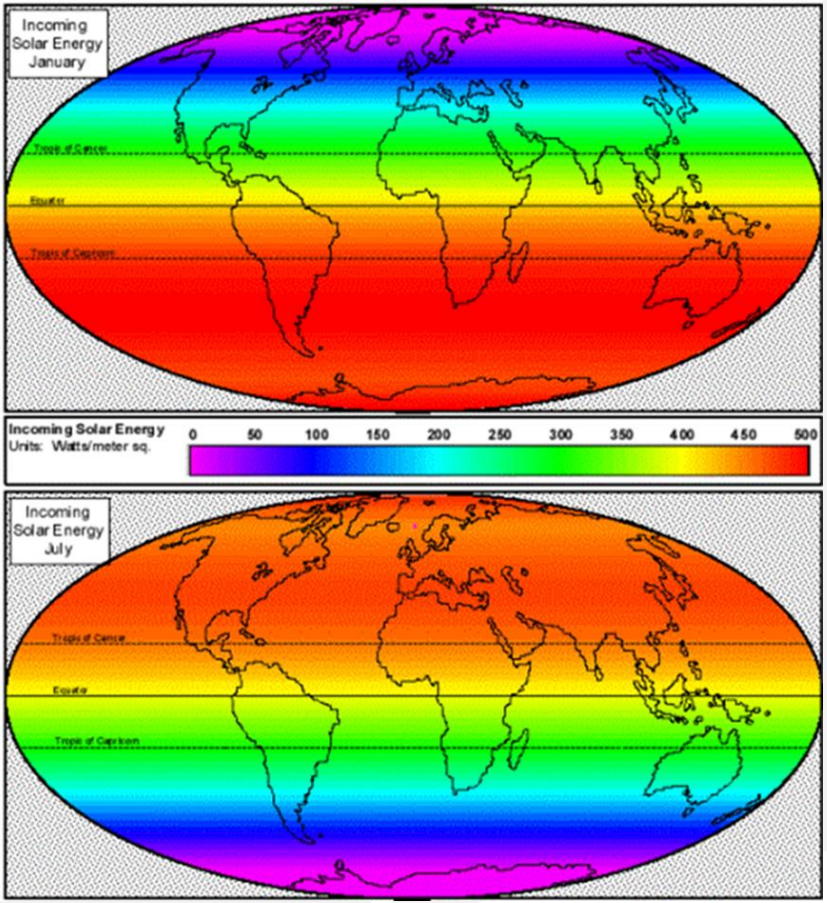


> Latitude
< Temp média anual

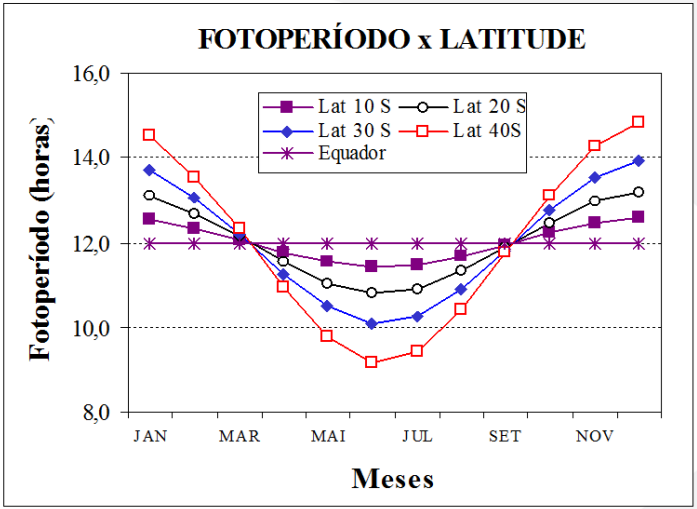


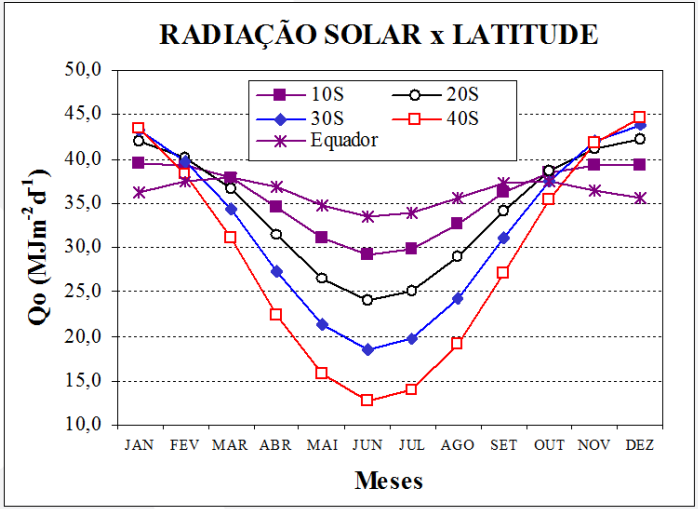
O movimento de ***Translação*** da Terra em torno do Sol provoca uma variação estacional (ou sazonal) da irradiância solar na superfície terrestre, gerando as estações do ano. Essa variação estacional se deve à **inclinação do eixo terrestre** em **23º27´**em relação à **normal ao plano da eclíptica**. 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



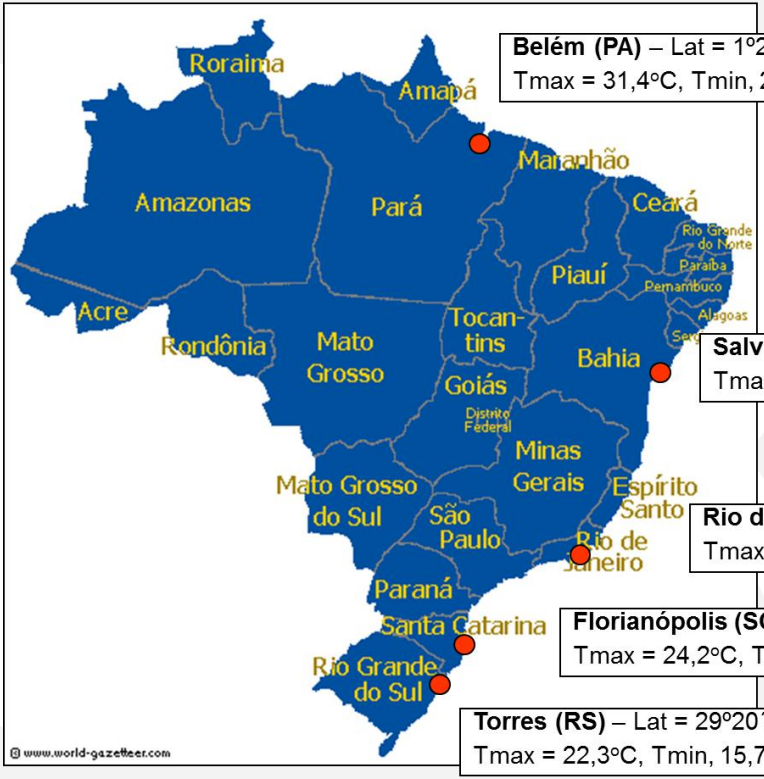
Variação espaço-temporal do Fotoperíodo e da Radiação Solar em diferentes épocas do ano e latitudes





Latitude x Temperatura média anual

Localidades ao nível do mar



Belém (PA) – Lat = 1º27´S
Tmax = 31,4ºC, Tmin, 21,9ºC, Tmed = 25,9ºC

Salvador (BA) – Lat = 13º01´S
Tmax = 28,2ºC, Tmin, 22,7ºC, Tmed = 25,2ºC

Rio de Janeiro (RJ) – Lat = 22º55´S
Tmax = 27,2ºC, Tmin, 21,0ºC, Tmed = 23,7ºC

Florianópolis (SC) – Lat = 27º35´S
Tmax = 24,2ºC, Tmin, 17,4ºC, Tmed = 20,3ºC

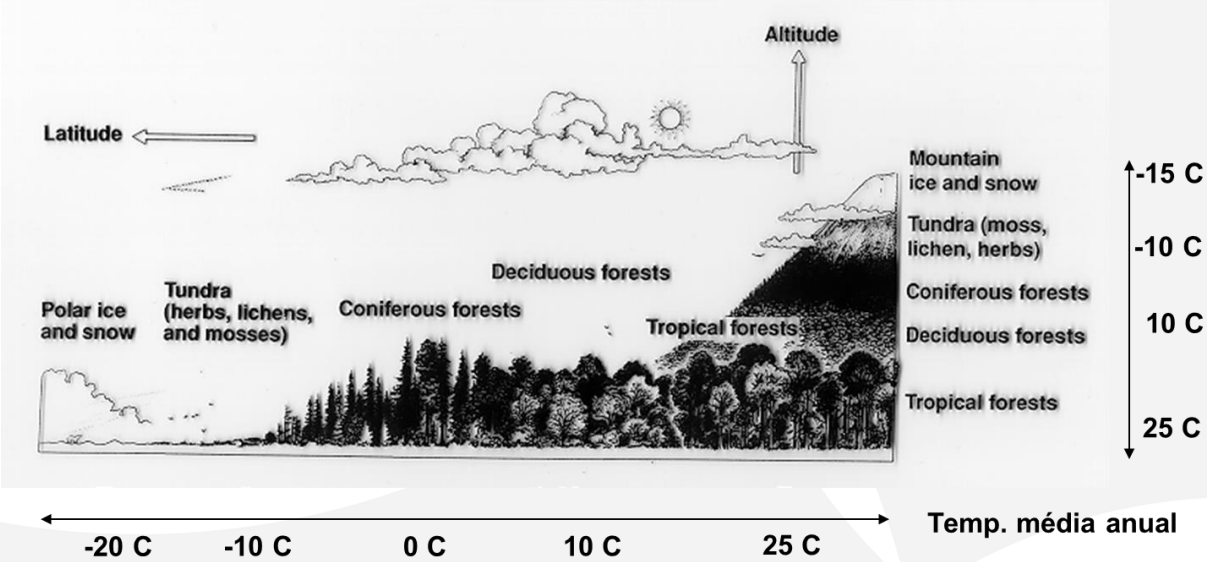
Torres (RS) – Lat = 29º20´S
Tmax = 22,3ºC, Tmin, 15,7ºC, Tmed = 18,9ºC

Altitude

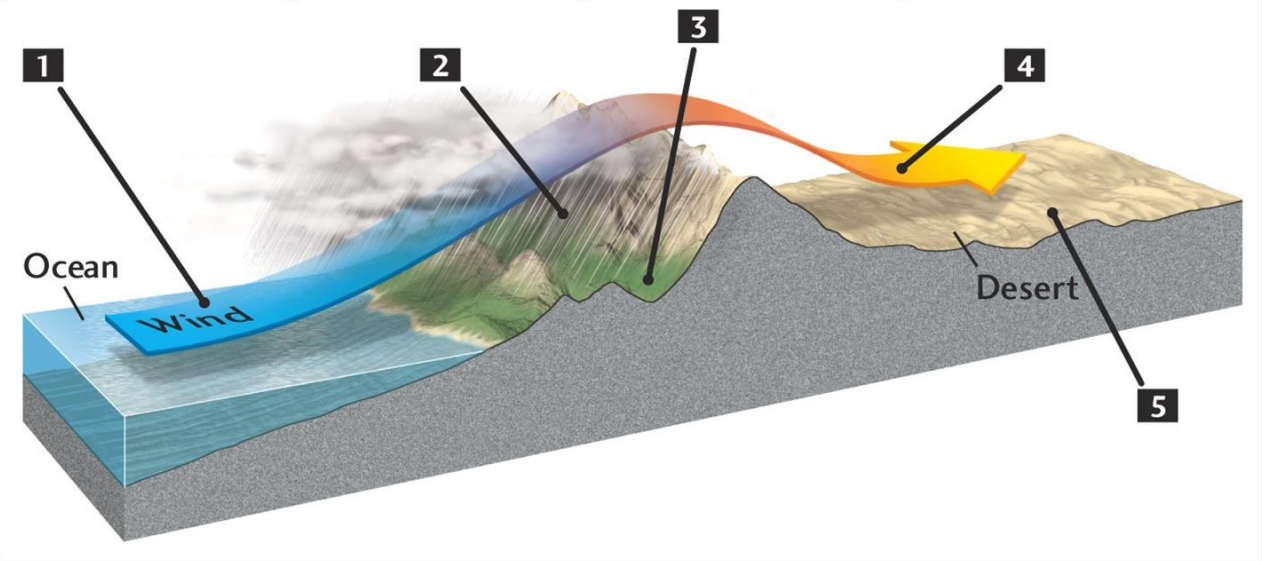
O aumento da altitude ocasiona diminuição da temperatura. Isso ocorre em conseqüência da rarefação do ar e da diminuição da pressão atmosférica

Média ≈ - 0,6ºC / 100m

(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

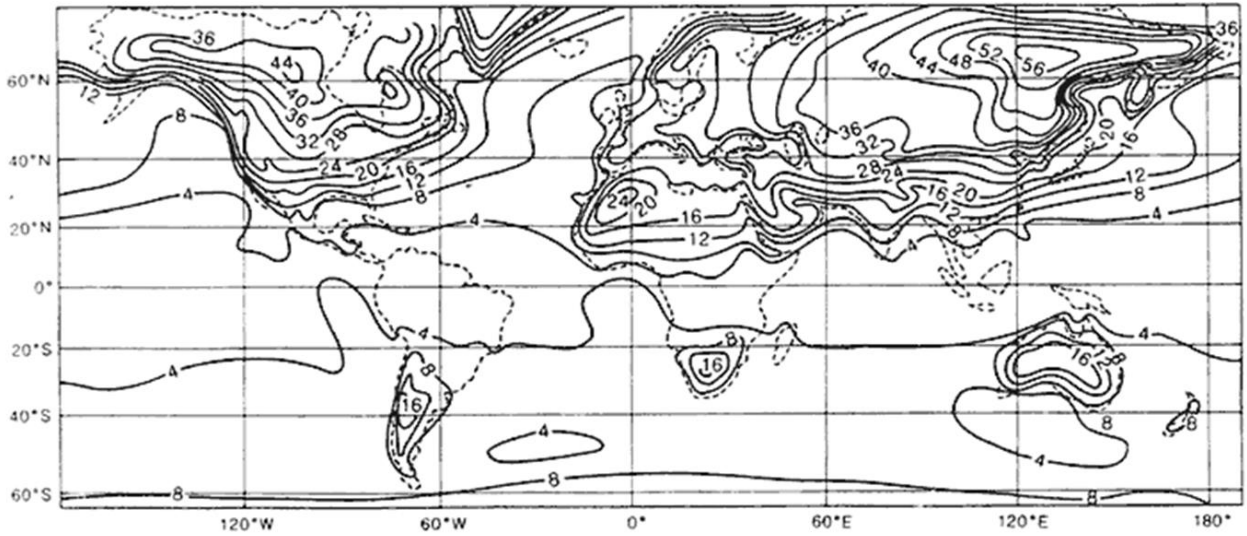
Esses termos se referem, respectivamente, à proximidade ou distância do oceano ou grandes massas de água. ***Oceanidade*** se refere ao efeito do oceâno sobre o clima de uma região litorânea. A água do oceano atua como um moderador térmico, ou seja, não permite que grandes variações de temperatura ocorram. 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 (Tmax – Tmin). 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 17ºC

Salvador → Amplitude térmica mensal entre 3 e 6ºC

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.

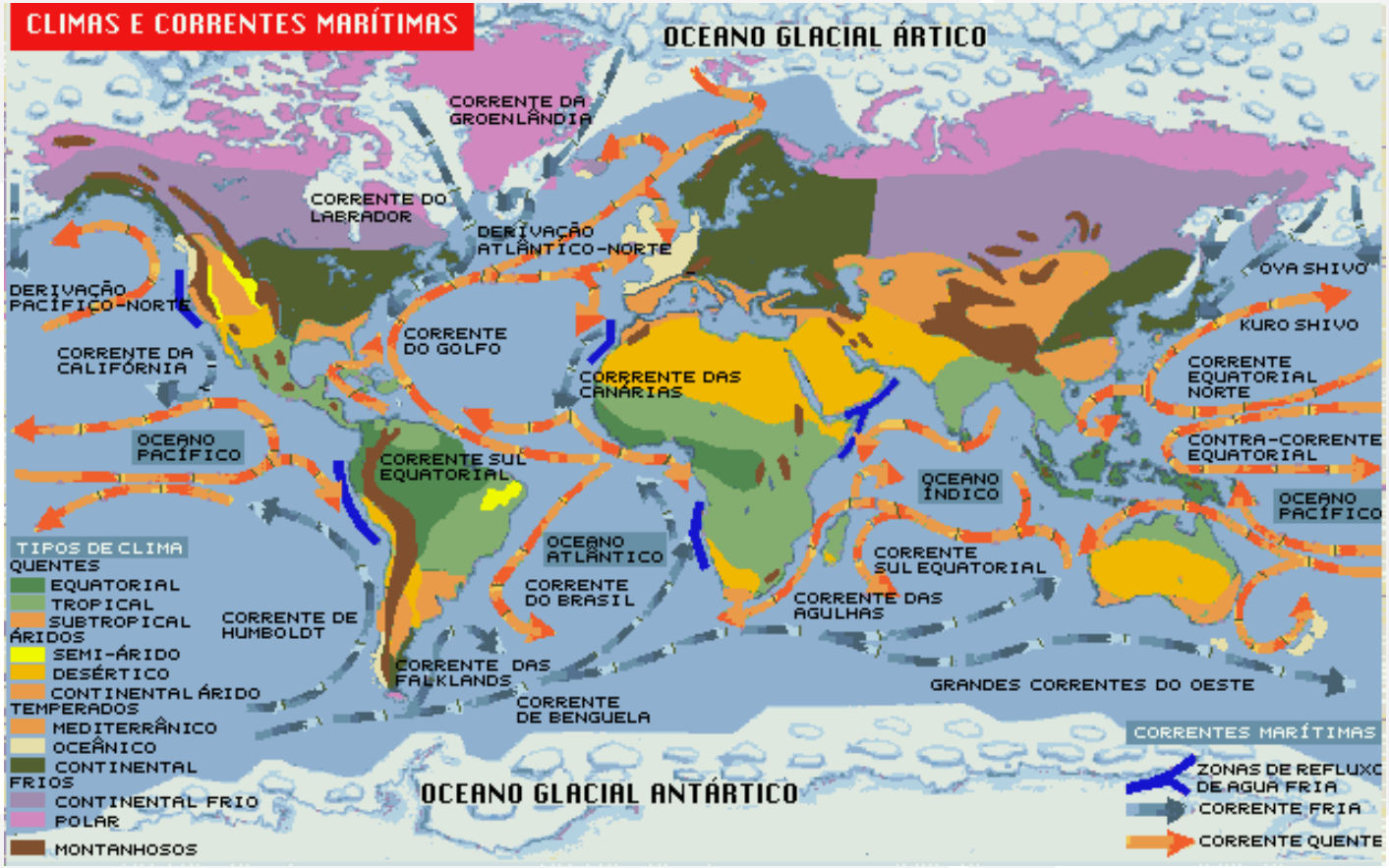
A atmosfera em contato com essas massas de água entram em equilíbrio térmico com a superfície. Por isso, as correntes tem grande efeito sobre o regime térmico e hídrico (chuvas) na faixa litorânea dos continentes.

Correntes Frias → Condicionam clima ameno e seco
Correntes Quentes → Condicionam clima quente e úmido

Exemplo:

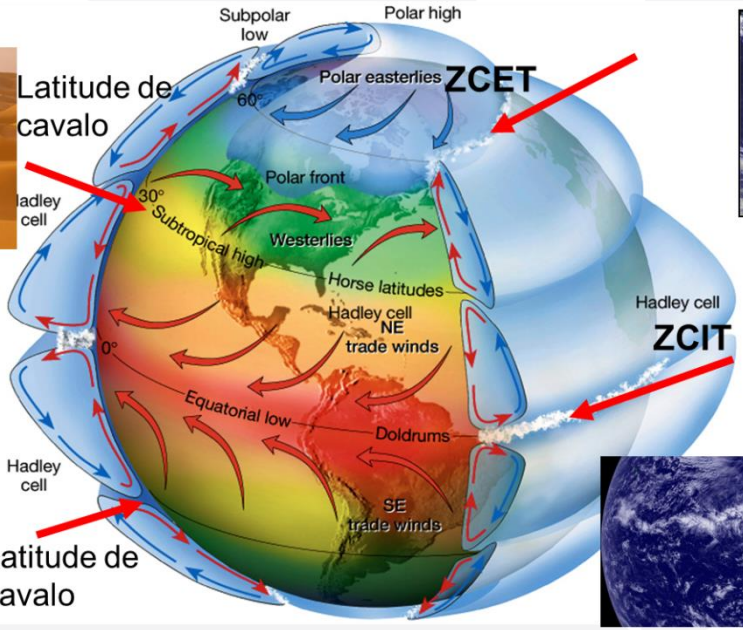
Salvador, BA, Brasil → T_{anual} = 24,9ºC e P_{anual} = 2.000 mm

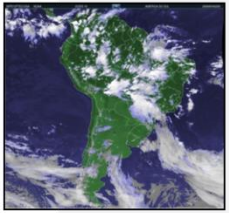
Lima, Perú → T_{anual} = 19,4ºC e P_{anual} = 40 mm

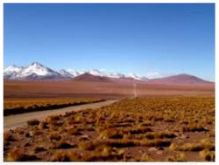

CLIMAS E CORRENTES MARÍTIMAS
OCEANO GLACIAL ÁRTICO
CORRENTE DA GROENLÂNDIA
CORRENTE DO LABRADOR
DERIVAÇÃO ATLÂNTICO-NORTE
DERIVAÇÃO PACÍFICO-NORTE
CORRENTE DA CALIFÓRNIA
CORRENTE DO GOLFO
CORRENTE DAS CANÁRIAS
OYA SHIVO
KURO SHIVO
CORRENTE EQUATORIAL NORTE
CONTRA-CORRENTE EQUATORIAL
OCEANO PACÍFICO
CORRENTE SUL EQUATORIAL
OCEANO ÍNDICO
OCEANO PACÍFICO
OCEANO ATLÂNTICO
CORRENTE SUL EQUATORIAL
CORRENTE DO BRASIL
CORRENTE DAS AGULHAS
CORRENTE DE HUMBOLDT
CORRENTE DAS FALKLANDS
CORRENTE DE BENGUELA
GRANDES CORRENTES DO OESTE
TIPOS DE CLIMA
QUENTES
EQUATORIAL
TROPICAL
SUBTROPICAL
ÁRIDOS
SEMI-ÁRIDO
DESÉRTICO
CONTINENTAL ÁRIDO
TEMPERADOS
MEDITERRÂNICO
OCEÂNICO
CONTINENTAL
FRIOS
CONTINENTAL FRIO
POLAR
MONTANHOSOS
OCEANO GLACIAL ANTÁRTICO
CORRENTES MARÍTIMAS
ZONAS DE REFLUXO DE ÁGUA FRIA
CORRENTE FRIA
CORRENTE QUENTE

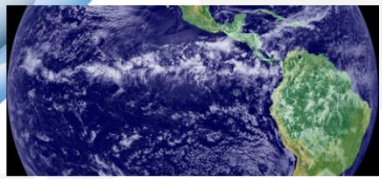
Circulação Geral da Atmosfera e outros tipos de Circulação

A CGA 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.

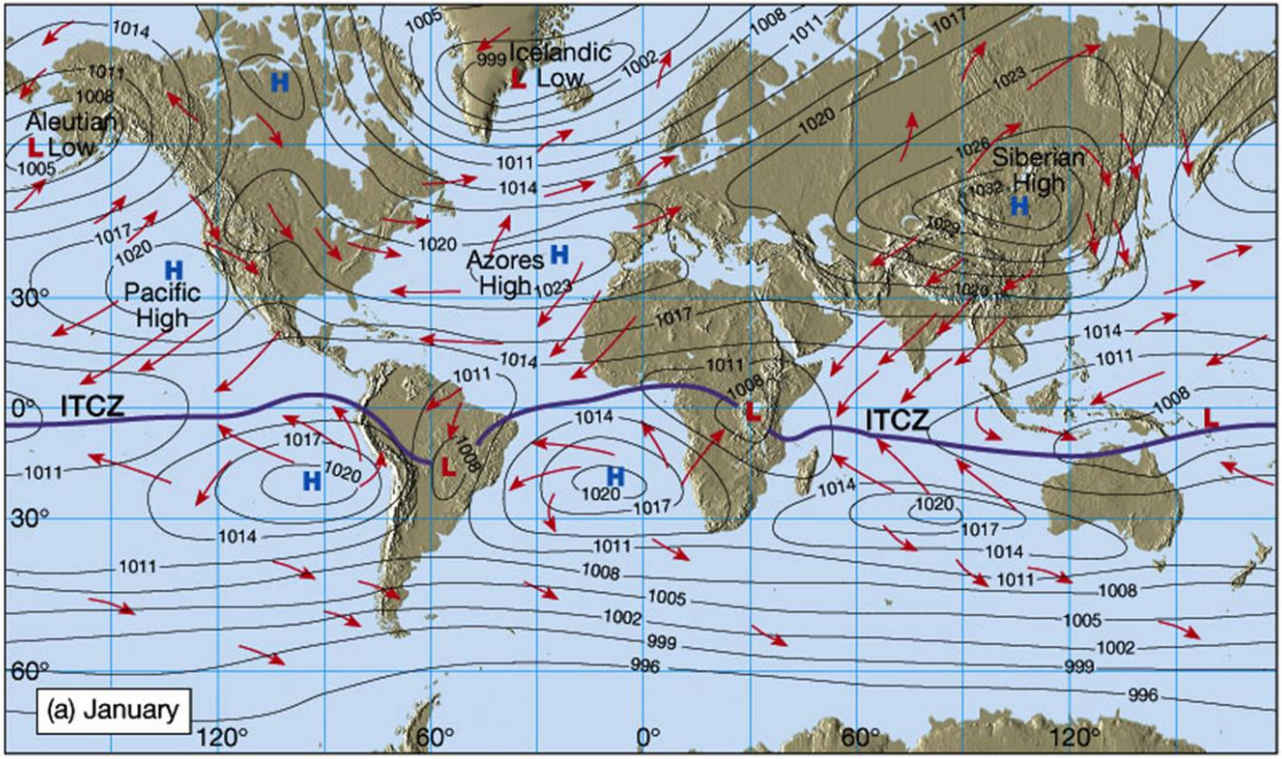




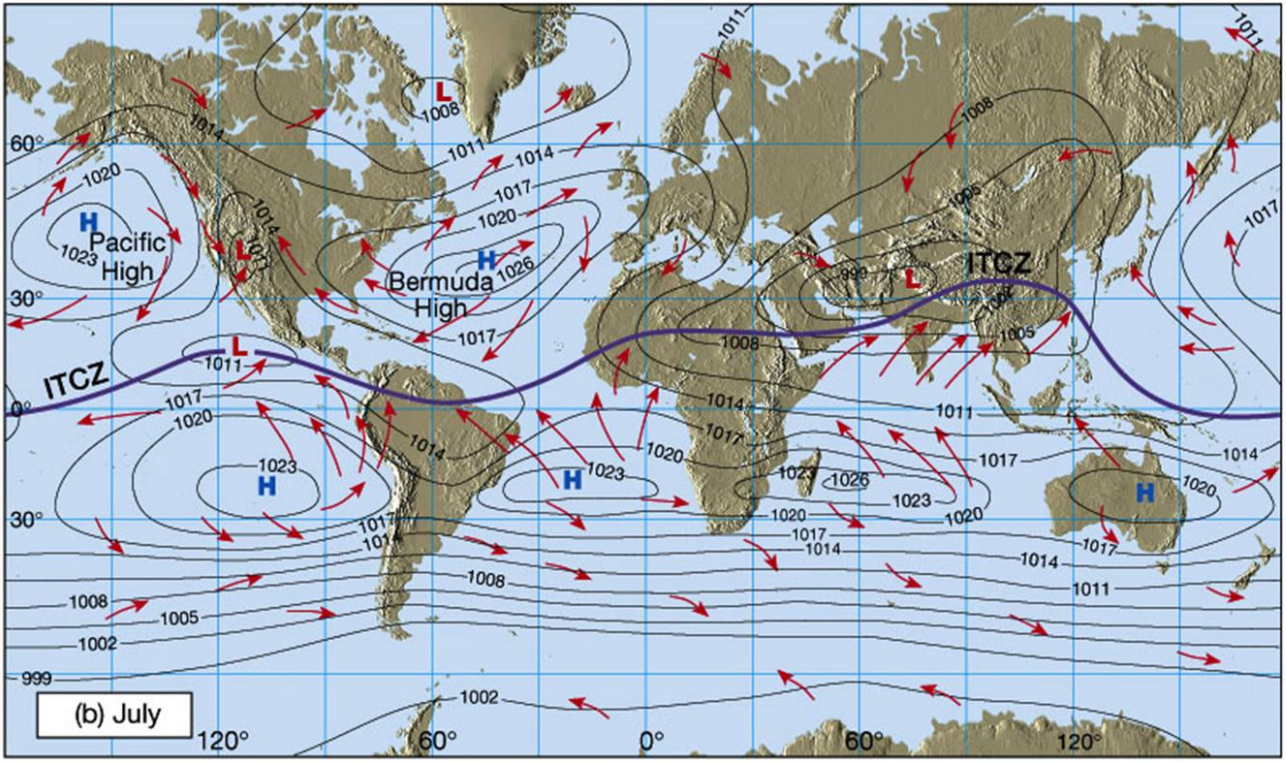




As figuras a seguir mostram a posição média da ZCIT nos meses de Janeiro e Julho. É possível notar que durante o verão no HS a ZCIT desloca-se para o sul, o que contribui para o aumento das chuvas nas regiões N, CO e SE do Brasil.

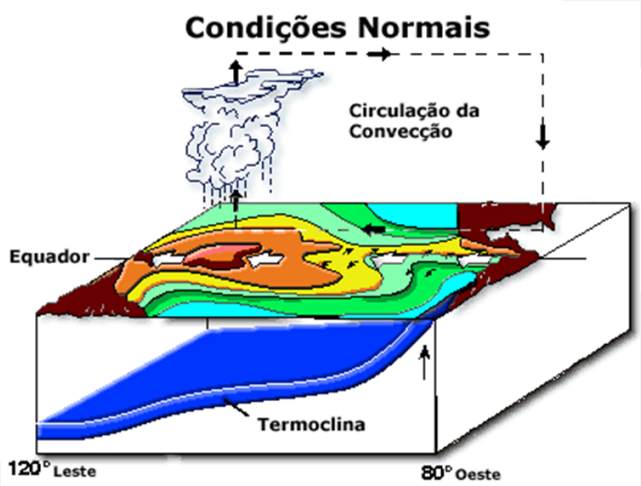


No mês de julho (inverno no HS), por outro lado, a ZCIT desloca-se para o norte, o que contribui para a diminuição das chuvas nas regiões SE, CO e inclusive em parte da região N do Brasil.

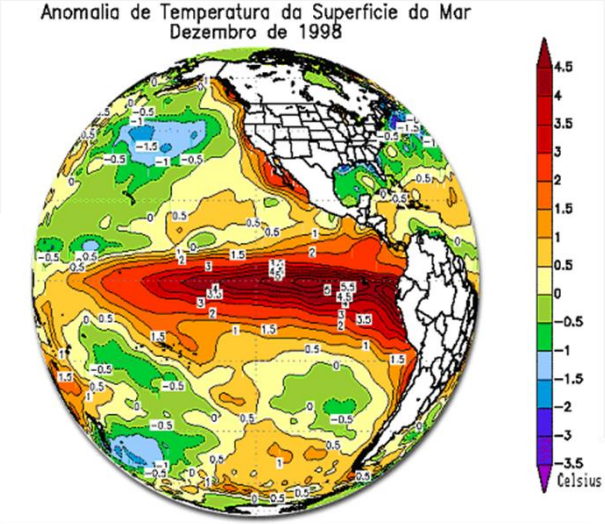


Circulação Atmosférica na América do Sul

A circulação geral da atmosfera é modificada por uma séries 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.

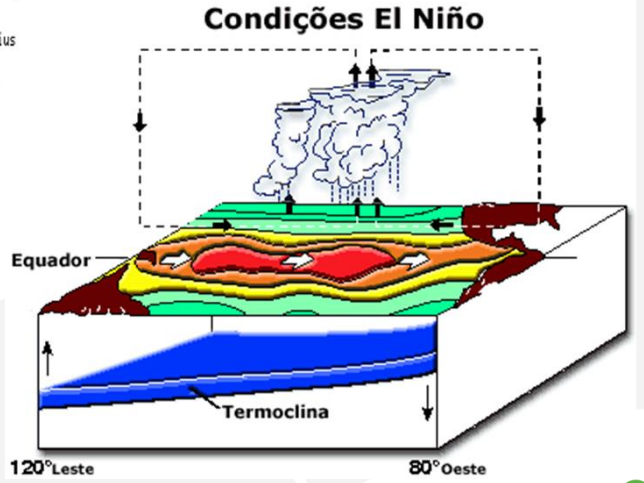


A figura mostra a circulação observada no Oceano Pacífico Equatorial em anos normais. A célula de circulação com movimentos ascendentes no Pacífico Central/Ocidental e movimentos descendentes no oeste da América do Sul e com ventos de leste para oeste próximos à superfície (ventos alísios, setas brancas) 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.

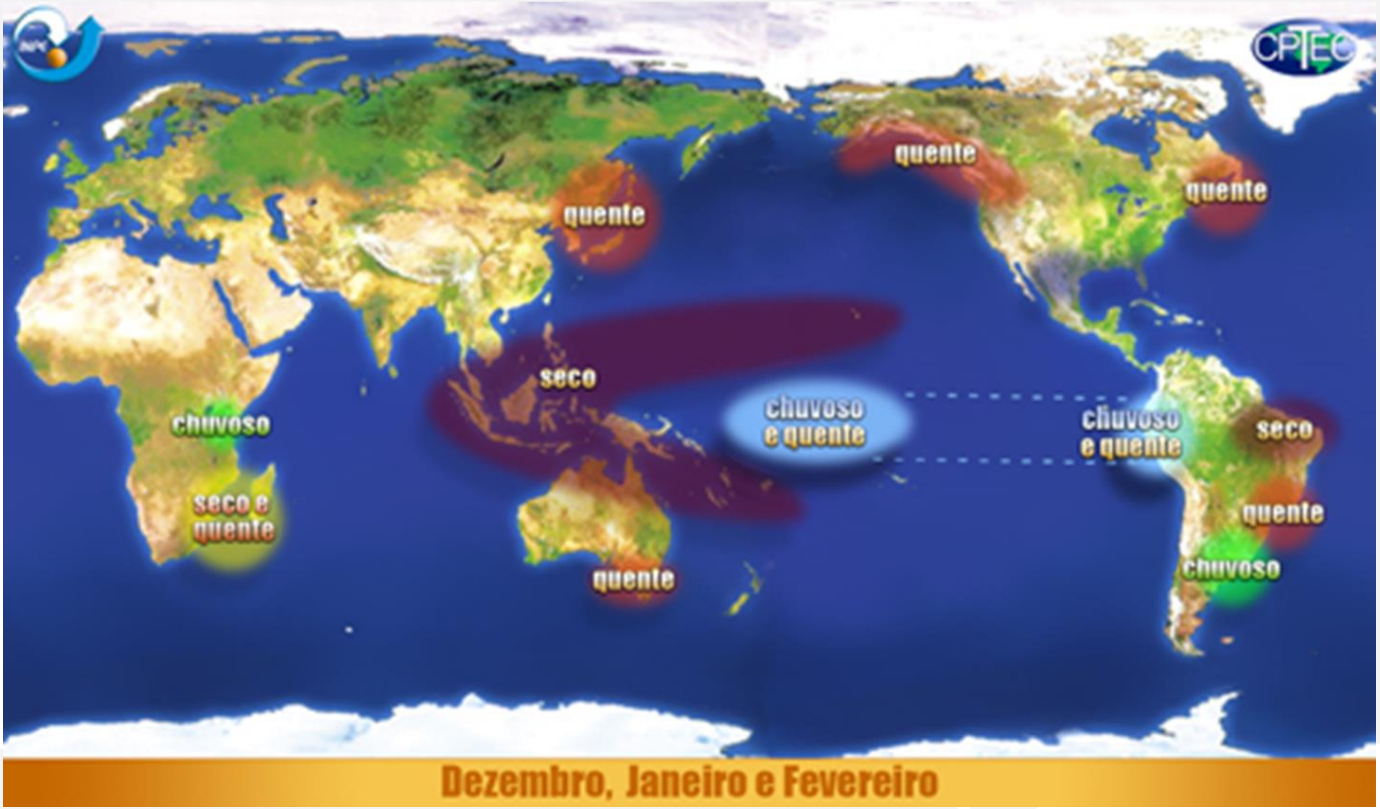


El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anômalo das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento em escala mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias.

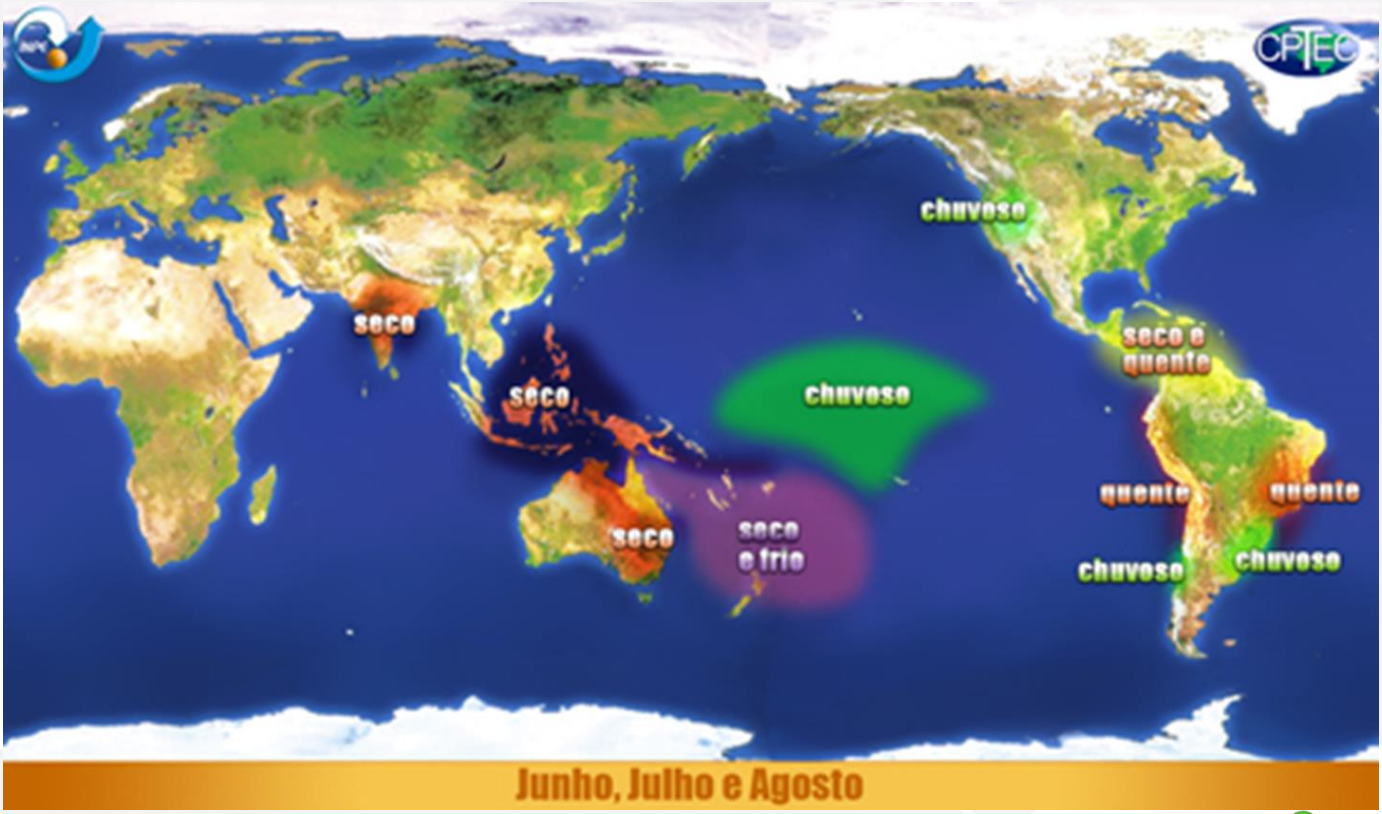
Nota-se que os ventos em superfície, em alguns casos, chegam até a mudar de sentido, ou seja, ficam de oeste para leste. Há um deslocamento da região com maior formação de nuvens e a célula de Walker fica bipartida.



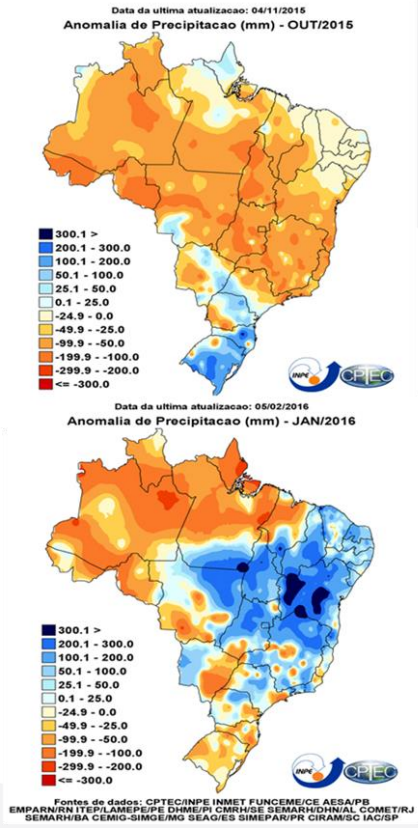
Impactos do El Niño

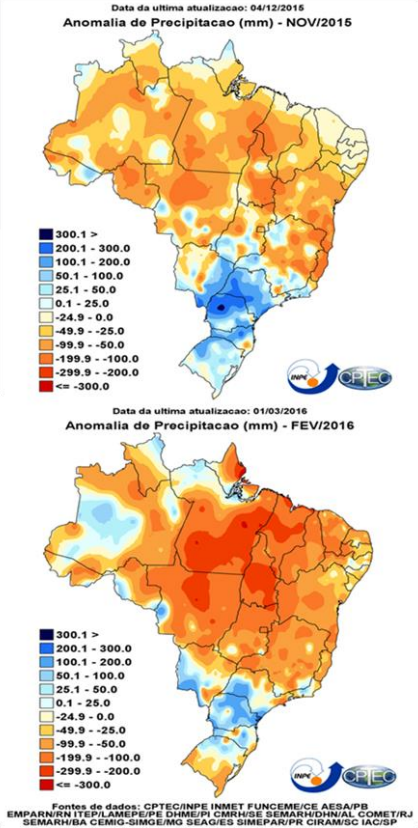


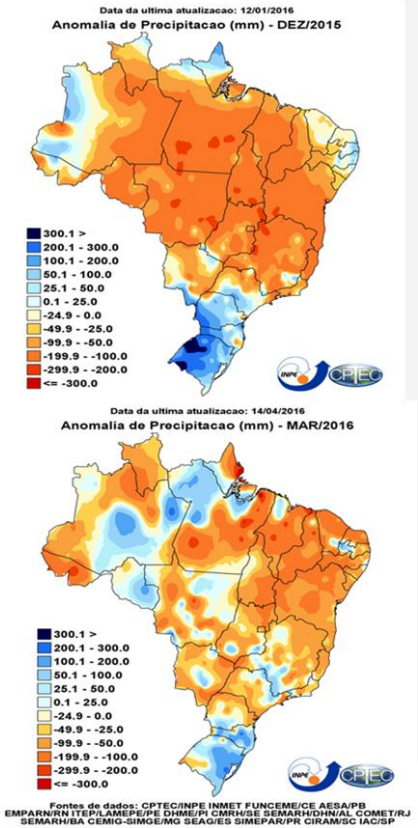
Impactos do El Niño



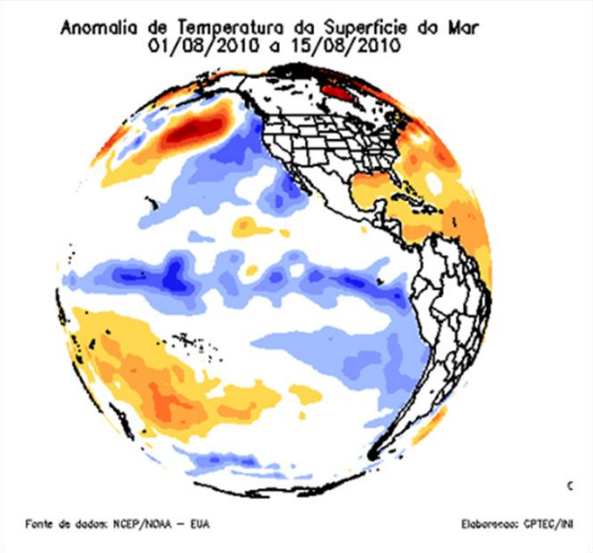
El Niño e seus Impactos





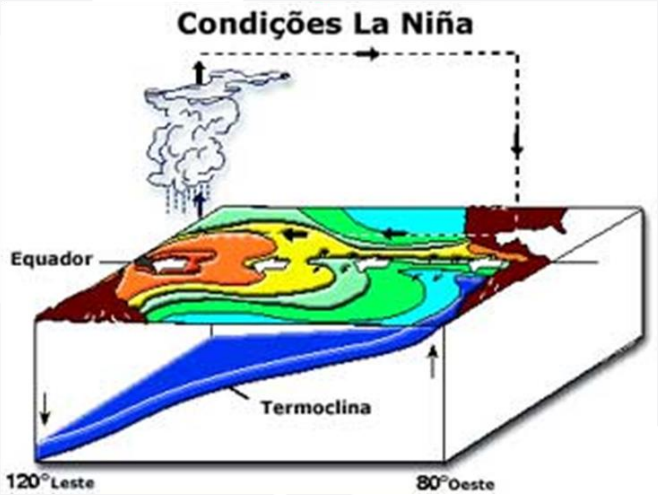


La Niña

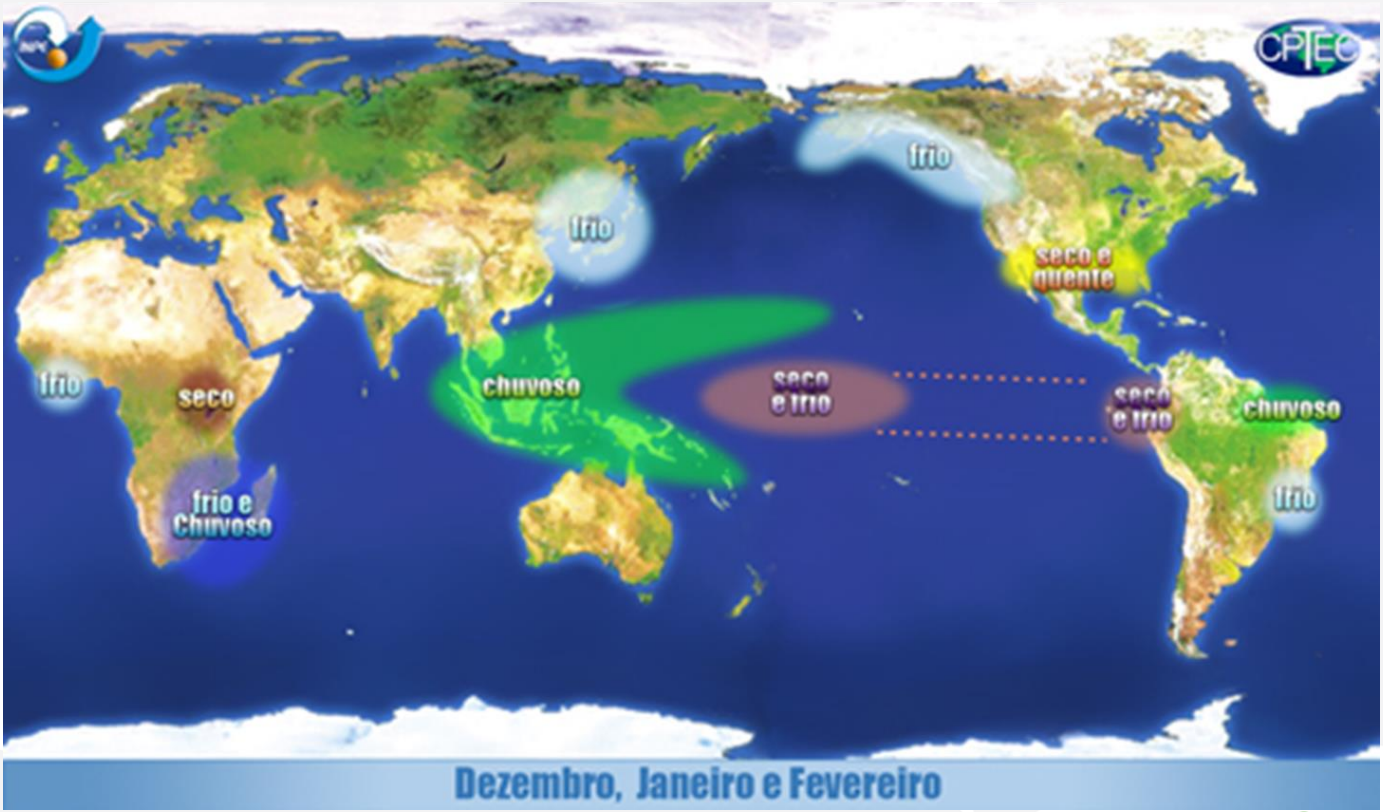


Anomalia de temperatura da superfície do mar em dezembro de 1988. Plotados somente as anomalias negativas menores que -1ºC.

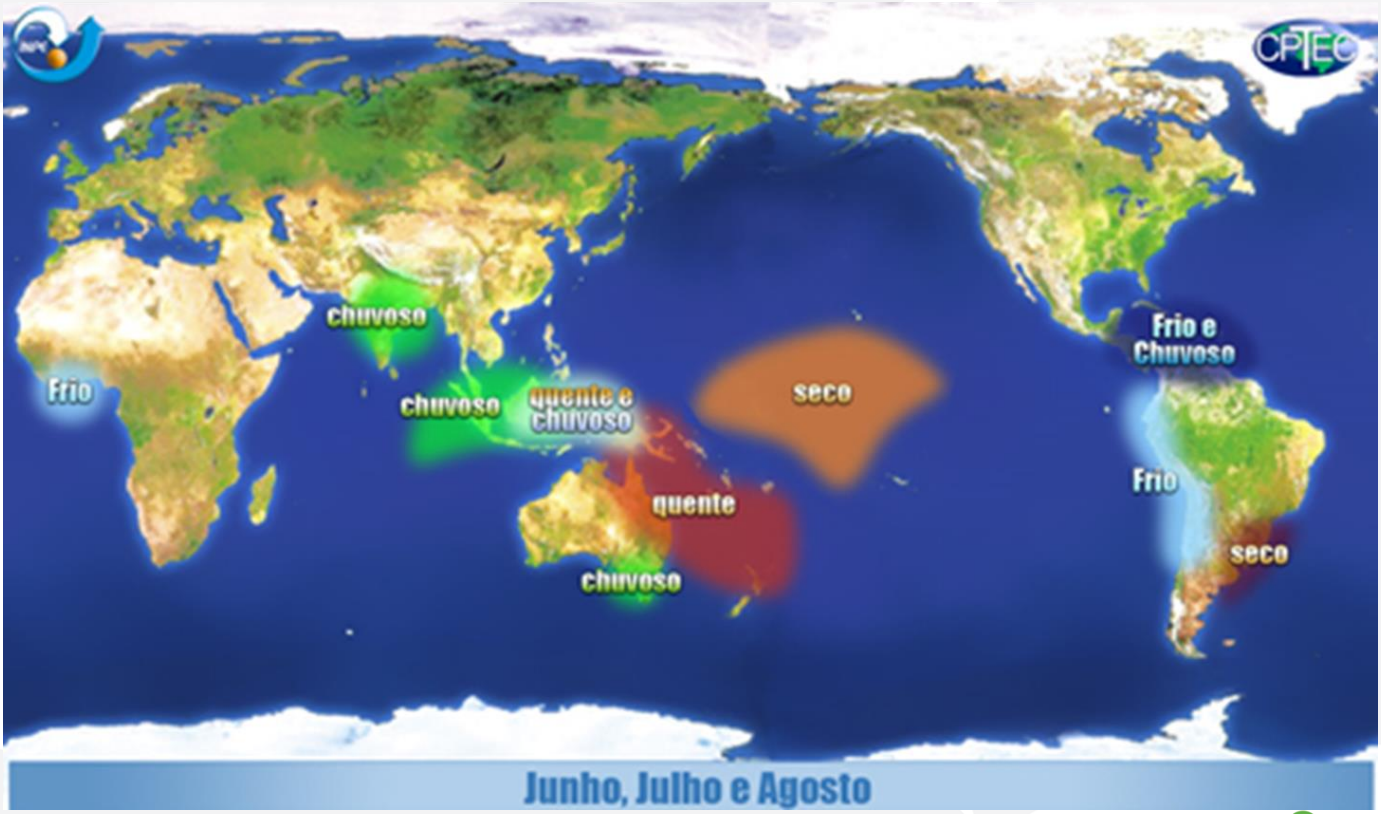
La Niña representa um fenômeno oceânico-atmosférico com características opostas ao EL Niño, e que caracteriza-se por um esfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical.



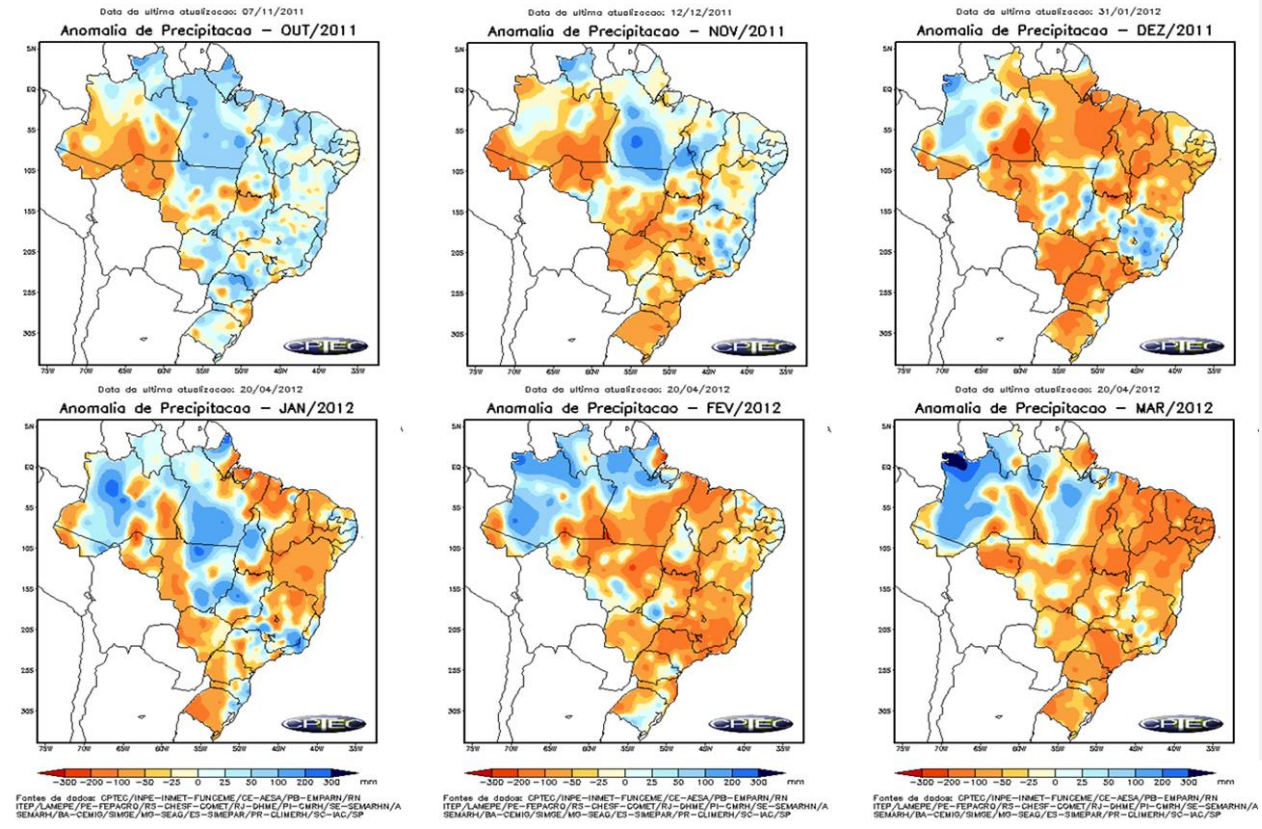
Impactos da La Niña



Impactos da La Niña



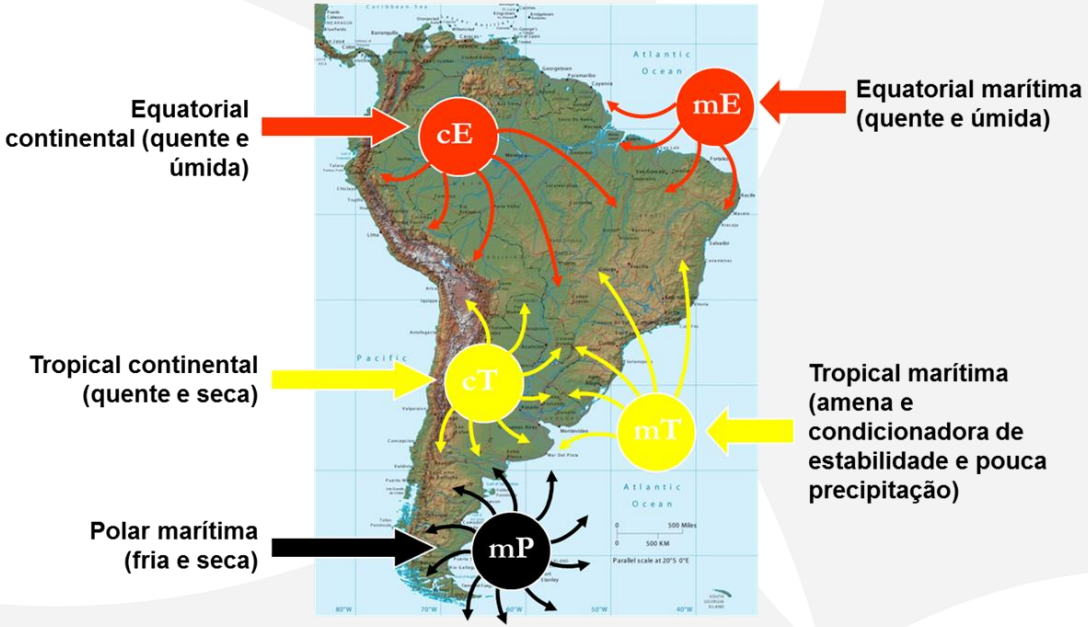
La Niña e seus Impactos



Pecege

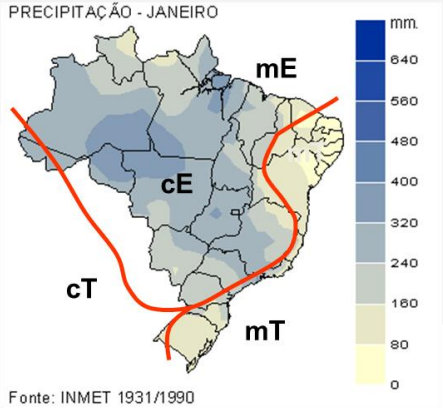
Massas de ar

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:

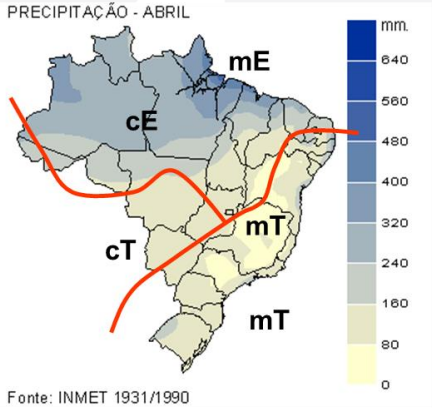


Distribuição das principais massas de ar que atuam no Brasil e sua relação com as chuvas mensais

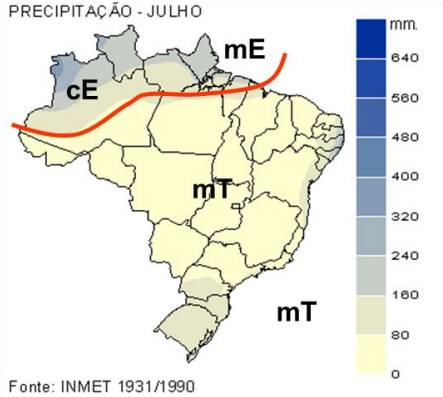
Verão



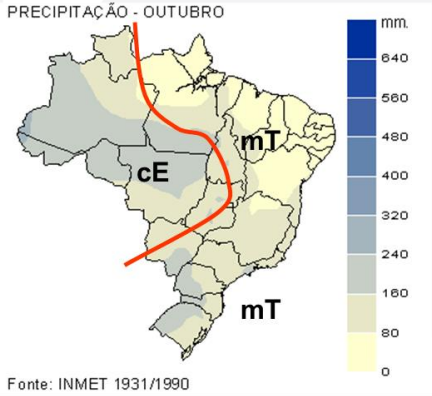
Outono



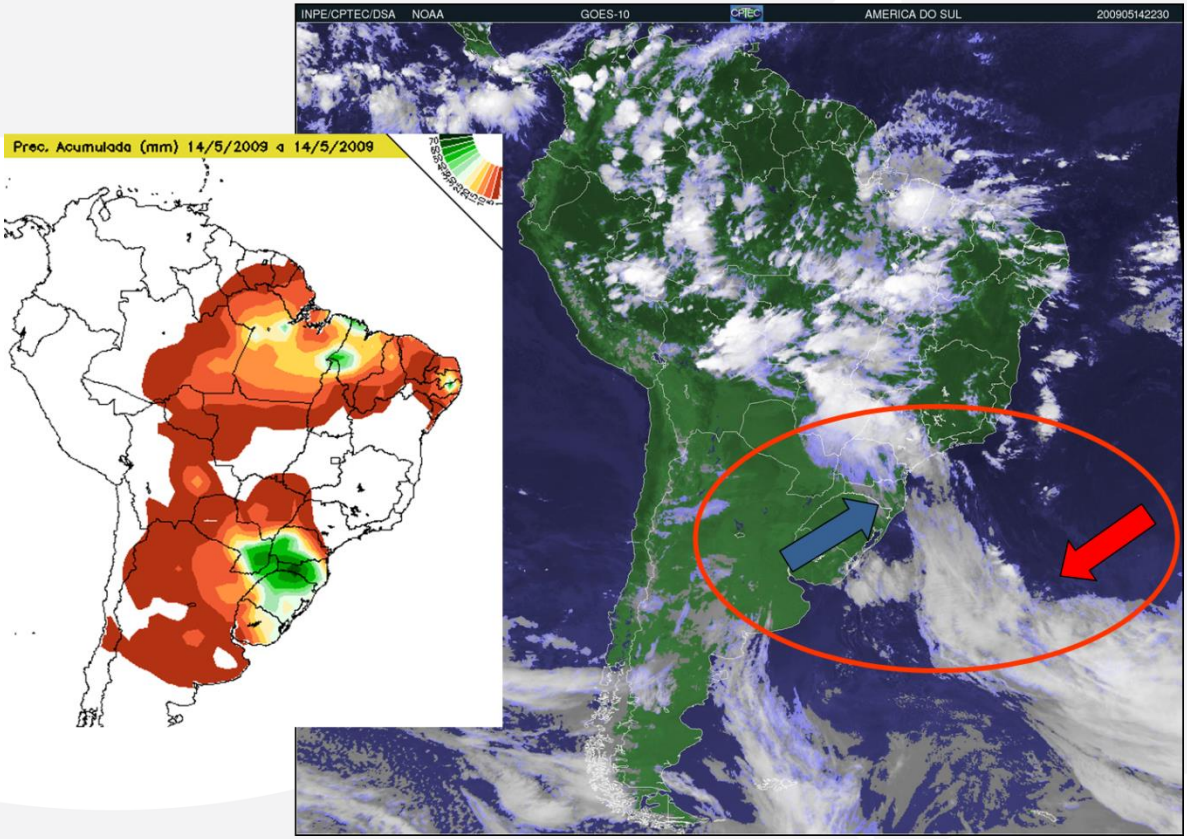
Inverno

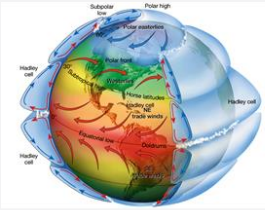


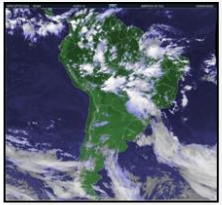
Primavera

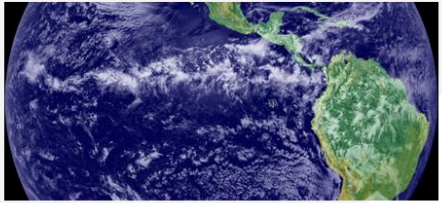


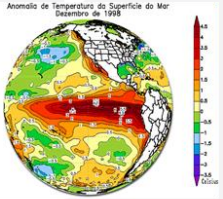
Sistemas Frontais











O clima e sua variabilidade são condicionados por diversos fatores, podendo ser esses classificados como FIXOS e DINÂMICOS

Fatores FIXOS

Associados à localização geográfica do local:

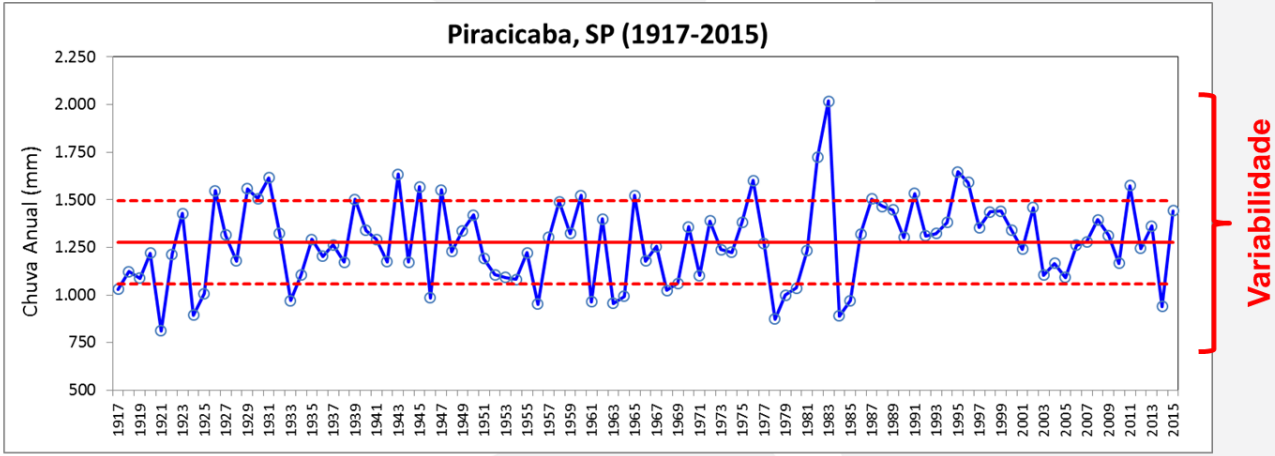
Latitude - Estações do ano, Altitude, Continentalidade e Sistemas Predominantes (massas de ar, frentes, etc)

Fatores DINÂMICOS

Associados à variabilidade da circulação da atmosfera nas diferentes escalas espaciais (global, zonal e local), levando as condições meteorológicas a variar no tempo (var. interanual) e no espaço (var. espacial)

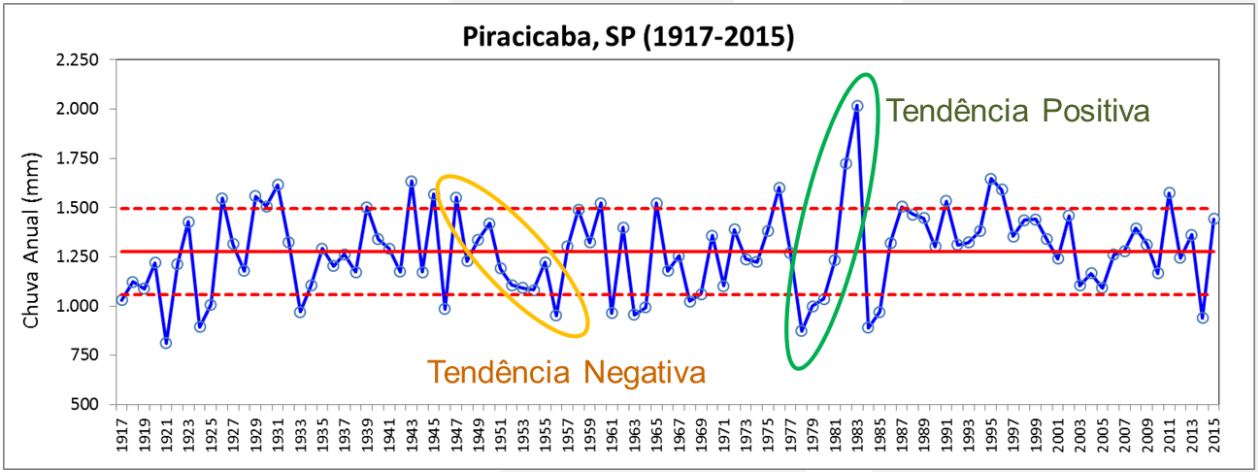
Variabilidade Climática: Anomalias x Tendências x Mudanças

<u>Variabilidade Climática</u>: causada pela combinação dos diversos fatores que condicionam o clima de um local. Essa combinação é extremamente dinâmica e variável no tempo e no espaço. A variabilidade climática é um aspecto intrínseco do clima de um local e deve ser sempre avaliada em projetos agrícolas.

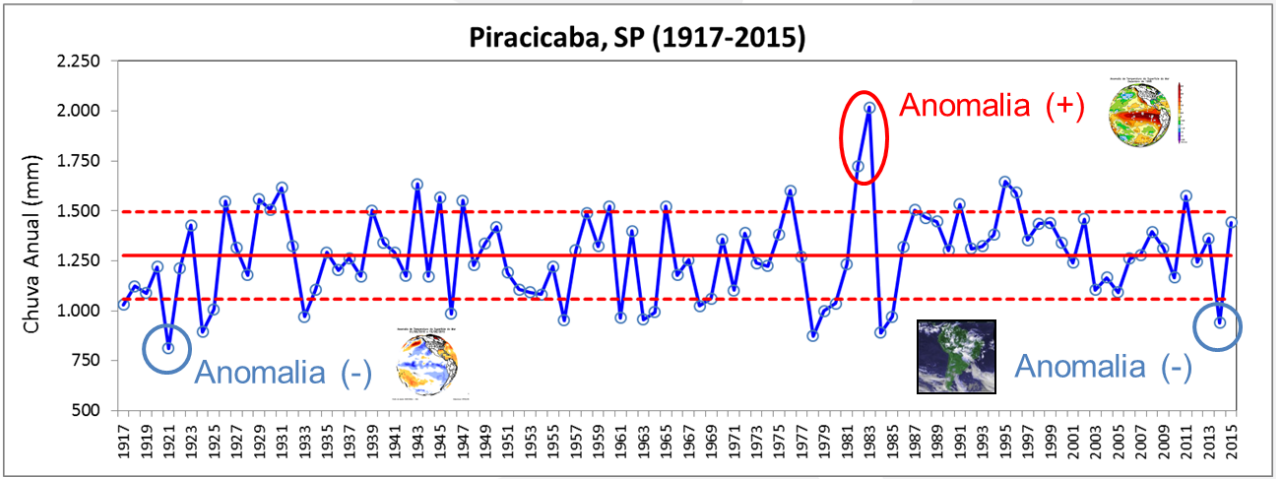


Define o grau de risco da atividade agrícola

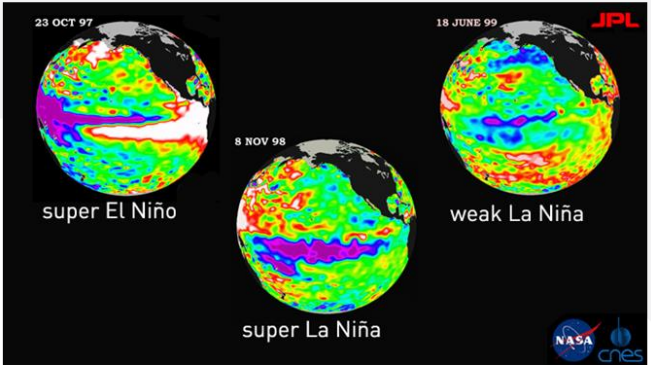
Tendência Climática se refere a um período continuo, con mais de 5 anos, com aumento ou diminuição da variável meteorológica analisada. Se isso ocorre de forma esporádica, apenas en algunos anos, indica uma situação compatível com a variabilidade. Por outro lado, se isso ocorre de forma continua durante uma sequência longa de anos, essa tendência passa a caracterizar-se como uma mudança climática.

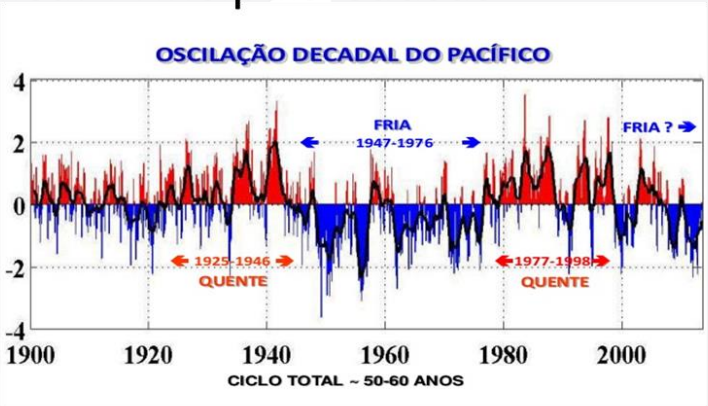


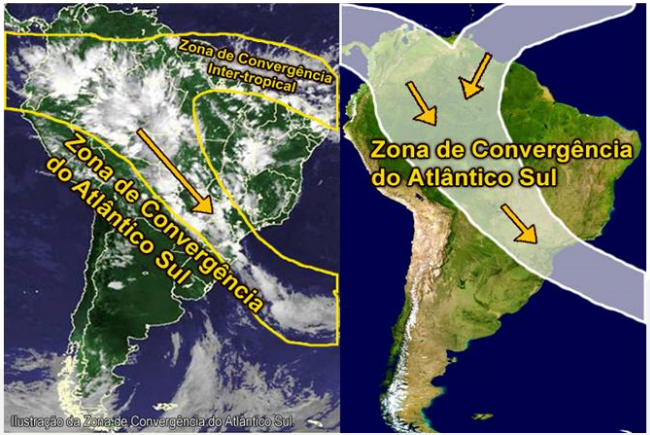
<u>Anomalias climáticas</u> são eventos meteorológicos com desvios muito superiores ao padrão de variabilidade normalmente observado. As anomalias estão associadas a fenômenos oceano-atmosféricos que provocam consequências nas condições meteorológicas. O exemplo mais comum são os eventos de El Niño e La Niña. Além desses temos: ZCAS, Oscilação Decadal do Pacífico e Dipólo Atlântico

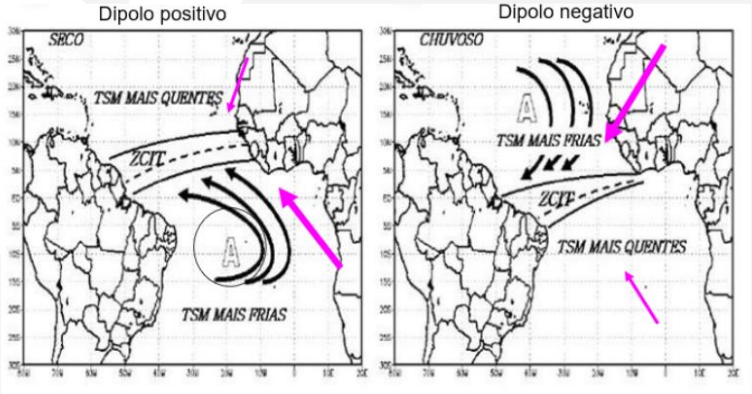


Variabilidade Climática: Principais Causas



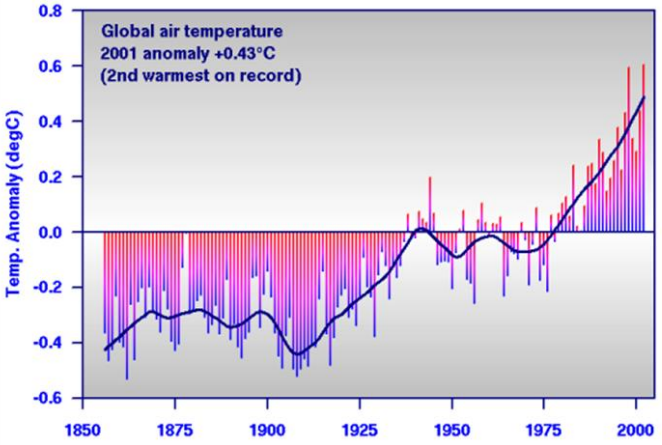






Mudanças Climáticas: são alterações nas condições meteorológicas médias para períodos sucessivos de 30 anos, mostrando tendências contínuas, que podem ser positivas ou negativas.

Condição Global - IPCC



Condição Local – Campinas, SP

(Camargo et al., 2010)

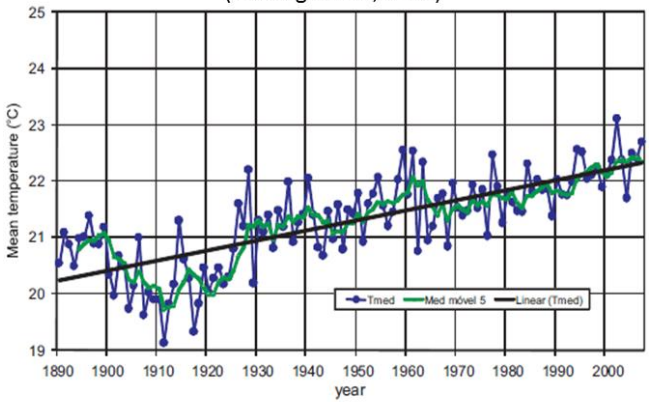


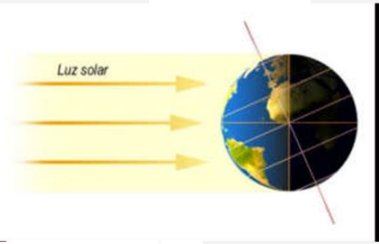
Figure 2. Annual mean air temperature for Campinas, São Paulo State, Brazil, from 1890 to 2008.

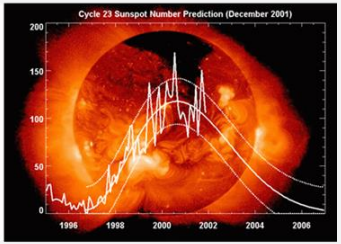
Os fatores que provocam as flutuações climáticas na escala de eras geológicas, ou seja, que podem causar mudanças do clima, são:

- 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

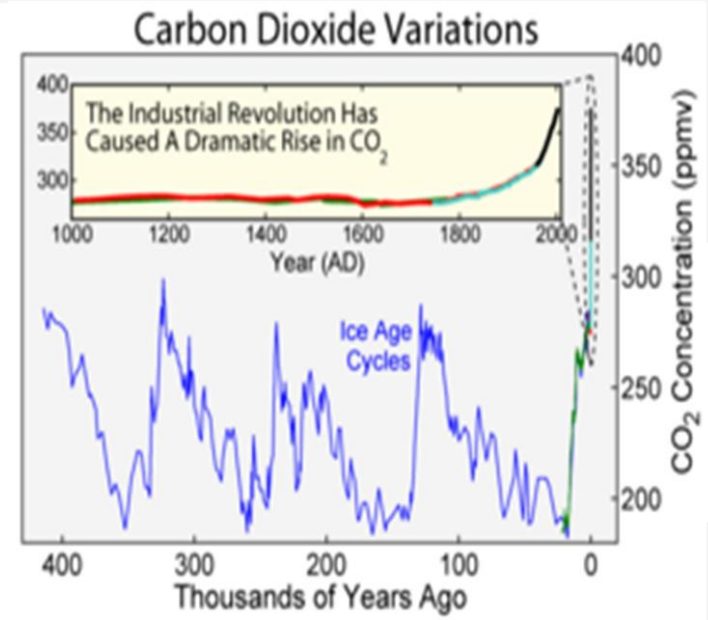
- Extraterrestre: variação da emissão de energia solar

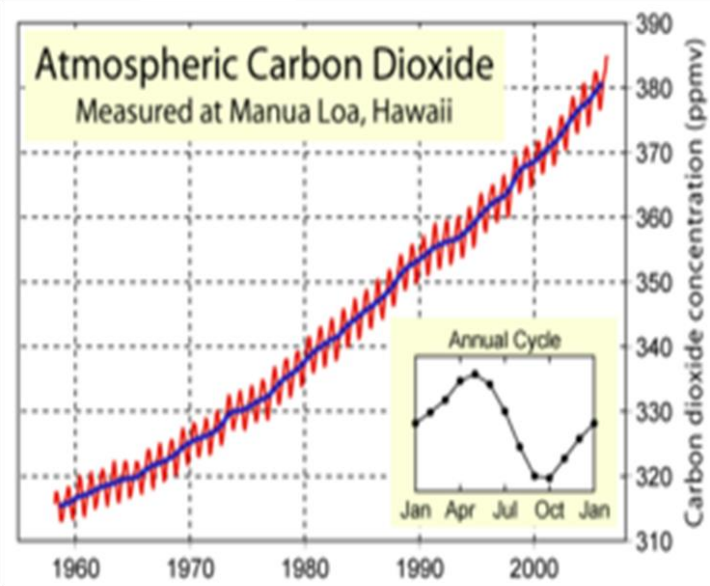




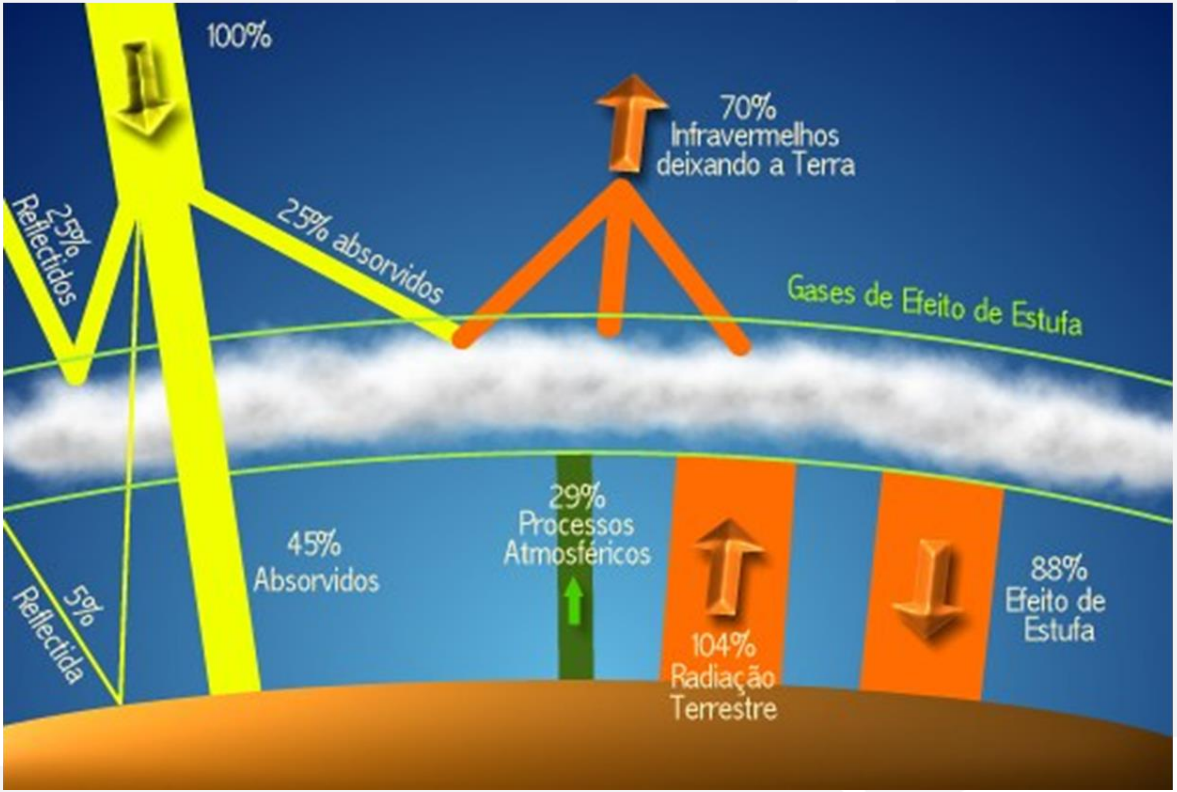
Dentre os fatores que vem promovendo alterações no padrão do clima da Terra, a modificação da composição química da atmosfera é o mais PLAUSÍVEL, pois vem provocando a alteração do balanço de radiação da Terra, ou seja, intensificando o *EFEITO ESTUFA*, promovendo assim o que conhecemos como *AQUECIMENTO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

Variação da concentração de CO_2 na atmosfera

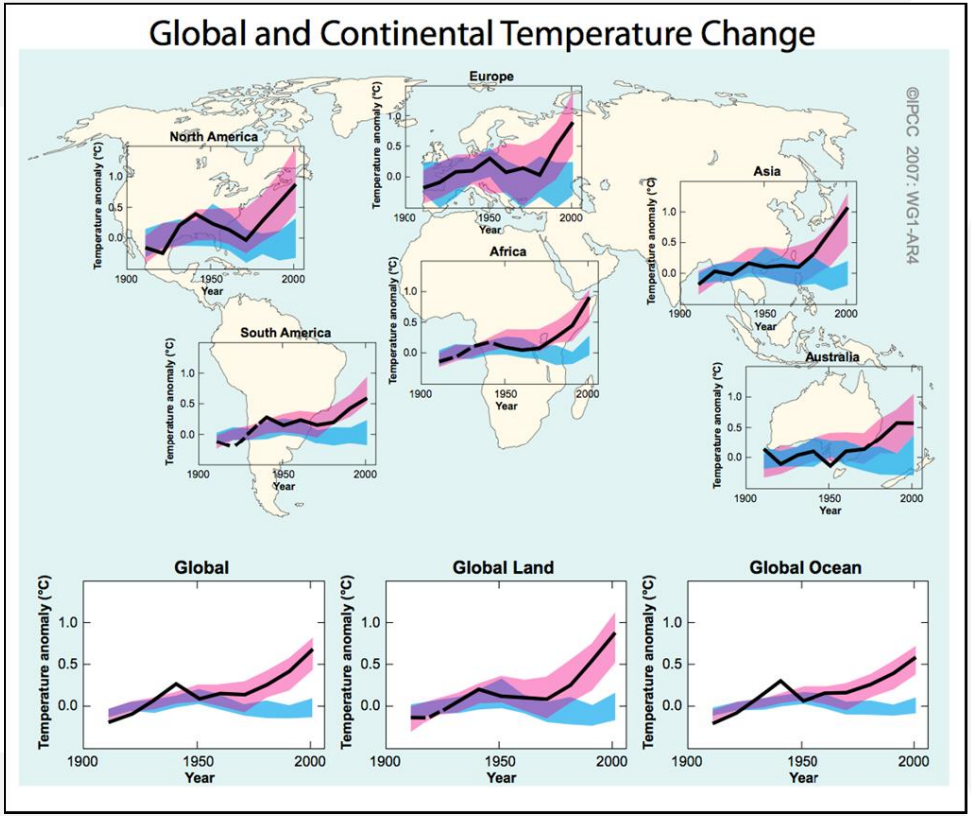




Balanço de Radiação, Efeito Estufa e Aquecimento Global



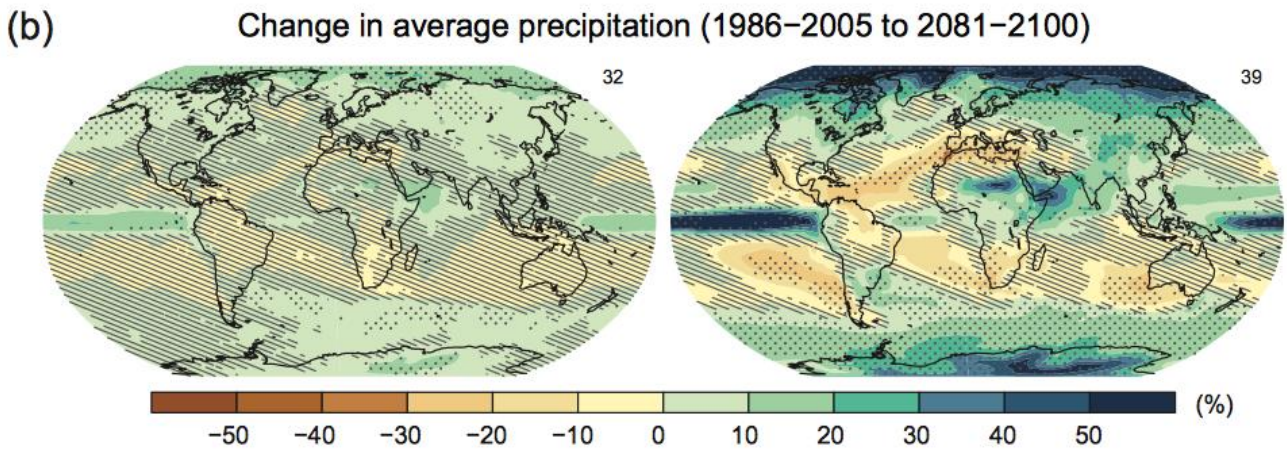
Aumento da Temperatura do ar



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

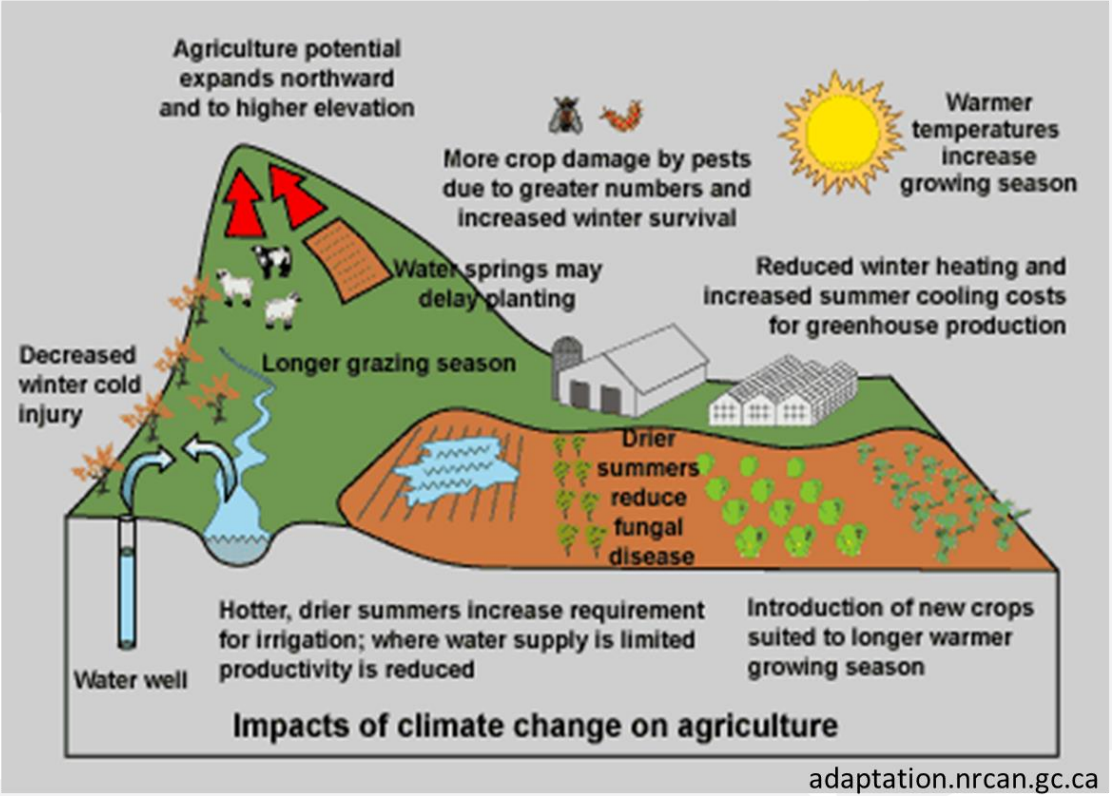
Considerando-se apenas as forçantes naturais

Variação da chuva



Alto grau de incerteza

Impactos Gerais do Aquecimento Global na Agricultura



adaptation.nrcan.gc.ca

Como a Agrometeorologia pode contribuir para a Sustentabilidade da Agricultura?

Propósitos Estratégicos

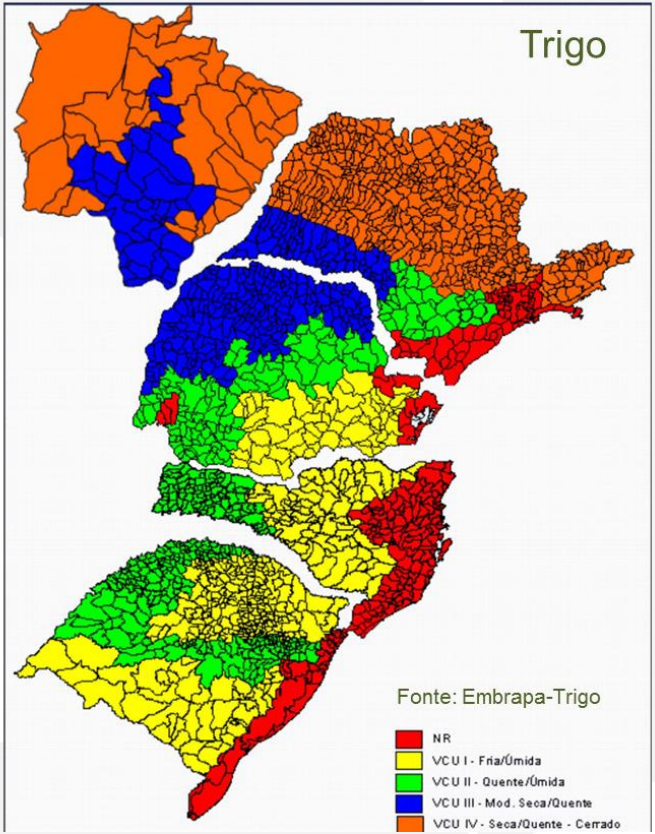
Levantamento da capacidade de produção, da disposição das culturas nas propriedades e da escolha do tipo de empreendimento baseados na interpretação do clima do local

Relacionados ao Planejamento Agrícola

Zoneamento agroclimático
Zoneamento de Risco Climático
Zoneamento das épocas preferenciais de semeadura
Zoneamento do risco de ocorrência de pragas e doenças
Planejamento topoclimático da propriedade

Estratégicos

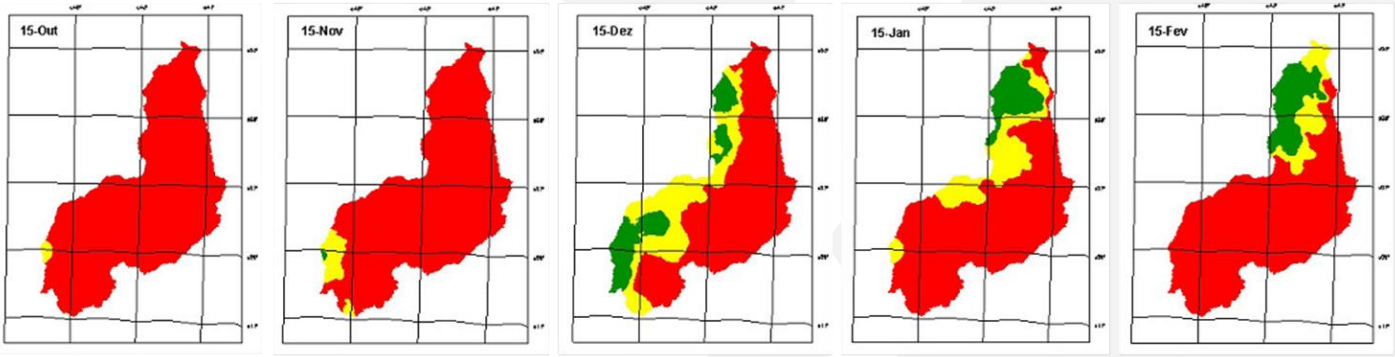
Zoneamento Agroclimático



Estratégicos

Zoneamento de Risco Climático

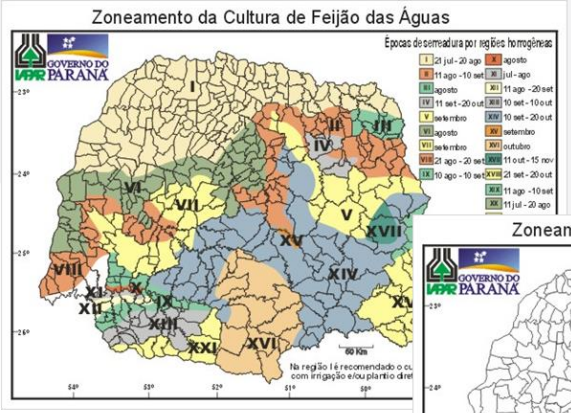
Zoneamento de Risco Climático da Cultura do Caupi no Estado do Piauí

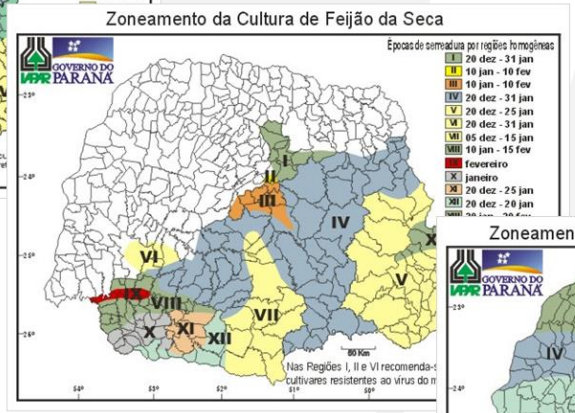


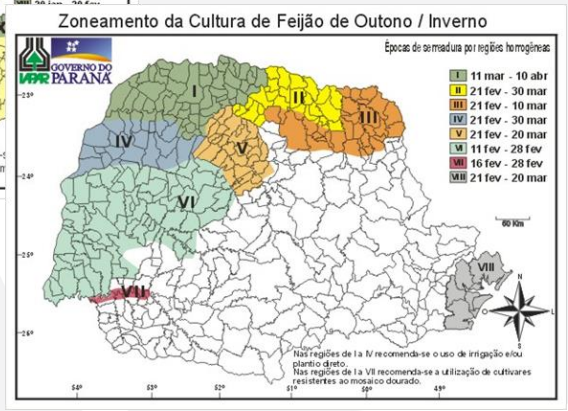
Fonte: Andrade Jr. et al.(2001)

Baixo Médio Alto

Zoneamento agroclimático e épocas de semeadura para o feijão no PR







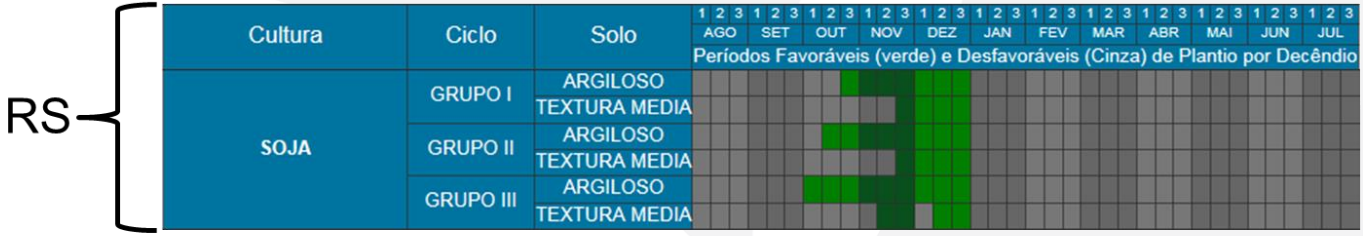
Fonte: www.iapar.br

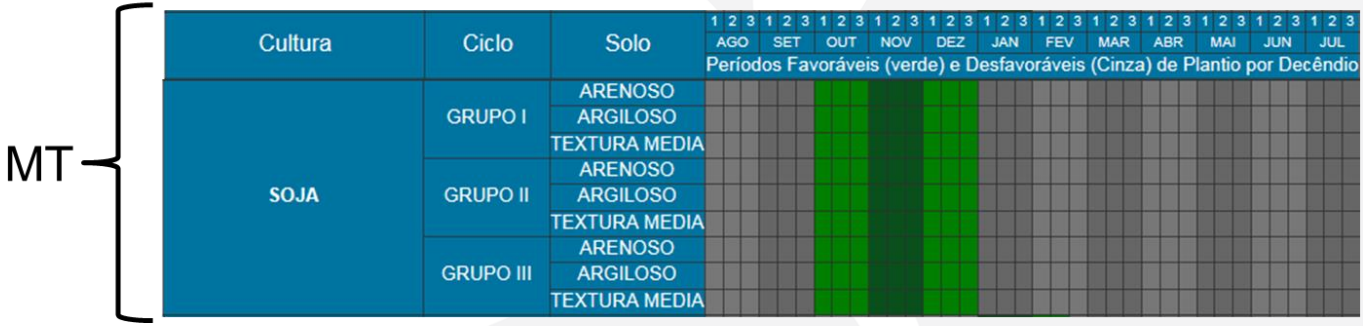
Estratégicos

Pecege

Estratégicos

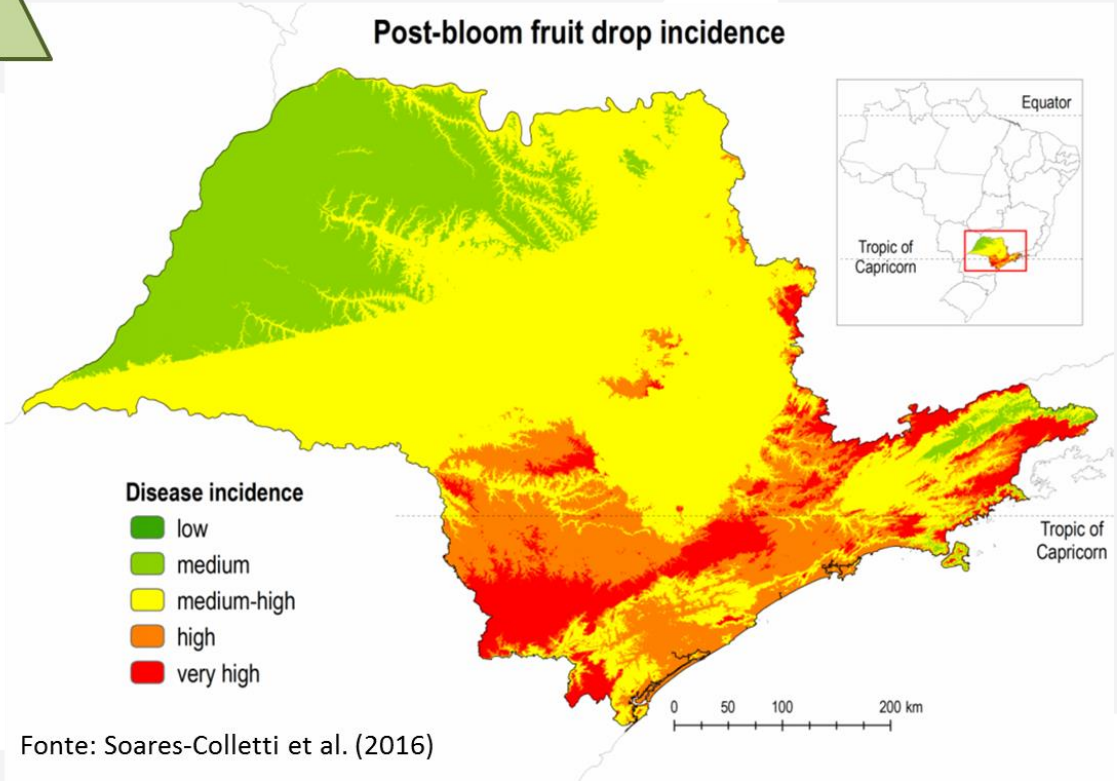
Épocas de semeadura para a cultura da soja





Estratégicos

Zoneamento de Risco Climático para a Ocorrência de Doenças de Plantas



Fonte: Soares-Colletti et al. (2016)

Estratégicos

Planejamento Topoclimático

Nos lugares onde há probabilidade de ocorrência de geadas, os produtores devem escolher as melhores condições topográficas para o cultivo de culturas perenes, de modo a se minimizar o risco de danos.

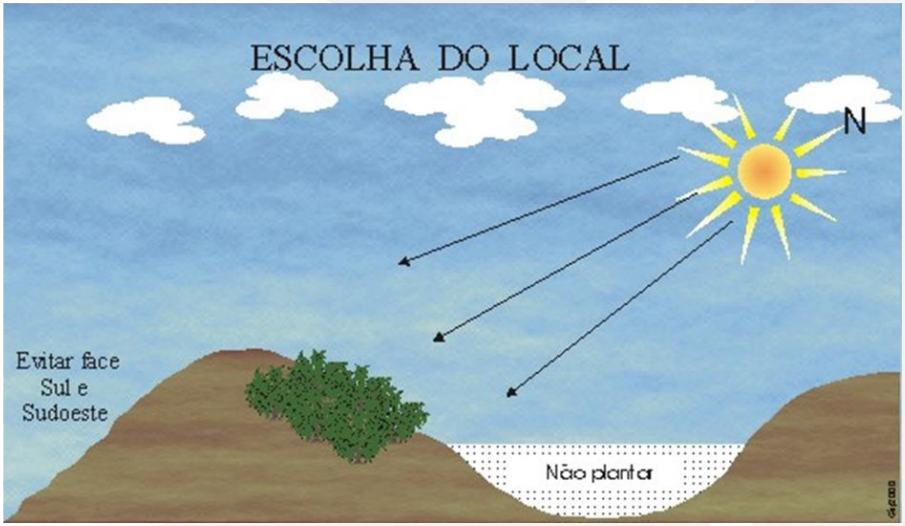


Figura cedida por P.H. Caramori

Estratégicos

Planejamento Microclimático

Nos lugares onde há probabilidade de ocorrência de ventos intensos, geadas ou granizo, a alteração do microclima é uma ação viável para reduzir os dados nas lavouras e aumentar as produtividades.

Propósitos Táticos

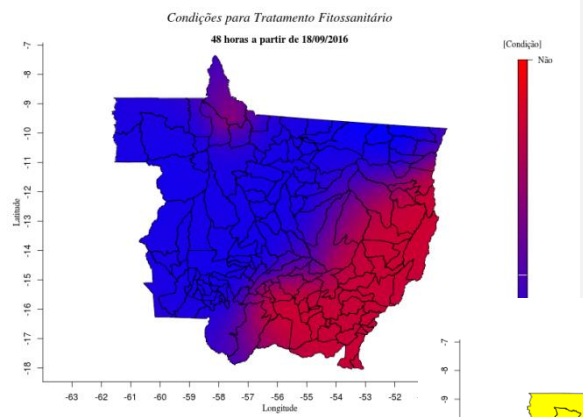
Criar flexibilidade no sistema de produção, em função do acompanhamento das condições do tempo, da disponibilidade hídrica do solo e da previsão do tempo/clima

Relacionados às Tomadas de Decisão

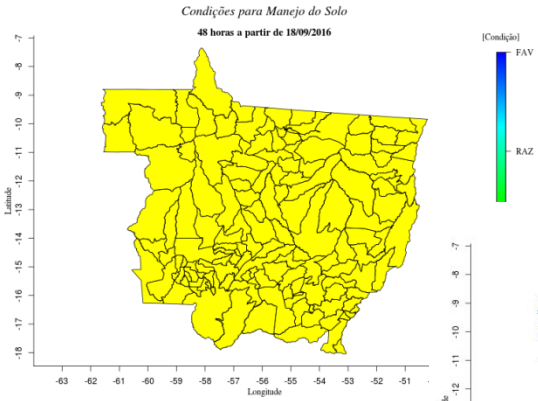
Decidir sobre os momentos mais adequados para as práticas agrícolas de manejo por meio do monitoramento agrometeorológico:

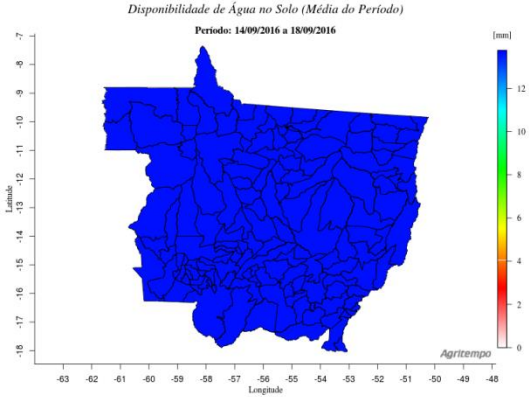
Preparo do Solo, Semeadura, Adubação de Cobertura
Aplicação de Defensivos (fungicidas, Inseticidas, herbicidas),
Irrigação (quando e quanto irrigar), Colheita, etc.

Monitoramento Agrometeorológico e das Condições de Favorabilidade para a relaização das práticas agrícolas



Monitoramento das condições para manejo do solo, colheita e controle fitossanitário

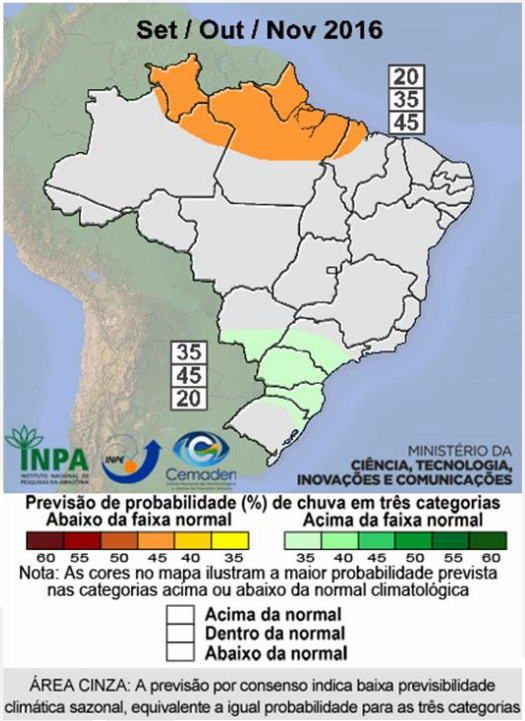


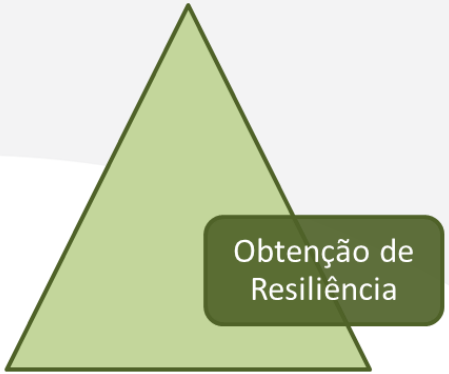


Agritempo

Pecege

Neste contexto, as previsões de tempo e clima são de extrema importância para as tomadas de decisão





Obtenção de Resiliência

Fortalecimento dos sistemas agrícolas por meio da diversificação e das estratégias de manejo dos riscos (Ações Estratégicas +Ações Técnicas)

Resiliência

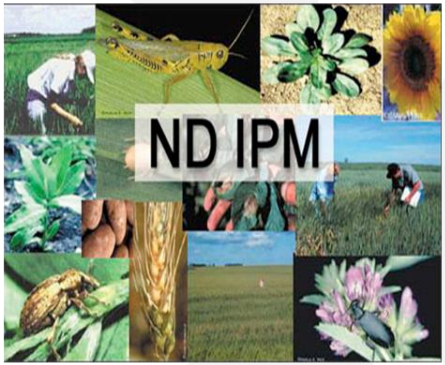
Se refere à capacidade e habilidade do sistema agrícola de enfrentar condições meteorológicas adversas inesperadas e severas, como secas prolongadas, geadas, ventos intensos, granizo, entre outros eventos meteorológicos adversos

Obtenção de Resiliência

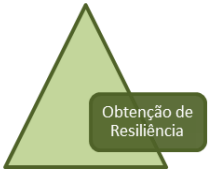
Utilização do cultivo mínimo ou do plantio direto reduz a evaporação da água do solo, resultando num melhor uso da água pelas culturas e dando mais flexibilidade para o escalonamento dos plantios

Obtenção de Resiliência

Controle integrado de pragas e doenças – melhora o vigor das culturas, permitindo maior tolerância às condições meteorológicas adversas



Irrigação – garante o suprimento hídrico necessário para que as plantas suportem estiagens prolongadas, sendo especialmente importante na fase reprodutiva das culturas



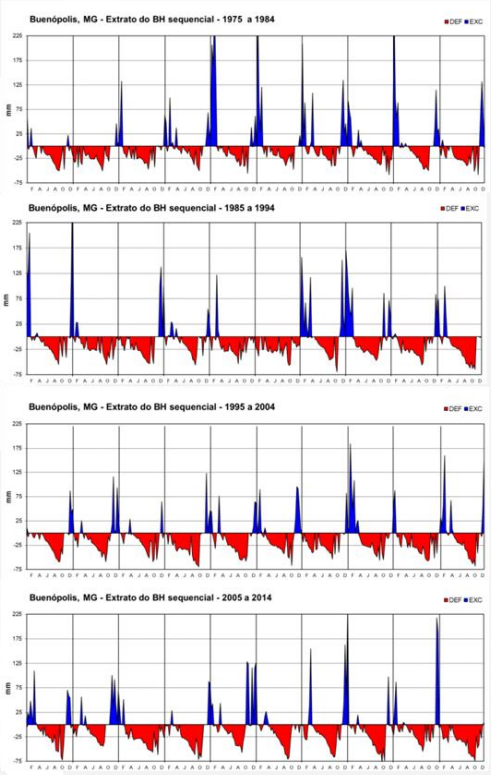
Obtenção de Resiliência

Uso de quebra-ventos para redução da evapotranspiração das culturas e de danos mecânicos por ventos intensos

Além disso, o **Clima** e sua **Variabilidade** ainda definem …

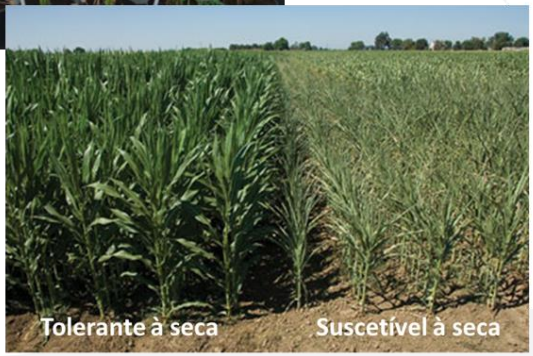
O Sistema de Cultivo

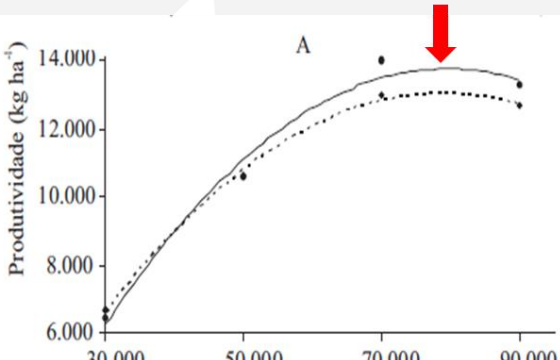
Sequeiro x Irrigado
Convencional x Plantio Direto
Uso de quabra-ventos
Sistema Integrados Lavoura-Floresta-Pecuária, entre outros

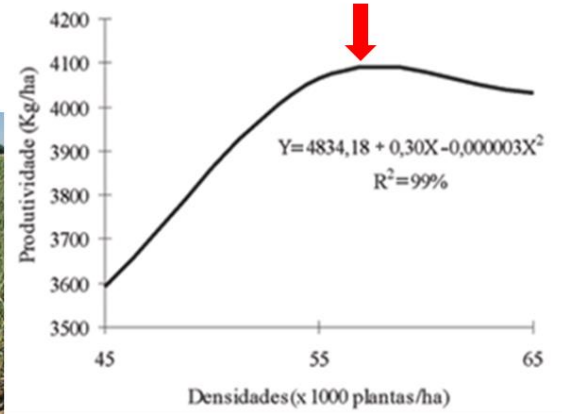


Pecege

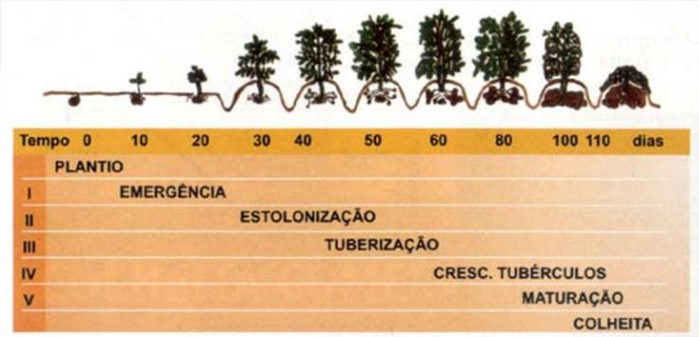
Cultivar e População de Plantas

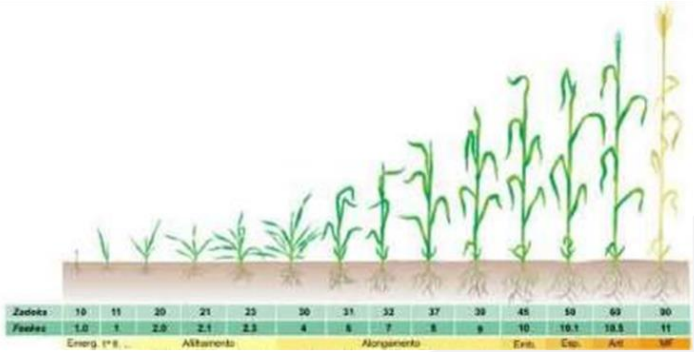


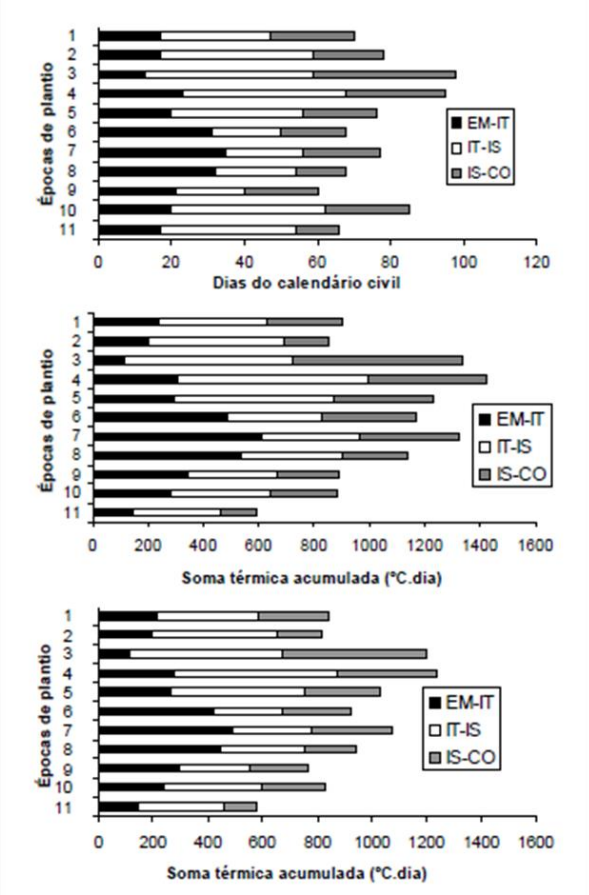




Fenologia da Cultura

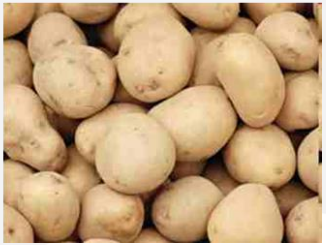


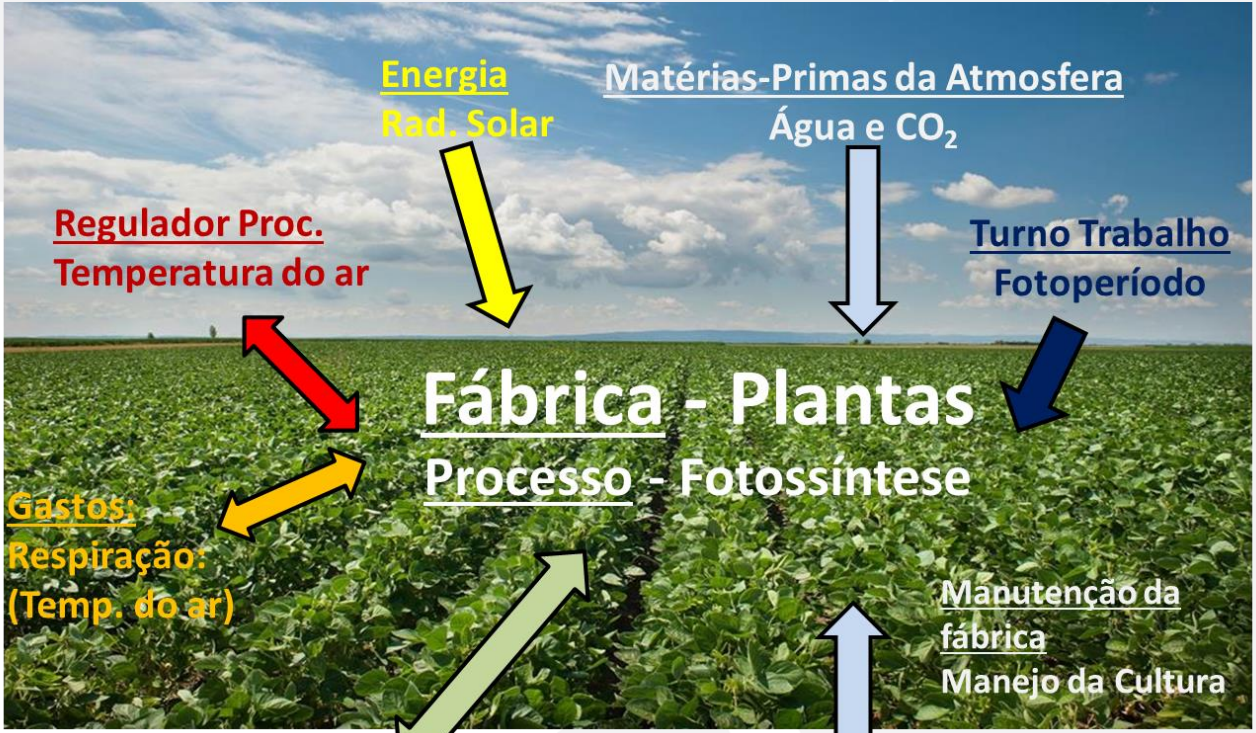




de Paula (2008)

Produtividade Agrícola

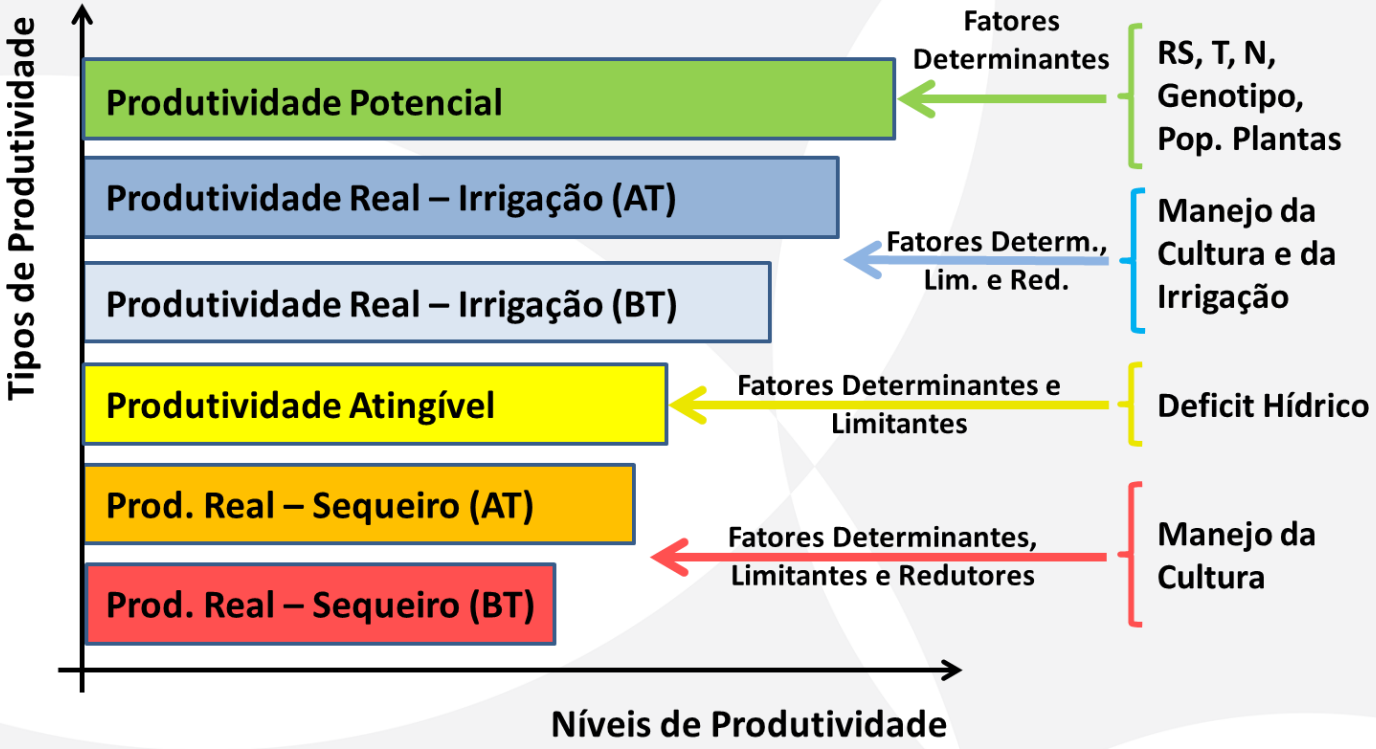


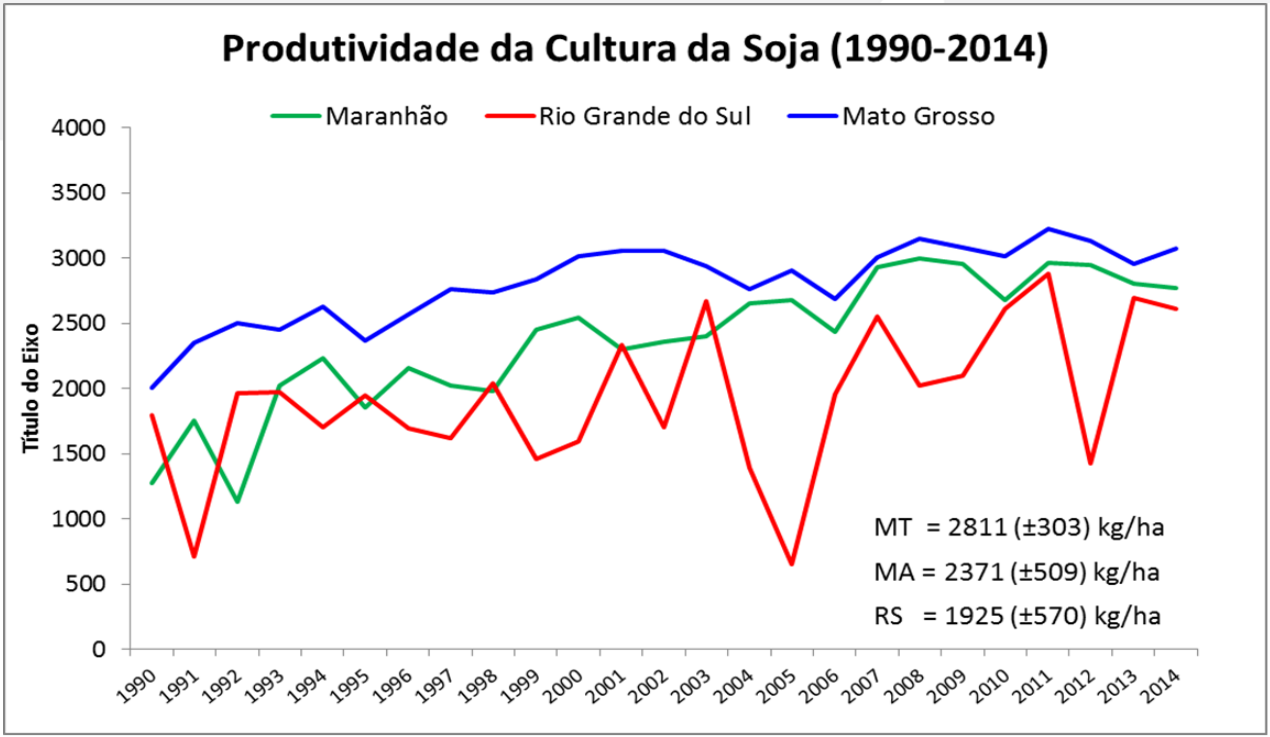


Produto Final: Grãos, Frutos, Raízes, Colmos, Tubérculos, etc

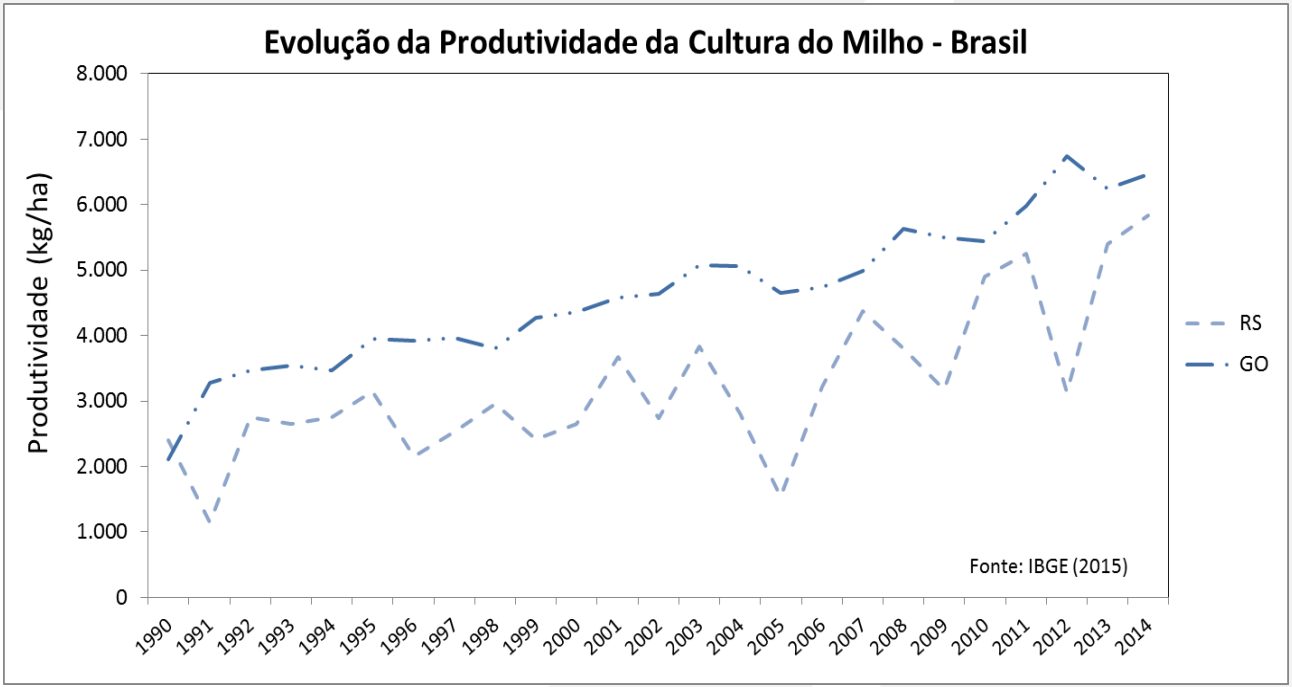
Matérias-Primas do Solo
Água e Nutrientes

Tipos e Níveis de Produtividade Agrícola




Produtividade da Cultura da Soja (1990-2014)
Maranhão
Rio Grande do Sul
Mato Grosso
Título do Eixo
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
MT = 2811 (±303) kg/ha
MA = 2371 (±509) kg/ha
RS = 1925 (±570) kg/ha

Fonte: IBGE


Evolução da Produtividade da Cultura do Milho - Brasil
Produtividade (kg/ha)
8.000
7.000
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
0
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
RS
GO
Fonte: IBGE (2015)

Qualidade da Produção

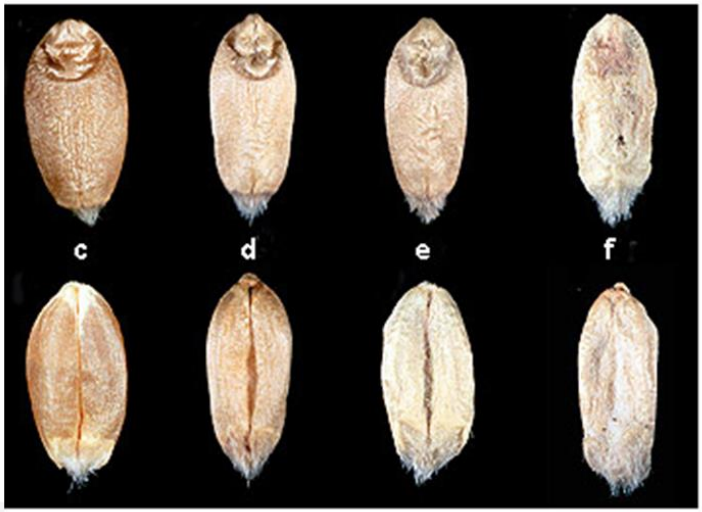
Clima x Distúrbios Fisiológicos

Efeitos de altas temperaturas e estresses hídricos

Qualidade da Produção

Clima x Qualidade de Grãos

Excesso de umidade



Considerações Finais

- ✓ Agricultura é altamente dependente das condições de tempo e clima e os agricultores não tem controle sobre elas, a não ser pela escolha do local ou época de semeadura;
- ✓ Cerca de 80% da variabilidade na produtividade agrícola se deve à variabilidade das condições meteorológicas durante a estação de cultivo, especialmente para as culturas de sequeiro;
- ✓ O impacto da variabilidade climática não é apenas sobre o crescimento, produtividade e qualidade das culturas, mas também sobre as práticas agrícolas, como o preparo do solo, a semeadura, a irrigação, os controles fitossanitários, colheita, etc;

Bibliografia Recomendada

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D., SMITH, M. Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. FAO, Roma, Irrigation and Drainage Paper 56, 300p. 1998.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. Meteorologia Básica e Aplicações. UFV, 1991. 449p.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia – fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Ed. Agropecuária. 2002. 478p.

MAVI, H.S.; TUPPER, G.J. Agrometeorology – Principles and application of climate studies in agriculture. New York: Food Products Press. 2004. 364p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Estudos FAO - Irrigação e Drenagem n.33, 1994. 306p. (Traduzido por Gheyi, H.R. et al. - UFPB).

MONTEIRO, J.E.B.A. (ed.) Agrometeorologia dos cultivos. Brasília: INMET. 2009. 530p.

VAREJÃO-SILVA, M.A. Meteorologia e Climatologia. Brasília: INMET. 2001. 515p.

Obrigado pela Atenção

Prof. Dr. Paulo C. Sentelhas
Setor de Agrometeorologia
Dept. de Engenharia de Biosistemas – ESALQ/USP
E-mail: pcsentel.esalq@usp.br / Skype: paulo_sentelhas
Tel: +55 (19) 3429-4283 ramal 225

Pecege