

A oscilação do Sul, El Niño, La Niña: historia e princípios físicos.

Affonso S. Mascarenhas Jr.



GATÃO DE MEIA-IDADE

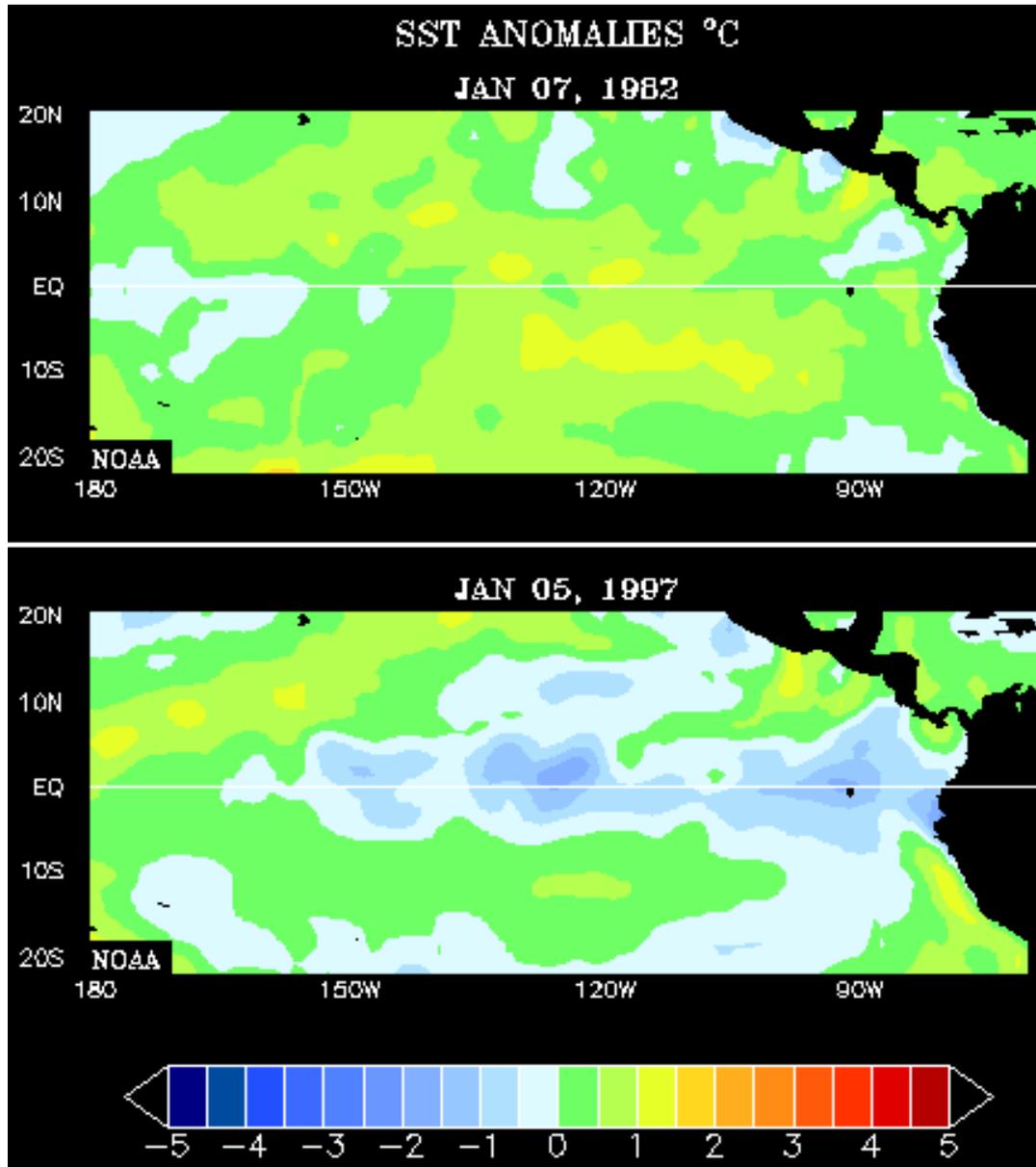
Miguel Paiva



e-mail- mpaiva@radicalchic.com.br

11/21/93

Os dois eventos El Niño mais fortes

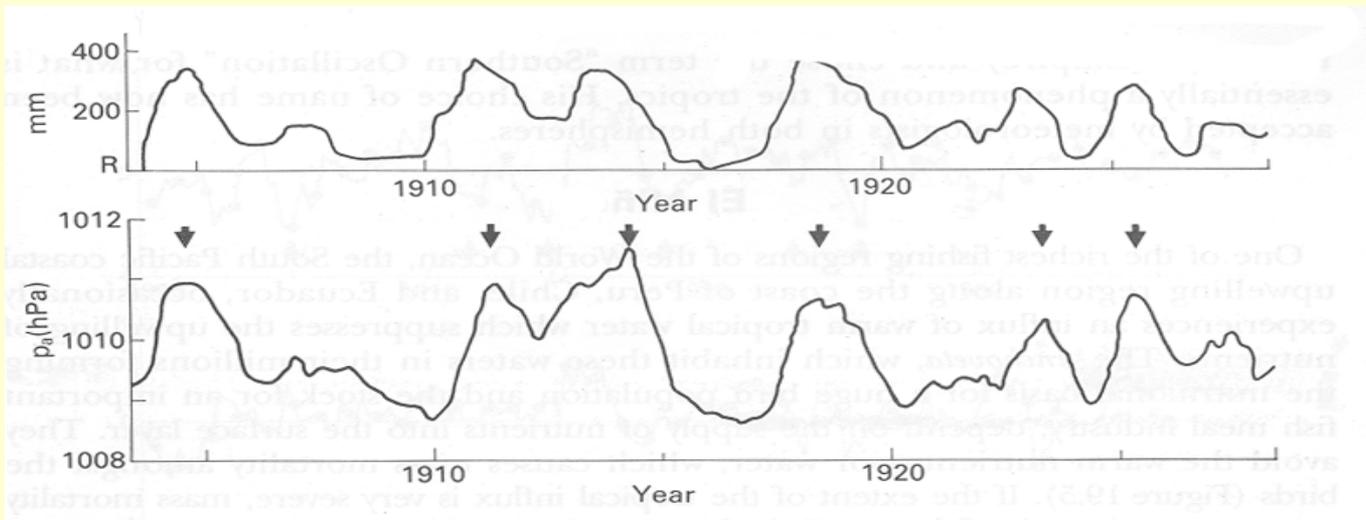


1982 - 1983

1997 - 1998

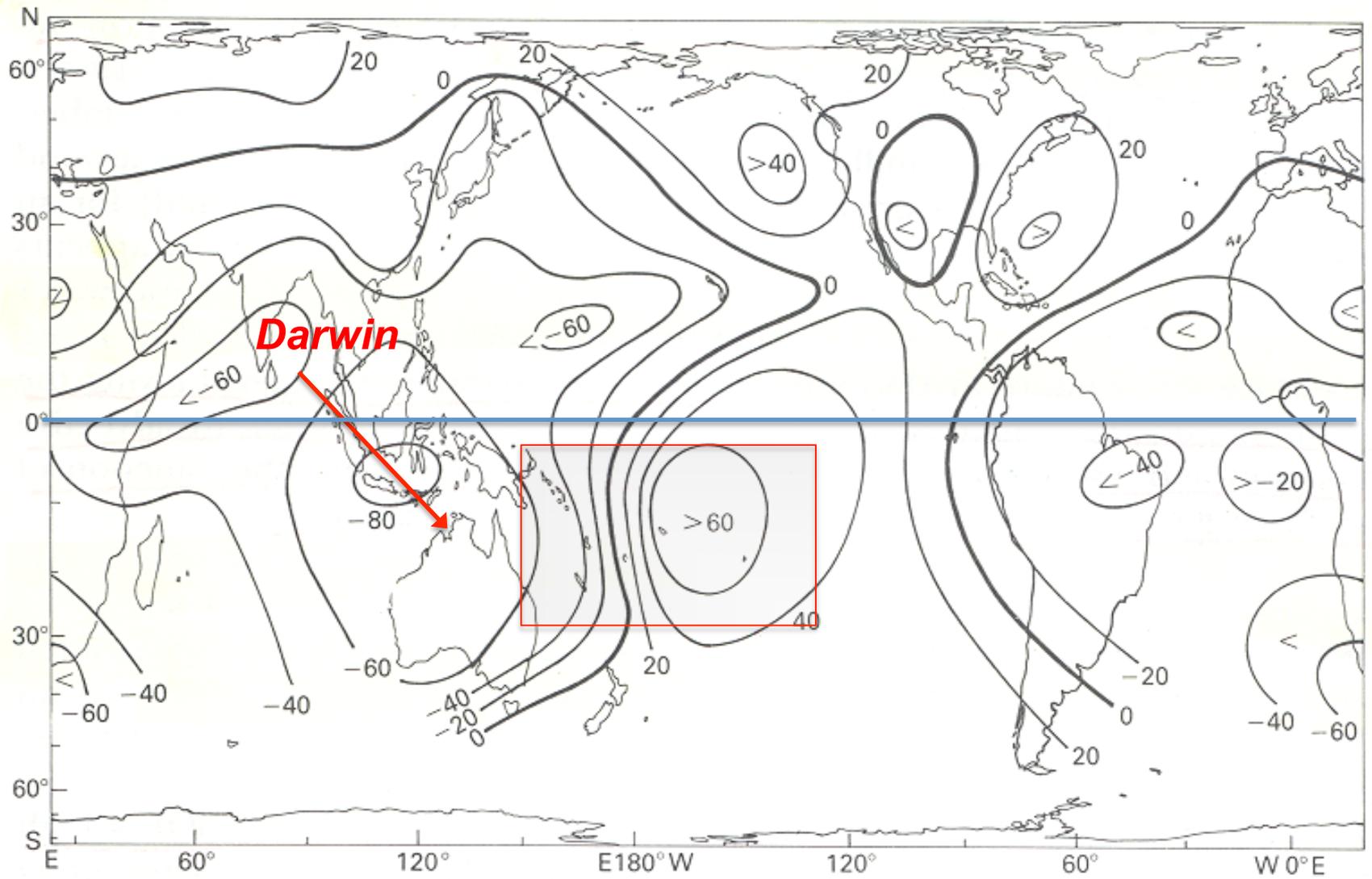
Um pouco de Historia.

Quando Sir Gilbert Walker foi designado Diretor Geral dos observatórios das colônias britânicas na Índia em 1904, ele se propôs a tarefa de tentar prever as variações das monções na Índia, assim como das secas associadas a elas. Iniciou um projeto de examinar os registros globais da época, de pressão ao nível do mar, temperatura do ar, precipitação e outras variáveis medidas em várias partes do mundo.

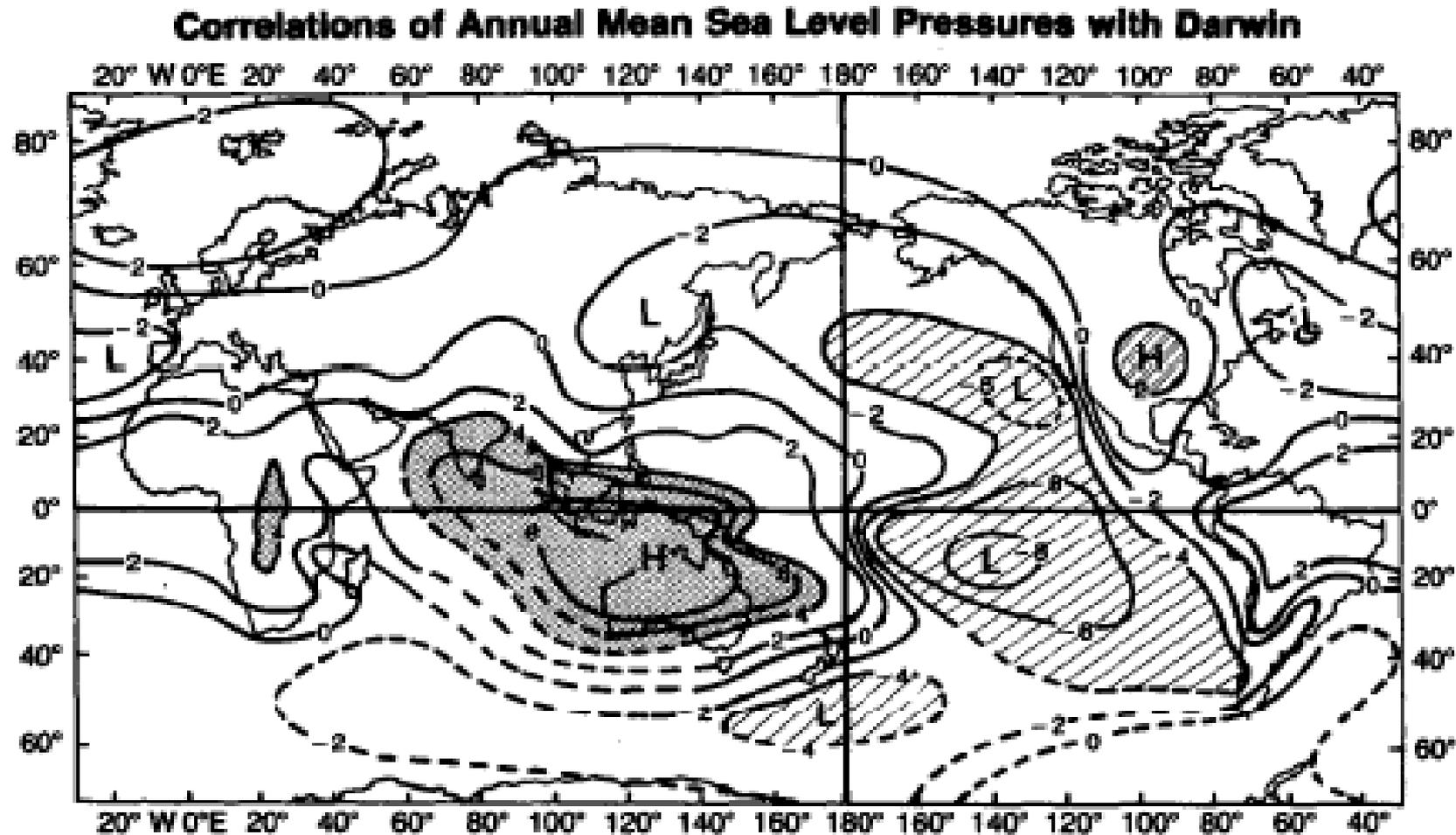


Parte inferior a média corrente de 12 meses da pressão do ar ao nível do mar em Darwin (Australia) e na parte superior a precipitação média em uma série de ilhas no Oceano Pacífico equatorial entre 160° E e 150° W. As setas identificam eventos ENSO.

Os valores médios podiam diferir de ano para ano, mas as características das diferenças se mostraram similares sobre uma grande região do globo.



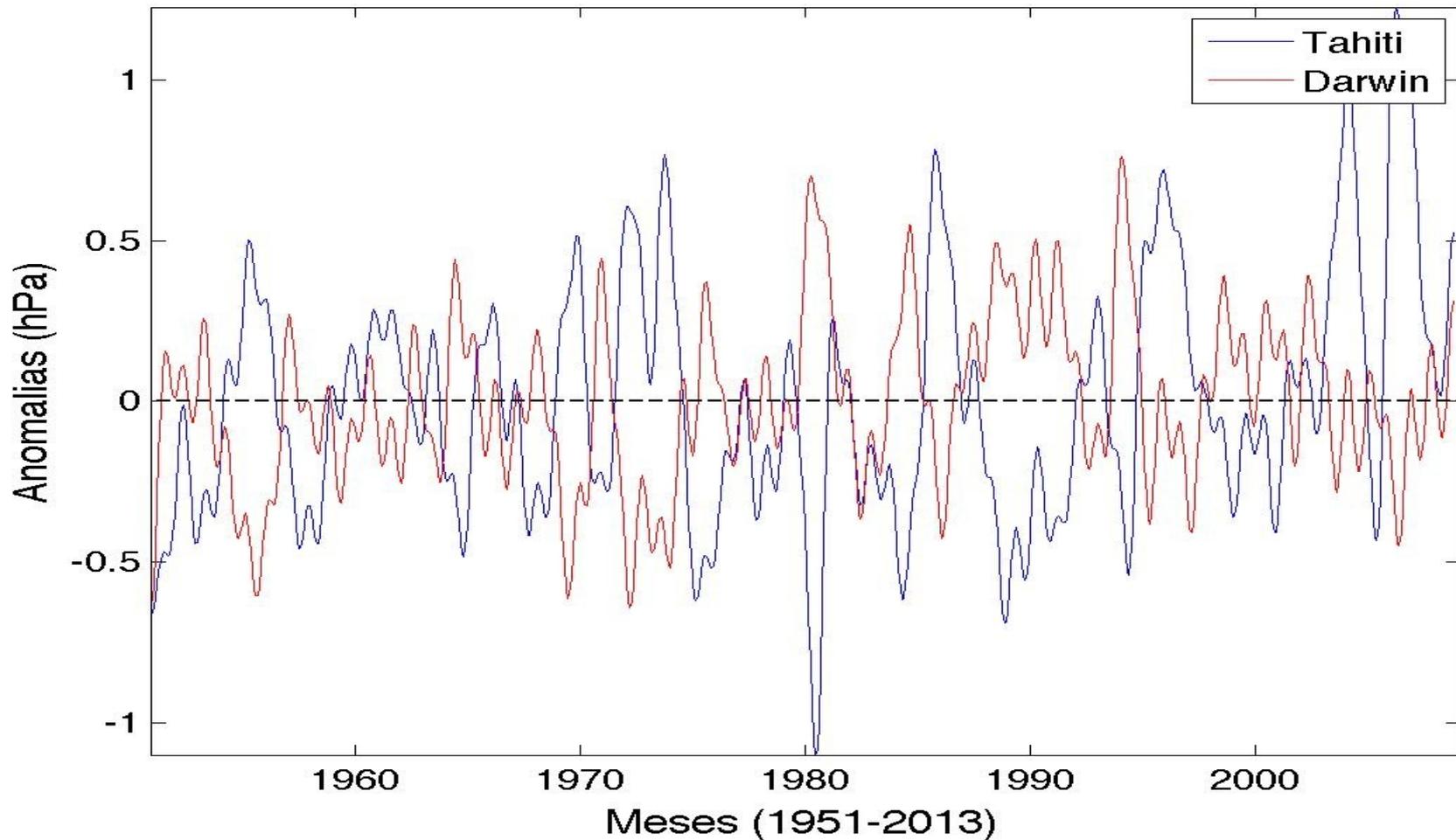
Correlação (X10) da media anual da pressão ao nível do mar com a pressão em Darwin. A pressão excede 0.4 na região sombreada e é menor que -0.4 na região hachurada. (95 estações met.)



É importante notar que as correlações maiores (menores) acontecem em dois centros de ação, que sugerem um mecanismo em forma de gangorra com um período de oscilação de 2 a 4 anos.

Um centro de ação se encontra sobre o ***Pacífico tropical Oeste e Leste do Oceano Índico*** e outro sobre o ***Pacífico tropical sudeste***.

As flutuações nos dois centros ainda que estivessem separadas por milhares de quilômetros eram perfeitamente ***coerentes e fora de fase***.



As flutuações interanuais são irregulares no tempo. Sir Gilbert Walker, meteorólogo Britânico e Diretor Geral dos Observatorios da colonia britânica da India, denominou essas ***oscilações de Oscilação do Sul (OS)***.

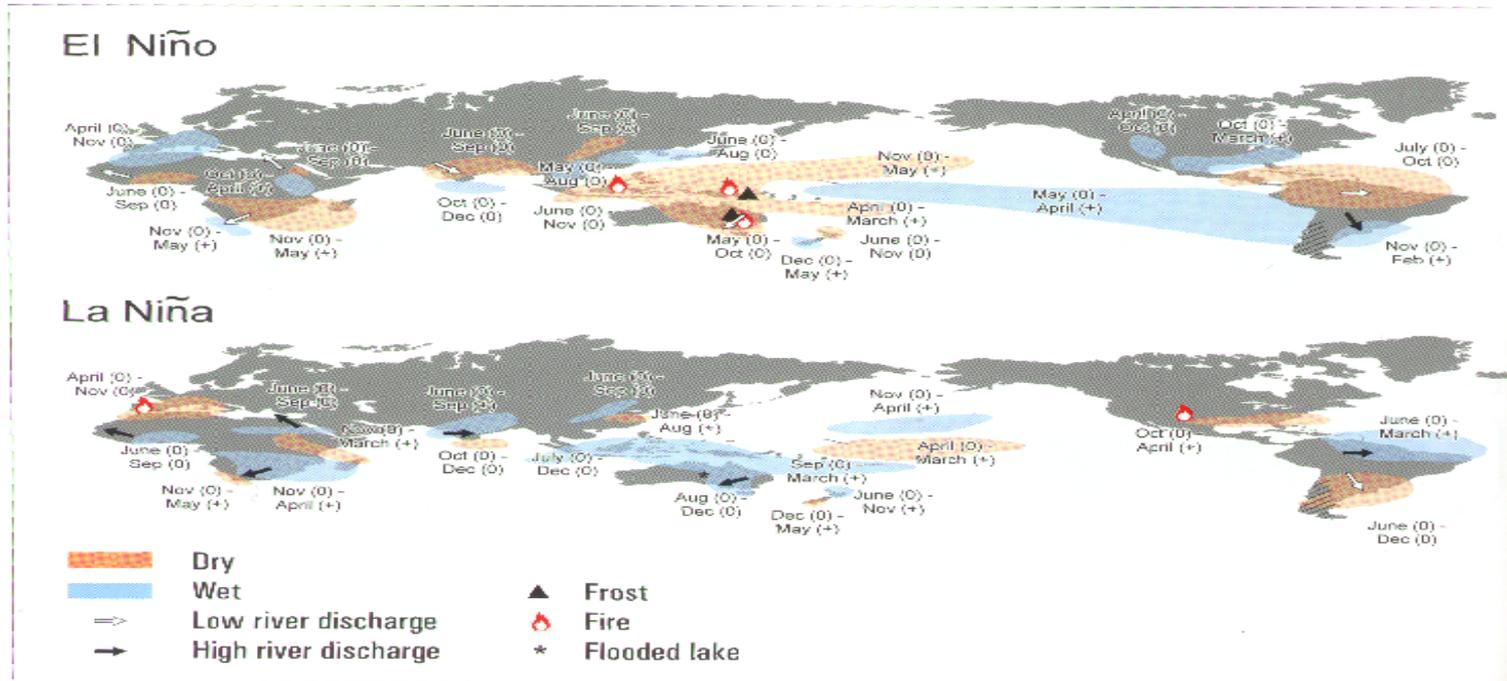


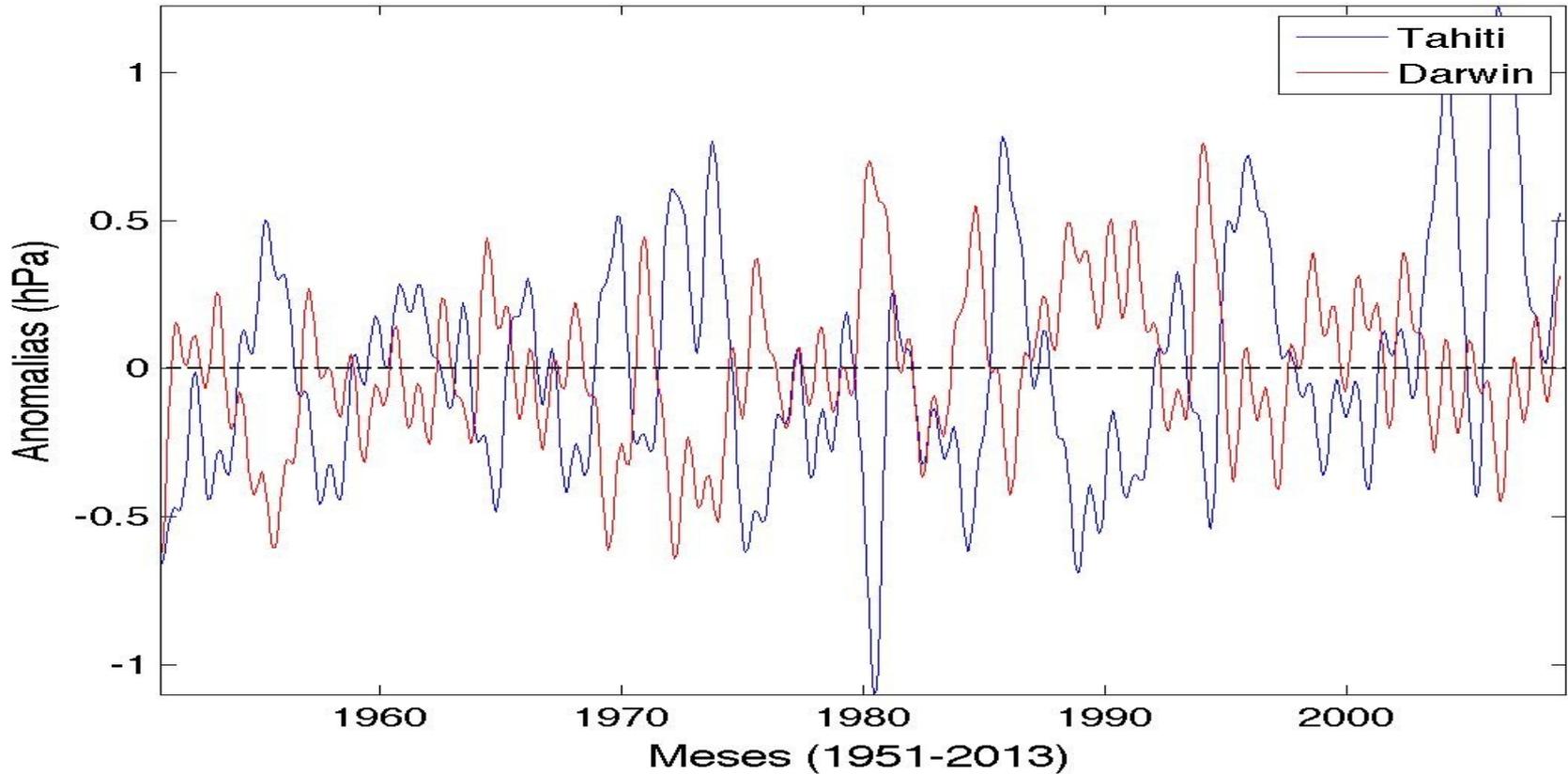
Figure 36: Schematics of the spatial and temporal responses of global hydro-climatological variables during strong El Niño and La Niña phases (From various sources detailed in the text).

Os científicos da época notaram que as oscilações envolviam muito más que apenas um **sobe e desce na diferença da pressão** de superfície através do Oceano Pacífico. A oscilação estava também associada a cambios maiores nos padrões de precipitação e campos de vento nos Oceanos Índico tropical e Pacífico e que, além disso estava **correlacionada com flutuações meteorológicas em outras partes do globo.**

A relação importante entre a OS e as variações da temperatura da superfície do mar (TSM) foi descoberta nos 1960's, por Berlage, Petersen e outros.

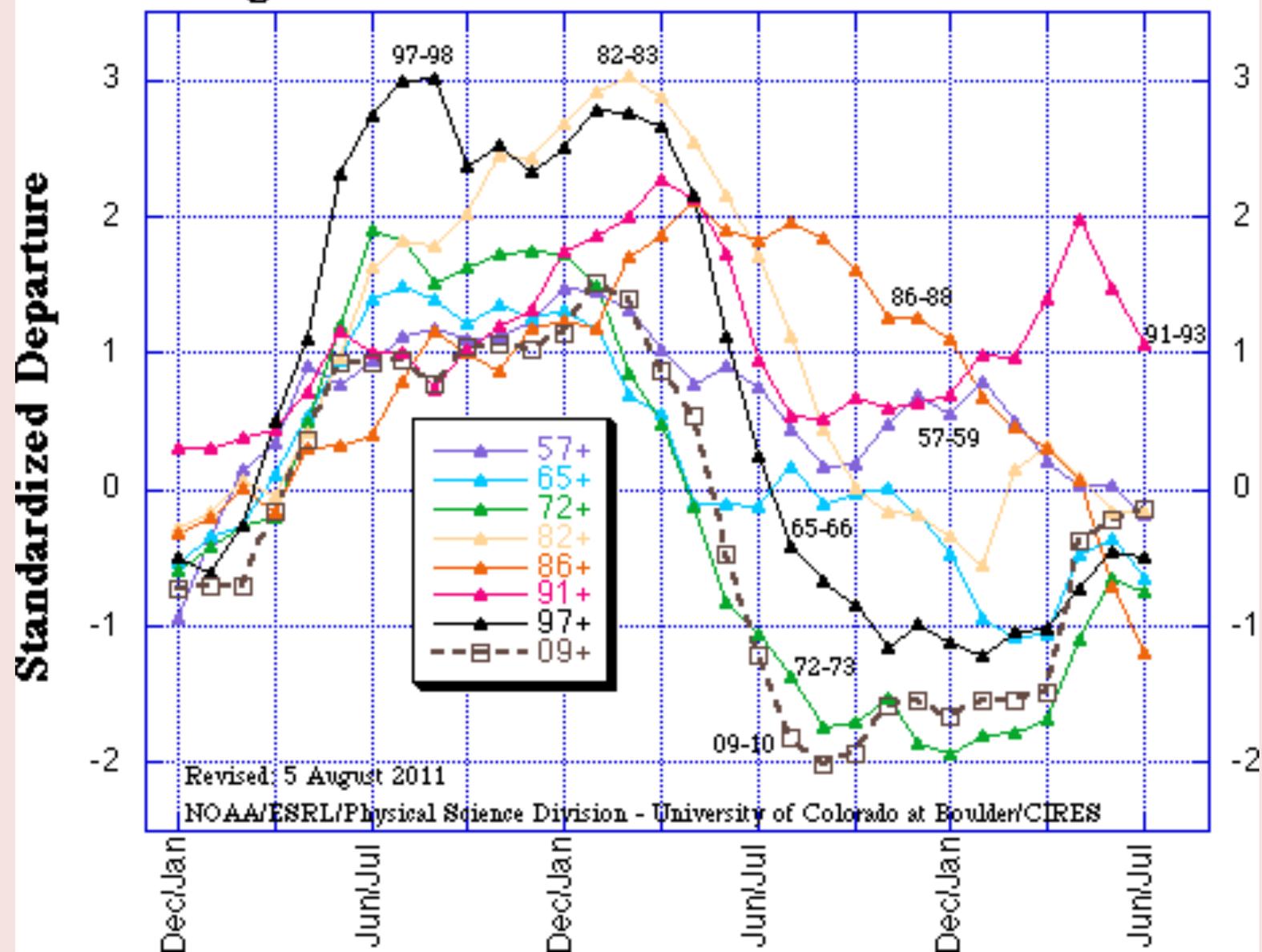
A correlação entre os varios parámetros estabelece que ***pressão de superfície alta sobre o Oeste e pressão de superfície baixa sobre o Pacífico tropical Sudeste*** coincida com grandes precipitações, águas de superfície quentes (não usuais) e ventos alísios relaxados no Pacífico Tropical central e Oeste.

Esta fase da OS é conhecida como El Niño.

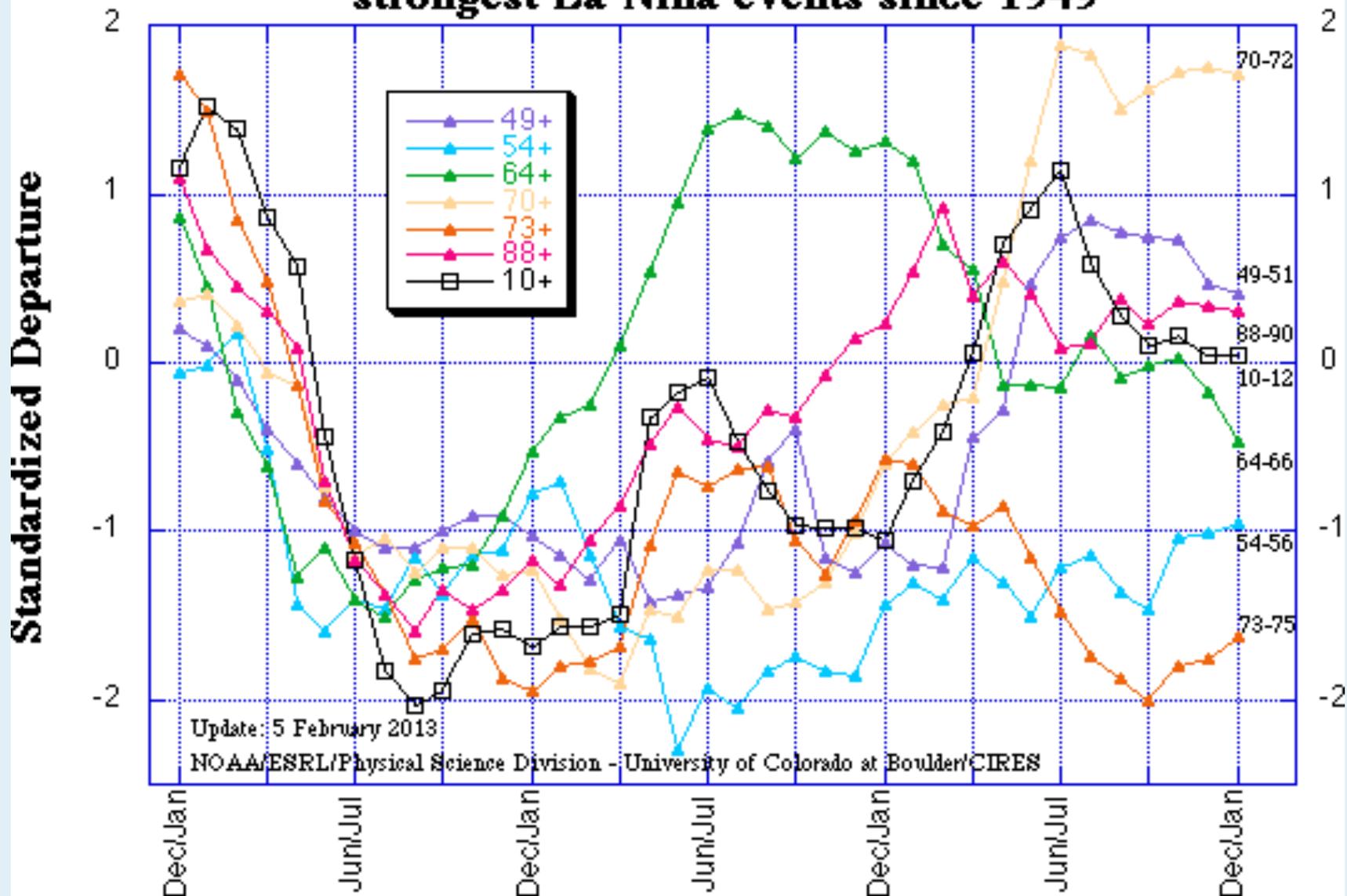


Da mesma figura pode se notar que as amplitudes de diferentes El Niño variam grandemente, gerando denominações de categorias como forte, moderado, débil, muito débil, existindo considerável diferença em cada categoria.

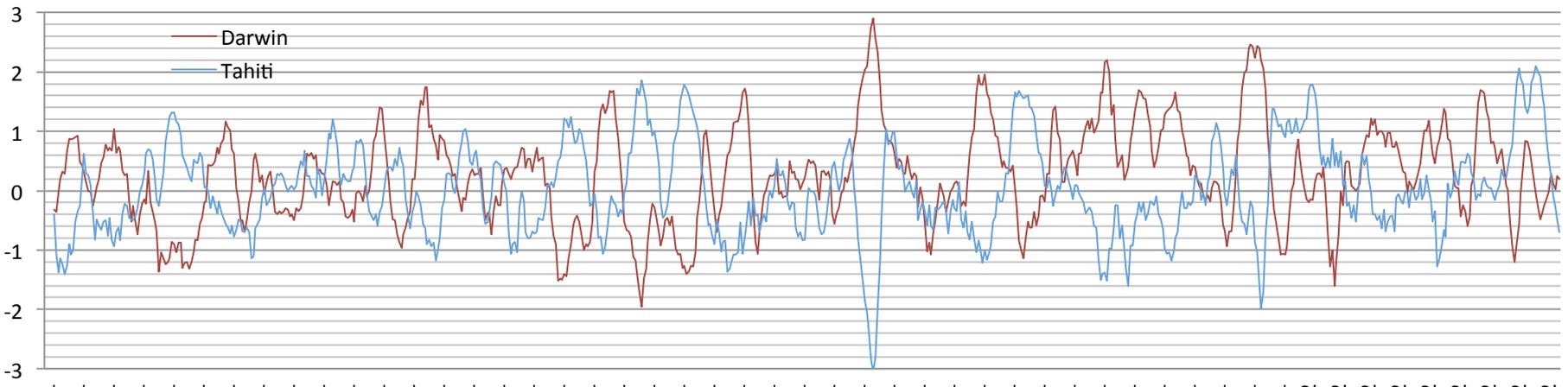
Multivariate ENSO Index (MEI) for the seven strongest El Niño events since 1950 vs. 2009-10



Multivariate ENSO Index (MEI) for the seven strongest La Niña events since 1949

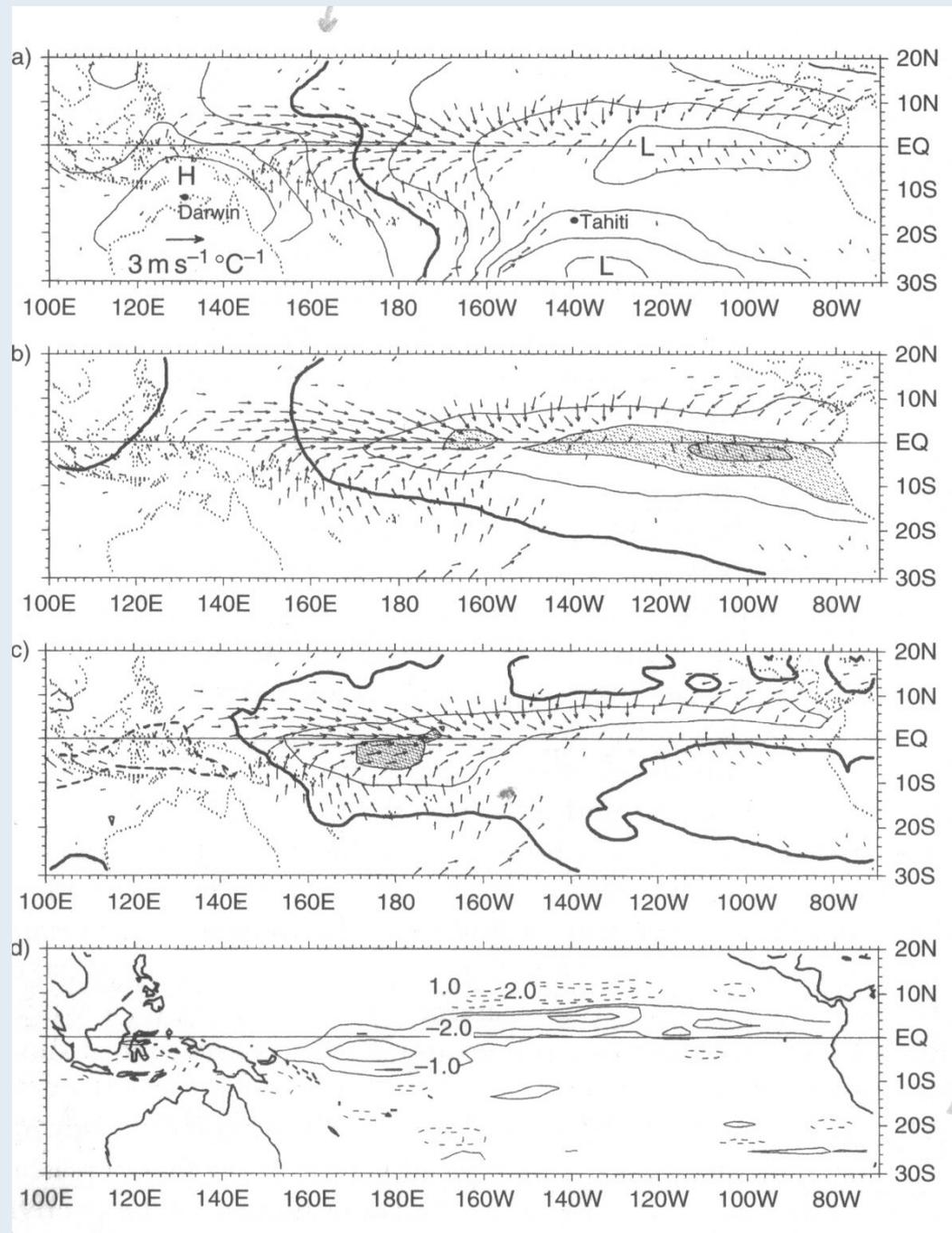


É importante notar que a noção de “condições normais” no Pacífico Tropical, praticamente não existe. Da figura, se nota que o Pacífico nunca está em um estado “normal”, ou está em uma fase da OS, conhecida por El Niño ou na fase complementar, denominada La Niña. Durante **la Niña**, a **pressão de superfície é alta sobre o Leste e baixa sobre o Pacífico Tropical Oeste**, enquanto que os **alisios são intensos**, e a **TSM e precipitação são baixas no Pacífico Tropical Central e Leste**.



Noções sobre a física do fenómeno

A figura mostra os mapas dos coeficientes de regressão das variáveis físicas sobre o índice TSM para cada variável importante.



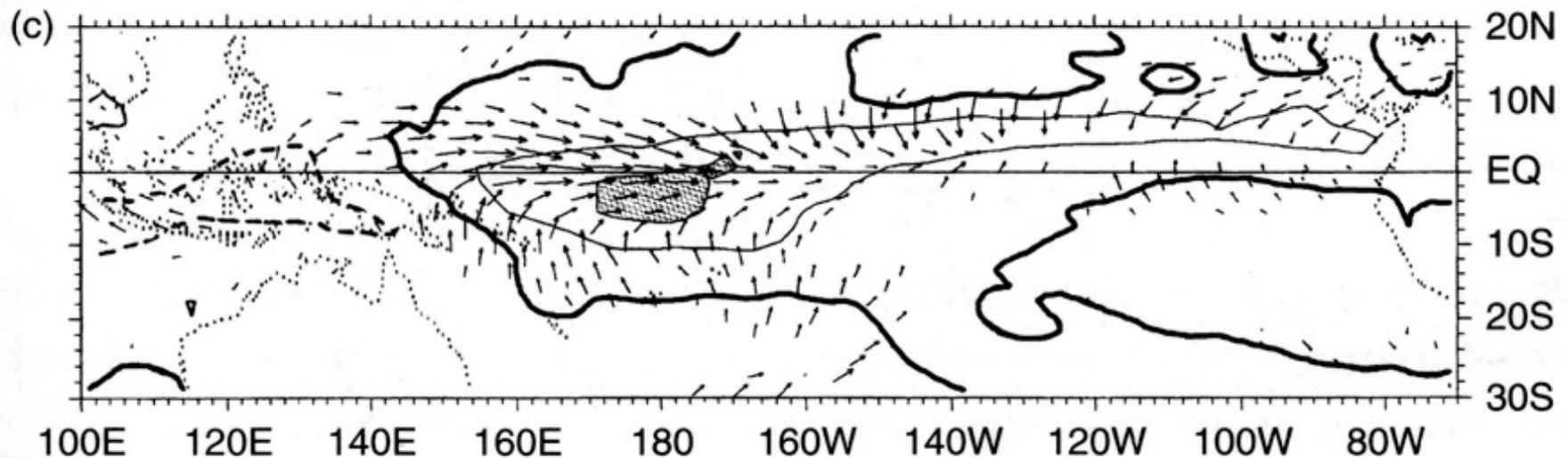
Deser y Wallace (1990) catalogaram os EN, LN, mais fortes dos últimos 60 anos usando as anomalias de TSM e correlacionaram com as variáveis físicas importantes, visando estimar os padrões espaciais típicos do ENSO; (Pressão Atmosférica, vento de Superfície, Temperatura da Superfície do Mar, Radiação de Onda Larga Emitida e Divergência do vento de Superfície).

Durante o ENSO, os movimentos de larga escala na atmosfera são dirigidos pelo aquecimento anômalo proveniente do calor latente liberado. O topo das nuvens tendem a ser frias, assim os menores valores de Radiação de Onda Larga Emitida (ROL), nos trópicos, correspondem ao topo das nuvens.

Além disso estes valores (ROL) são identificados ***como regiões de convecção profunda.***

Assim a anomalia baixa de ROL no PEc, entre 150°E e 150°W na fig c, mostra que nos episódios quentes de ENSO, essa região tem mais nuvens que o normal.

Esta figura portanto mostra que o principal aquecimento anômalo que dirige a atmosfera durante o ENSO (quente) ocorre na parte Oeste e Central do Pacífico Equatorial.

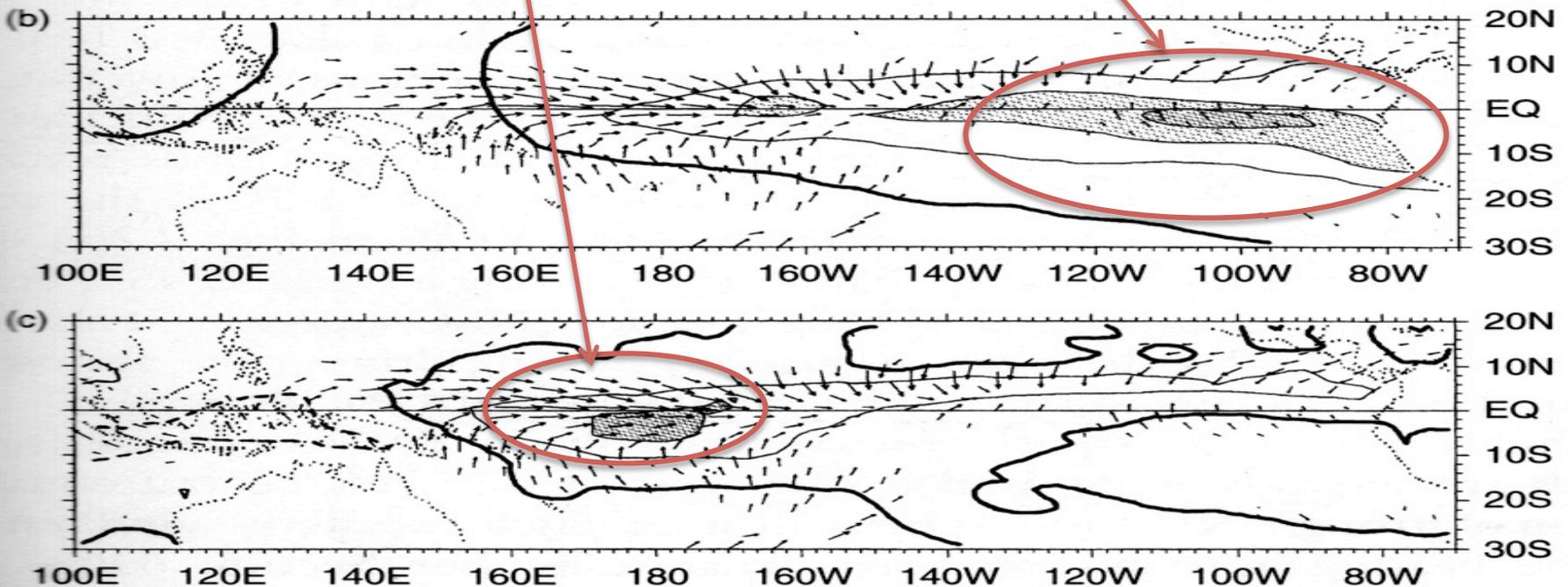


Porque deveria ser mais forte o aquecimento interanual na atmosfera nessa região Oeste/Central do Pacífico Equatorial?.

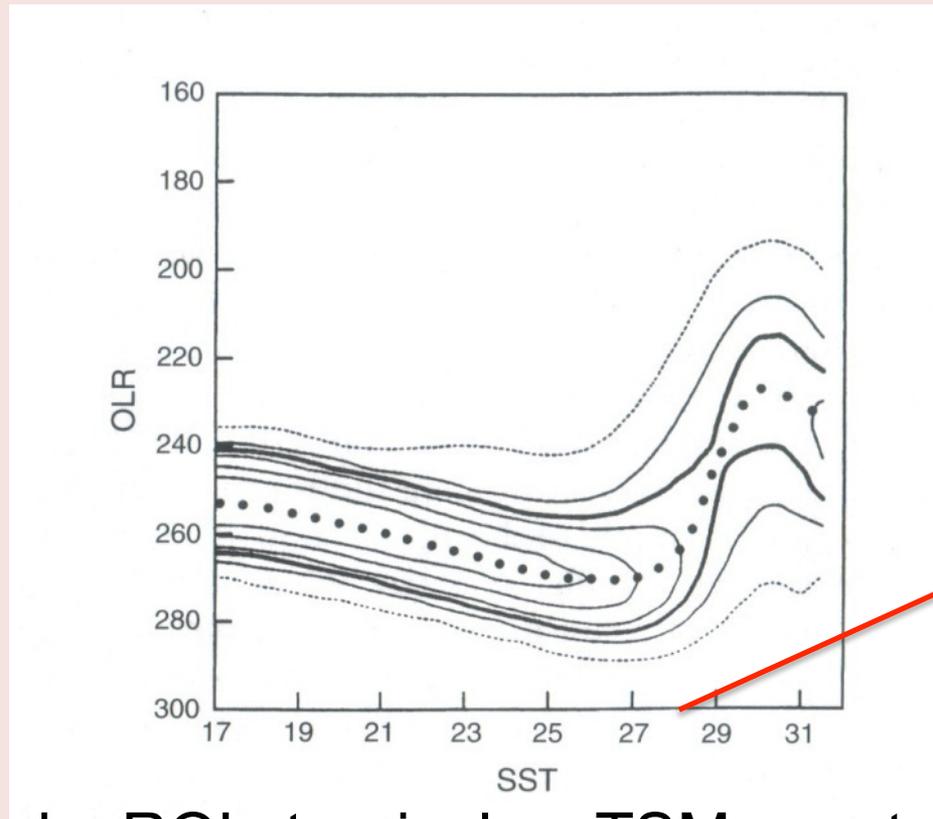
Uma possível linha de raciocínio seria que uma maior anomalia de TSM causaria um aquecimento anômalo do ar adjacente à superfície que se expandiria, tornando-se menos denso e mais leve que o ar ao redor, e conseqüentemente ascendente. O ar que sobe se esfria e o vapor de água contido nele se condensa e aquece o ar, com a liberação de calor latente. Este aquecimento causa mais expansão do ar, mais movimento ascendente, mais condensação, mais aquecimento atmosférico.

Se esta linha de raciocínio fosse correta, **esperaríamos o mais baixo valor de ROL sobre a região de máxima anomalia de TSM.**

Uma comparação das figs (b) e (c) mostra que a anomalia cobertura de nuvens (medida pela anomalia ROL) ocorre no Pacífico Equatorial Oeste/Central enquanto a anomalia máxima de TSM ocorre no Pacífico Equatorial Este, a milhares de quilômetros de distância.



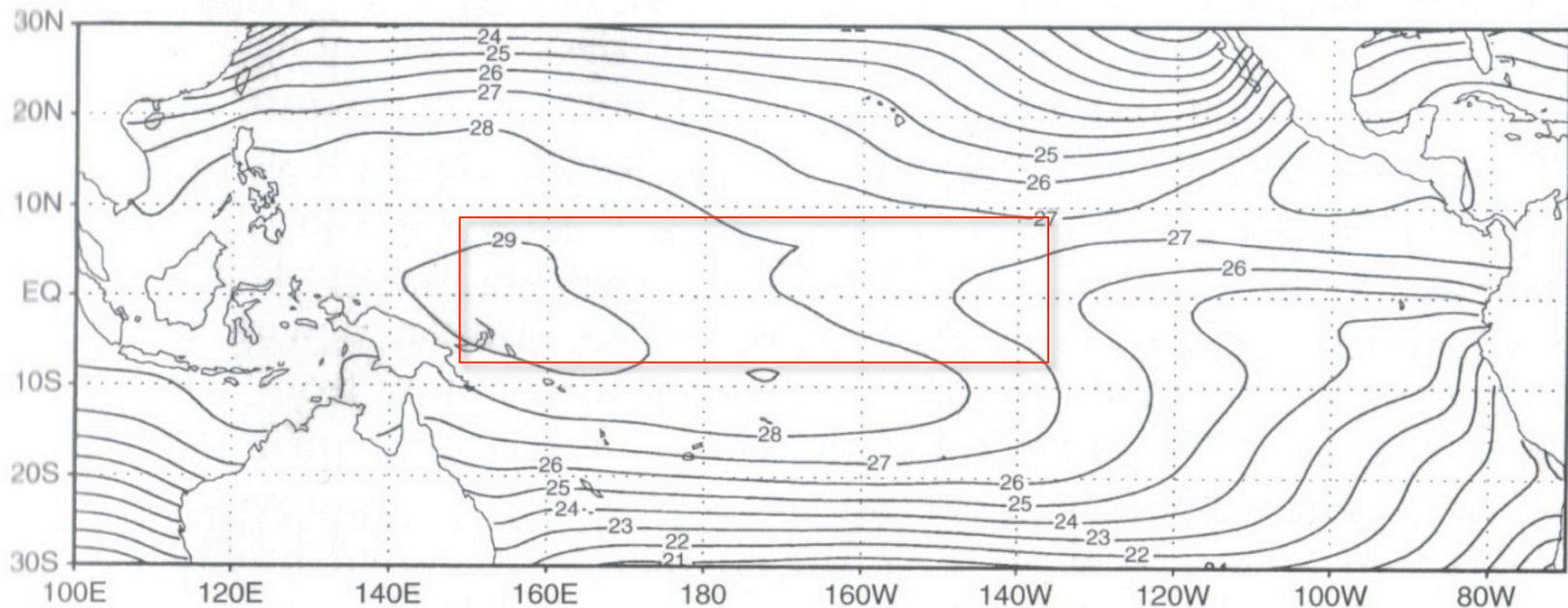
Obviamente, a anomalia de cobertura de nuvens e aquecimento atmosférico depende de algo mais que sómente anomalias de TSM.



Observações de ROL tropical e TSM mostram que baixos valores de ROL (correspondente ao incremento de cobertura de nuvens e precipitação) ***são mais prováveis que ocorram para TSM acima de 27.5 °C.***

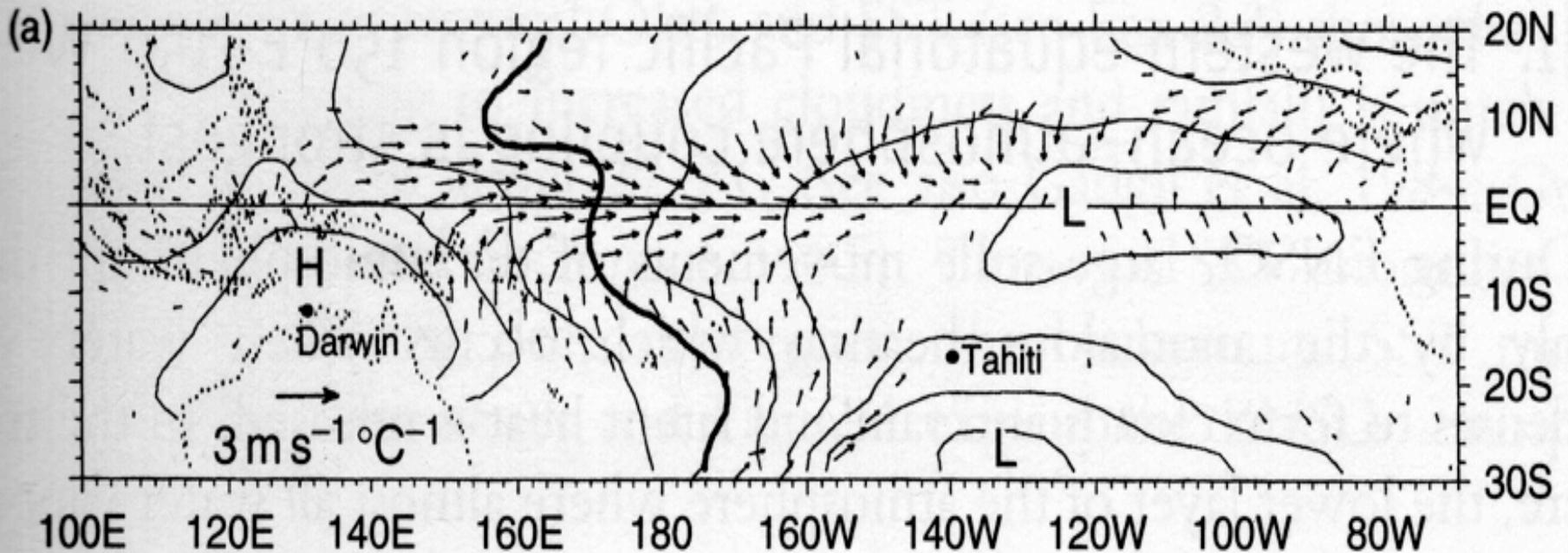
Para que as anomalias de TSM sejam efetivas em produzir convecção profunda, a TSM deve ser pelo menos 27.5°C . Este resultado e a fig abaixo explicam o padrão de anomalia de aquecimento atmosférico durante o ENSO.

Apesar das anomalias de TSM serem menores no P. Oeste/Central, elas ocorrem sobre $TSM >27.5^{\circ}\text{C}$, produzindo convecção anômala enquanto que maiores anomalias de TSM P Eq Leste ocorrem sobre água tão fria que não provoca aquecimento convectivo atmosférico profundo.



Quais as causas das anomalias equatoriais de TSM na região Pacífico Oeste/Central, (150° E y 150° W), onde o acoplamento ENSO entre atmosfera e o oceano é mais forte?

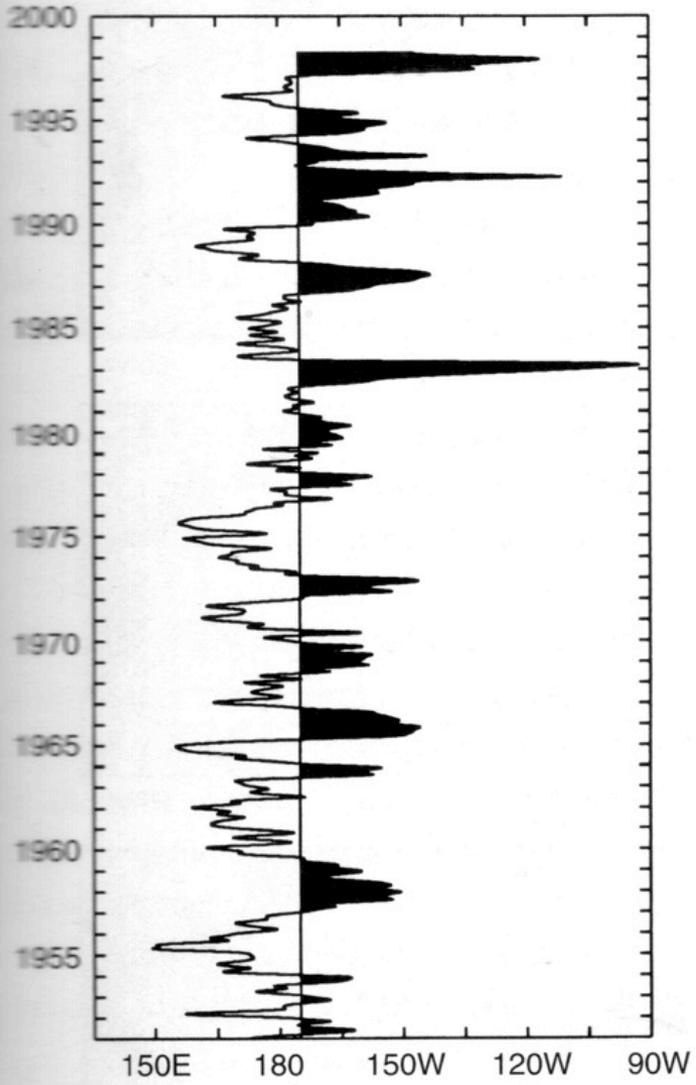
Análise de observações e modelos numéricos sugerem que a **advecção zonal da água por correntes oceânicas** contribuem substancialmente para as anomalias de TSM locais. Especificamente, suponhamos que uma partícula de água na superfície do mar perto do equador não ganha nem perde calor para o meio, mas é movida por uma corrente oceânica anômala para o Leste. Desde que, em média, a TSM decrece monotonicamente em direção ao Leste, nesta região, uma anomalia de TSM positiva resulta em uma anomalia convecção atmosférica profunda. Podemos pensar em este processo como uma **corrente anômala movendo água quente e convecção para o Leste.**



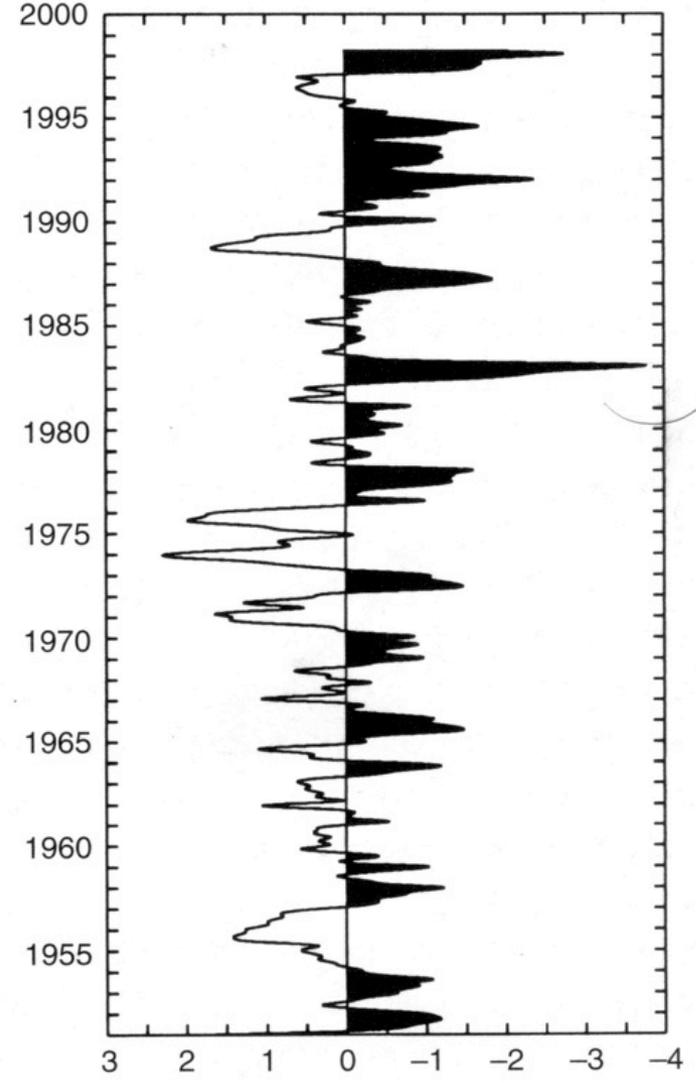
Porque o SOI deve ser correlacionado com o movimento zonal da piscina de agua quente?

Ao longo do equador os ventos sopram de zonas de alta para zonas de baixa pressão, para transferir massas de ar anômalas e equalizar a pressão.

Eastern edge of the 28.5°C SST

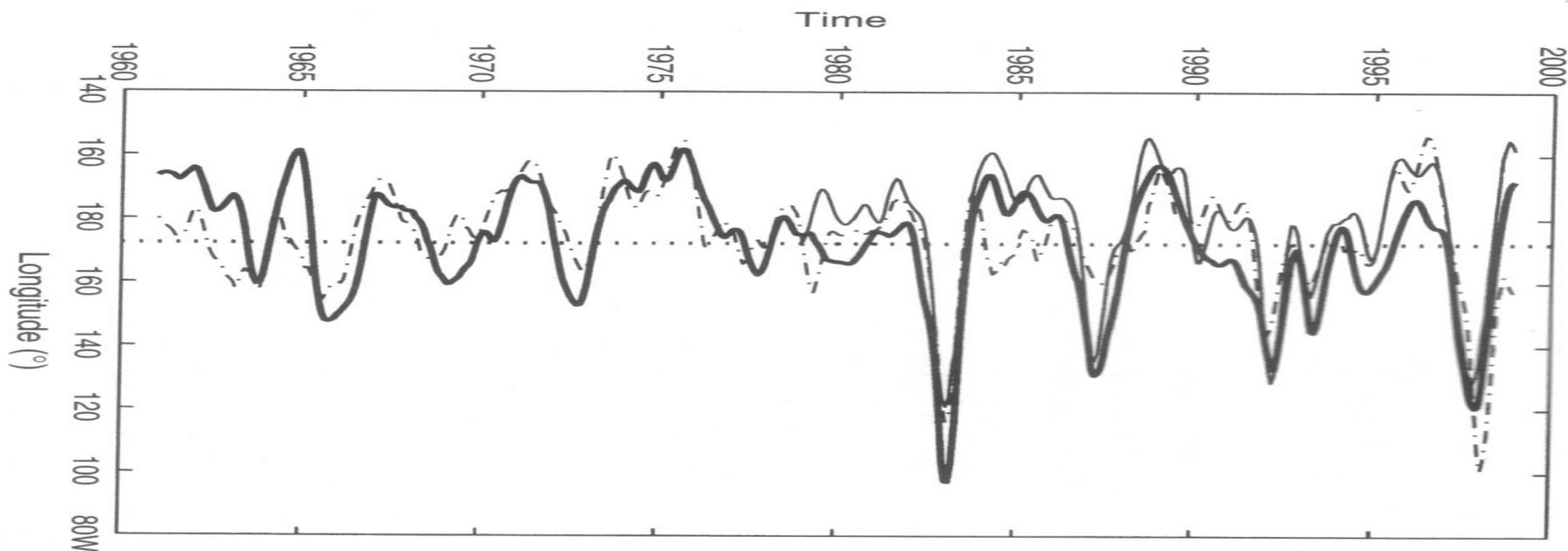


Southern oscillation index

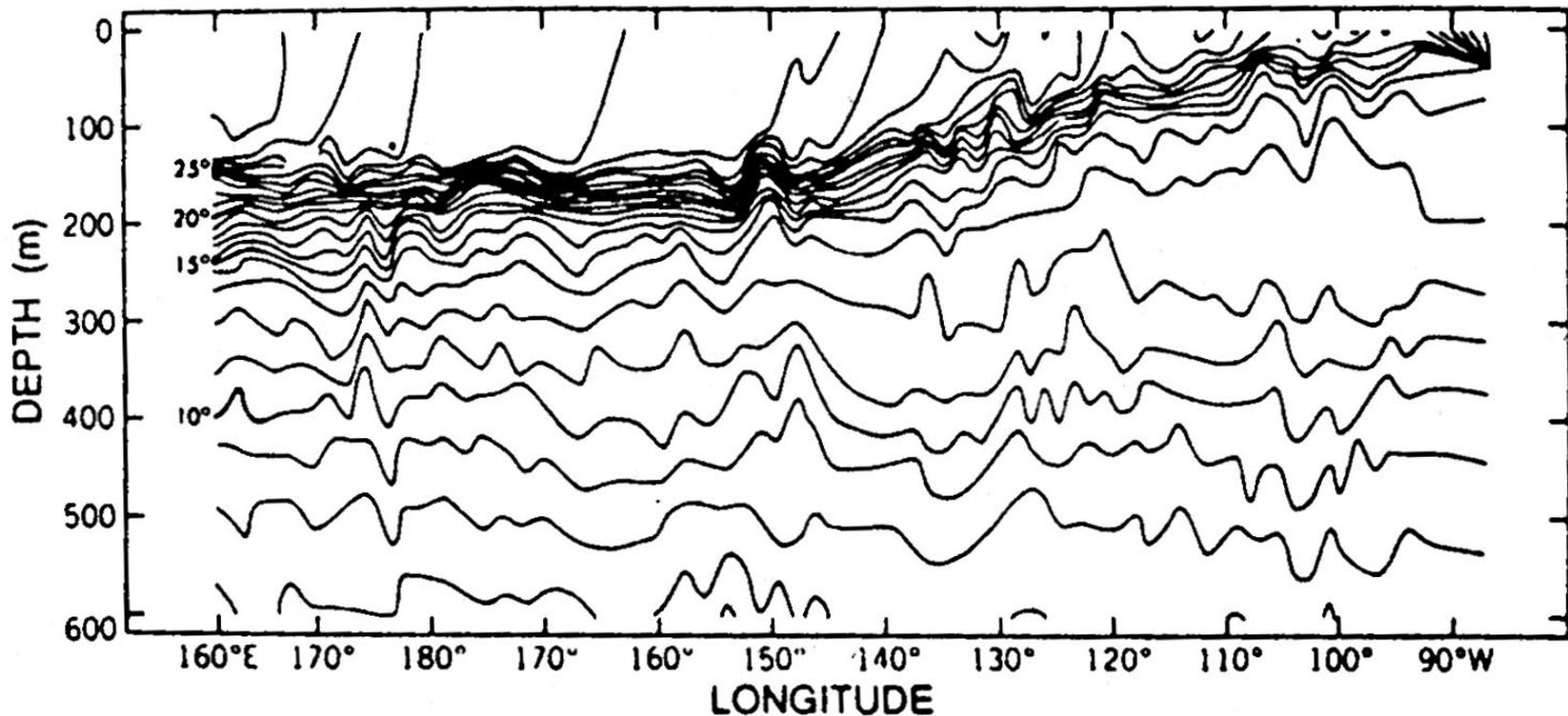


Durante um episódio ENSO quente, ventos equatoriais de superfície são de Oeste, de cerca 150°E até 150°W . Portanto, como mostrado na Fig (a) a pressão de superfície é alta no PEcO (Oeste de 150°E) e baixa no PEcE (Leste de 150°W). Todavia a pressão de superfície em Tahiti é indicativa da pressão de superfície equatorial a Leste de 150°W , e a pressão atmosférica em Darwin é indicativa da pressão equatorial Oeste de 150°E . ***Portanto, quando a piscina quente se move para Leste, a convecção atmosférica profunda também se move para Leste e ventos anômalos equatoriais de Oeste são induzidos juntamente com pressões altas anômalas em Darwin e baixas pressões anômalas em Tahiti.***

Portanto, o SOI sendo pressão anômala de superfície Tahiti menos a de Darwin, é ***negativa***.



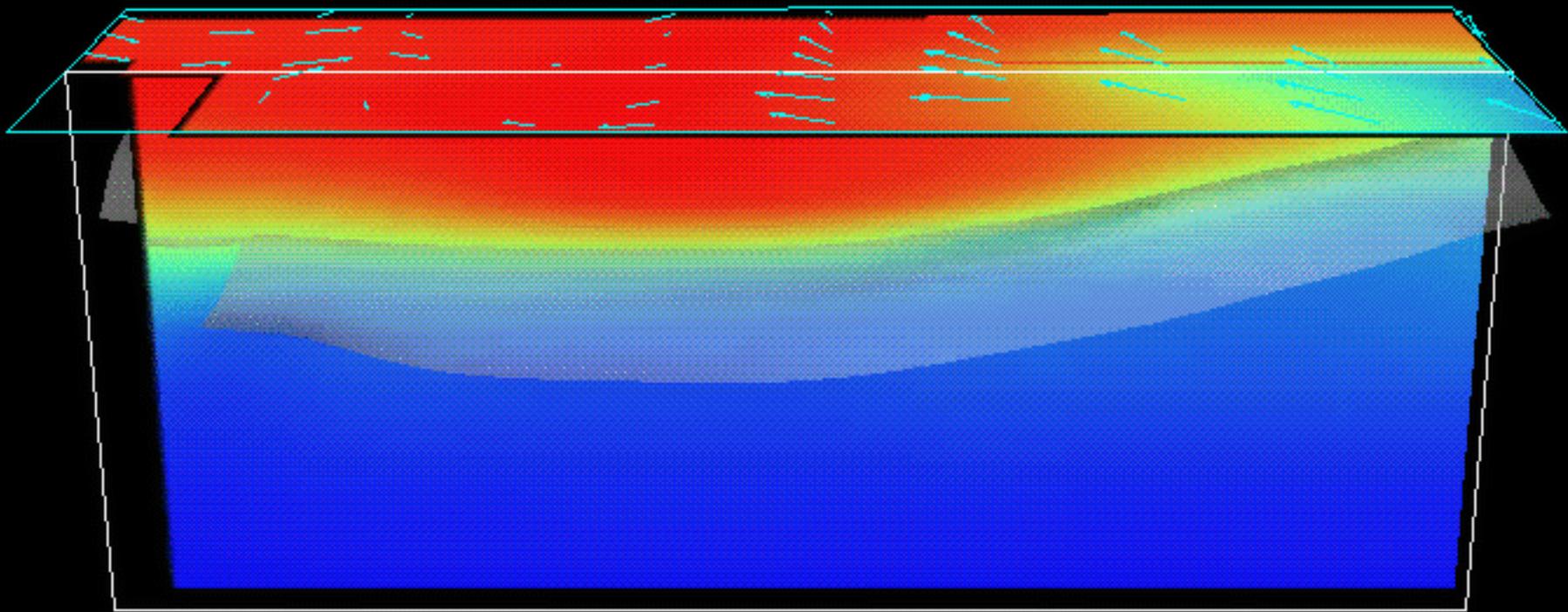
A Fig mostra que o deslocamento zonal equatorial da borda Este da piscina quente do PO - 28.5C (linha sólida); o deslocamento zonal da isotaca -4 m/s de vento de oeste (linha traço-ponto); e o deslocamento zonal da isolinha de OLR equatorial de 240 W/m² (linha fraca), estão correlacionados.



Esta é uma secção de temperatura ao longo do equador através do Oceano Pacífico. Podemos notar uma zona de fortes mudanças de temperatura entre 50 e 180 m. É a denominada termoclina. Notamos também que podemos imaginar o oceano tropical como um oceano de duas capas sobrepostas.

Algumas animações

TAO / TRITON Winds, SST, Currents,
20C Isotherm and EQ Temps
October 2002 El Nino

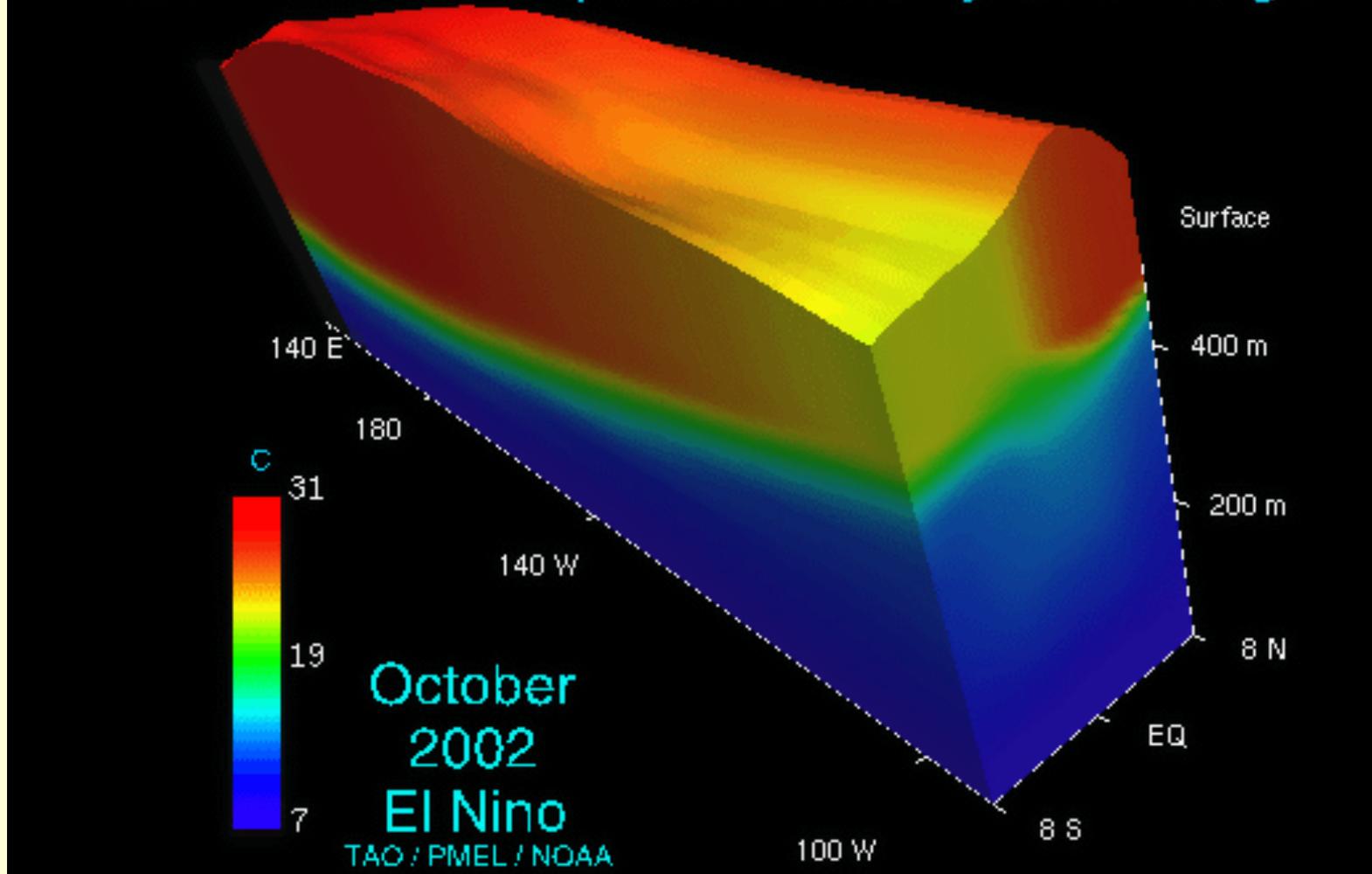


TAO / PMEL / NOAA

Vis5D

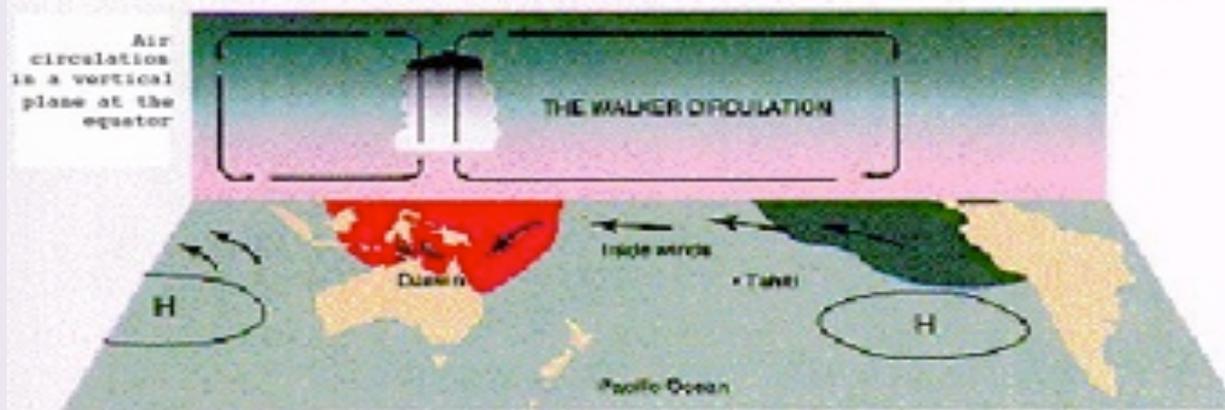
Outubro de 1998 (La Niña) a Outubro de 2002 (El Niño).

TAO / TRITON Temperature and Dynamic Height

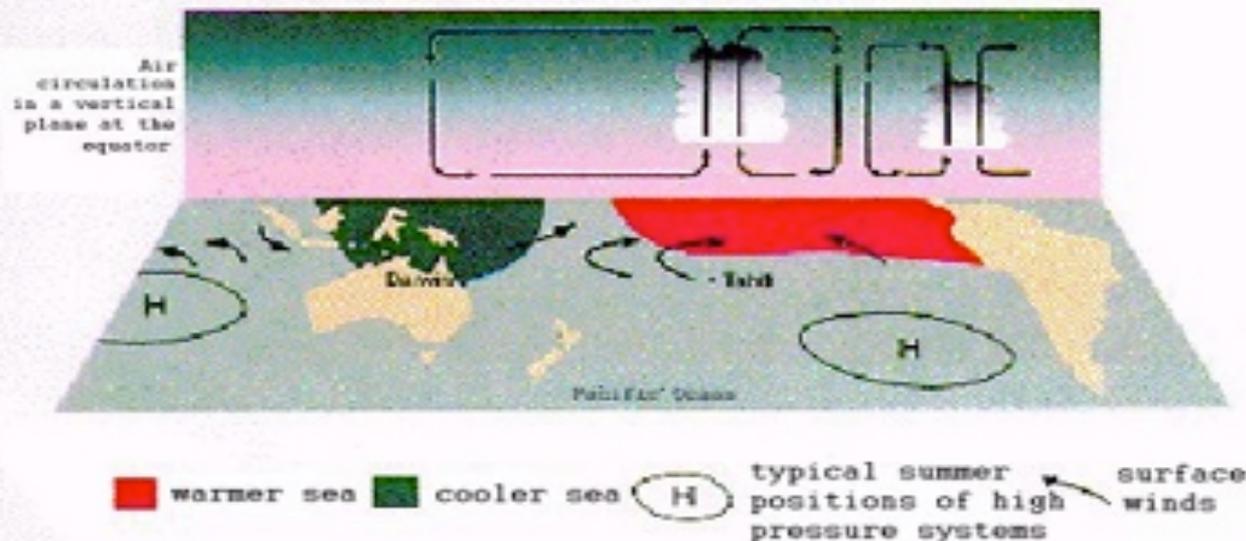


Outubro de 1998 (La Niña) a Outubro de 2002 (El Niño).

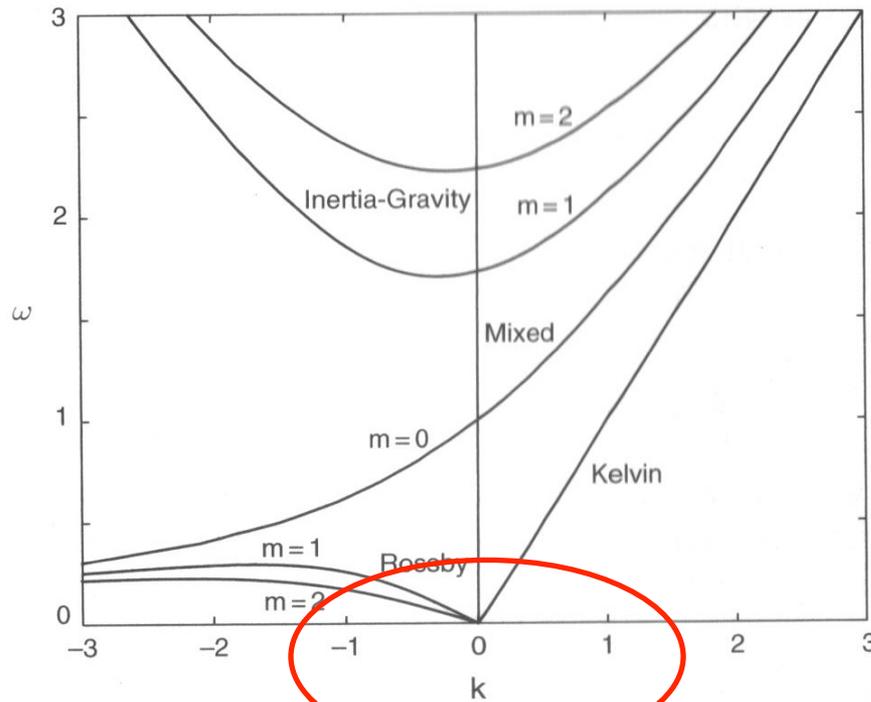
Typical Walker circulation pattern



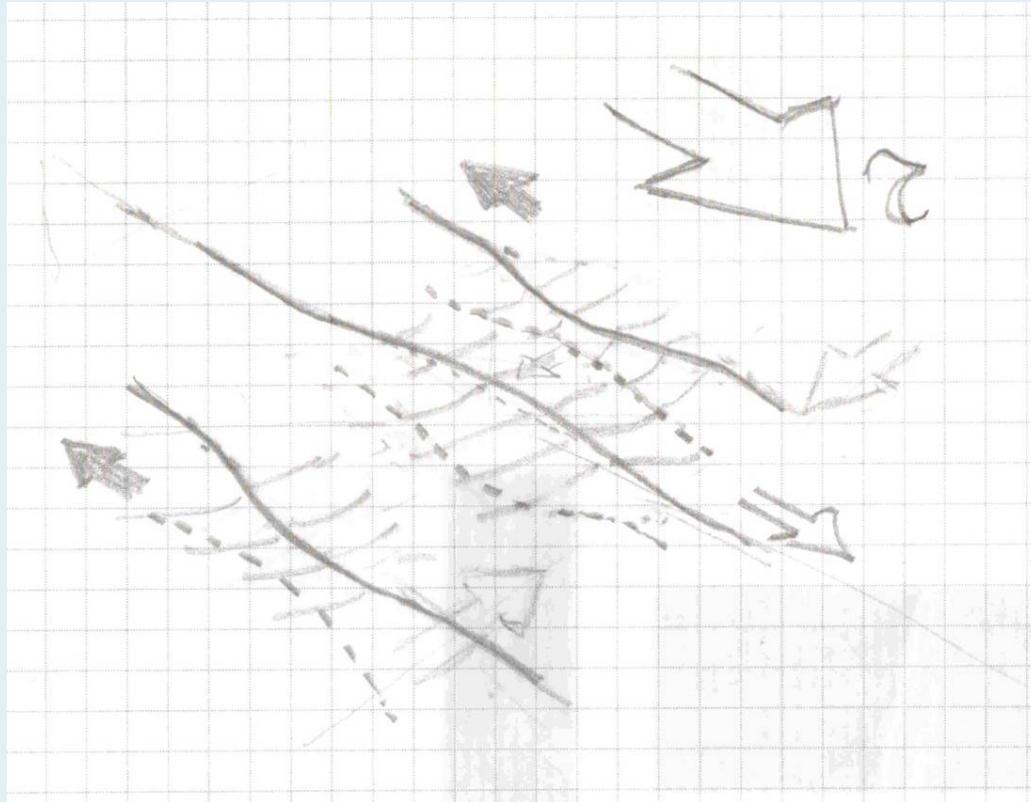
Walker circulation during an El Nino



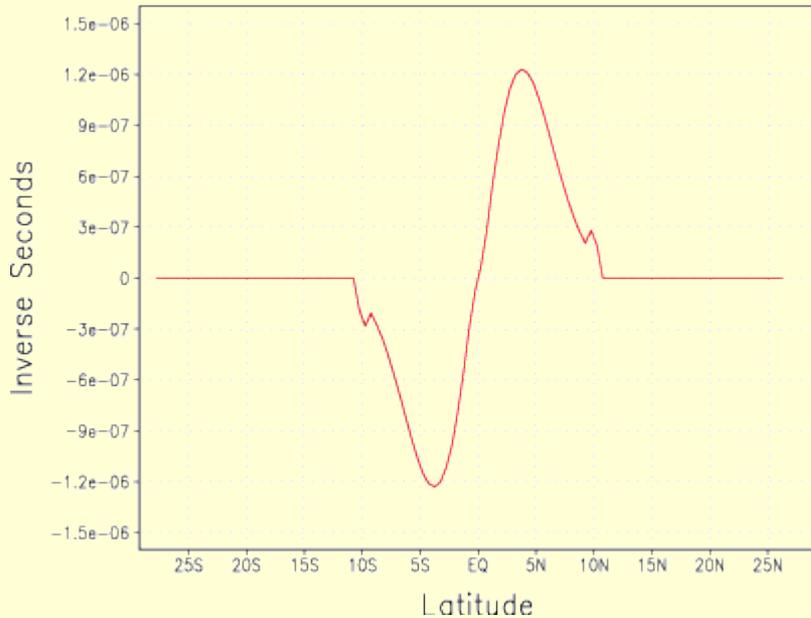
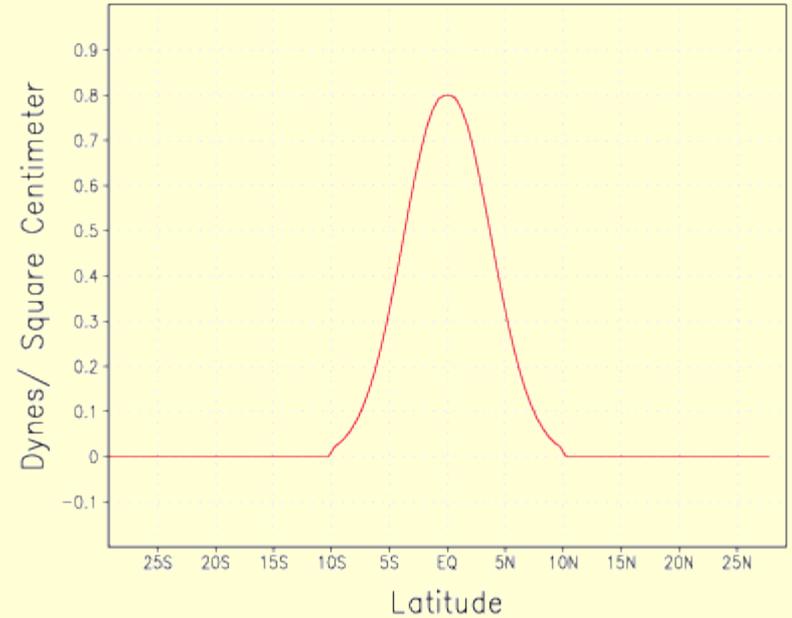
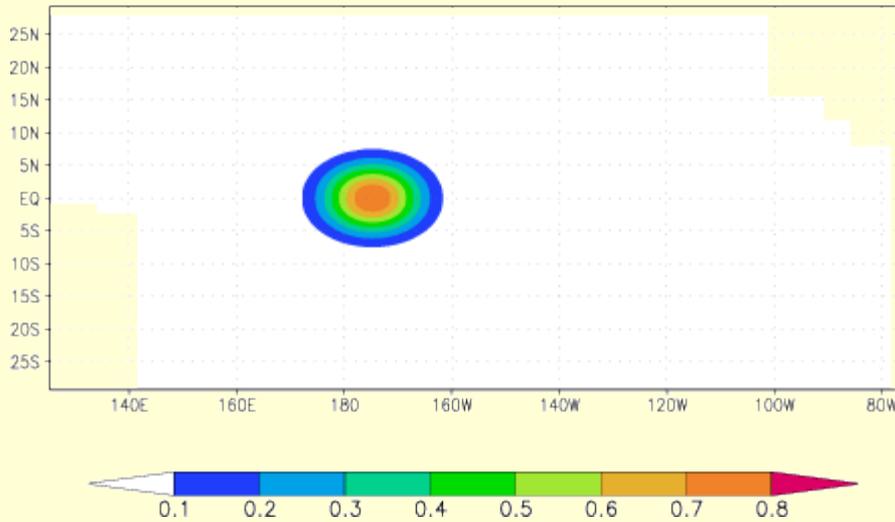
As ondas equatoriais



Vamos nos concentrar em ondas equatoriais de baixa frequência. Para o primeiro modo baroclínico ($c=2.7 \text{ ms}^{-1}$) a frequência é muito baixa ($\omega \approx 0$, períodos longos) e o diagrama de dispersão mostra que somente são possíveis ondas de Kelvin equatoriais muito longas ($k \approx 0$), e ondas de Rossby também muito longas.



Ondas de Kelvin de subsidencia e Rossby de afloramento ou resurgencia



Imaginemos um vento forçante para o Leste com distribuição Gaussiana com a máxima amplitude no equador. O vento é ligado instantaneamente e mantido durante 30 días.

Um vento para Leste produz um transporte de massa na direcção do equador em ambos hemisferios, incrementando localmente a profundidade da capa quente, e decrescendo localmente em direcção aos polos em ambos hemisferios. O excesso de massa perto do equador começa a se dispersar para o Leste como uma onda de Kelvin subsidente, enquanto as áreas de déficit de massa se deslocam para o Oeste como ondas de Rossby de resurgencia (afloramento).

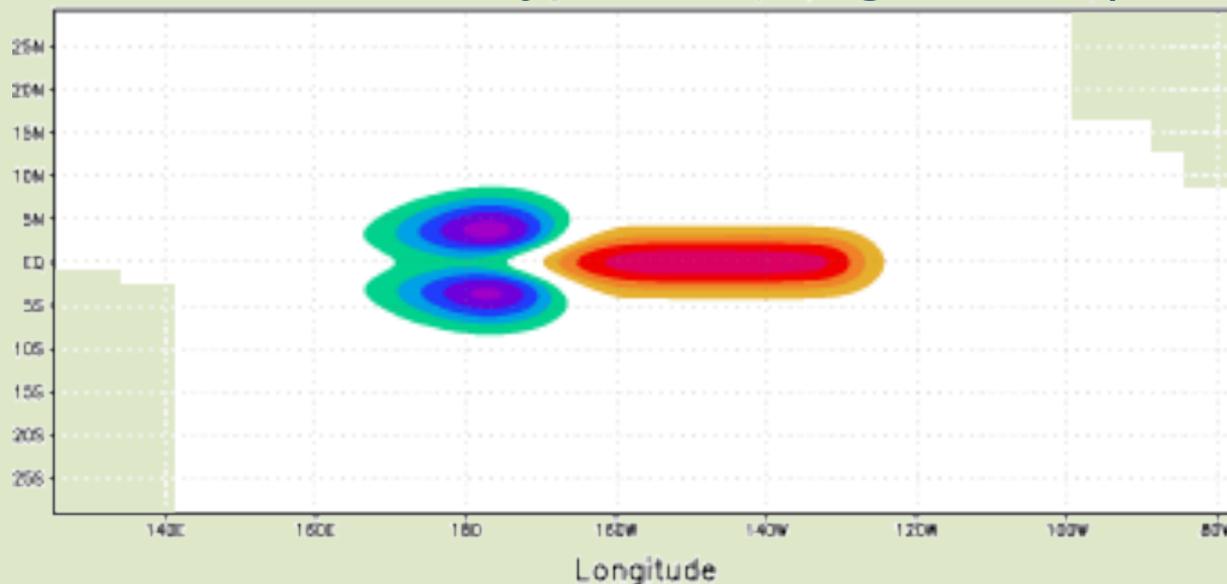
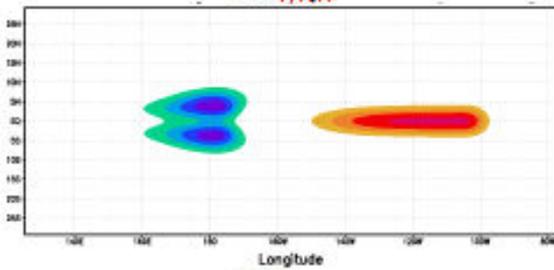
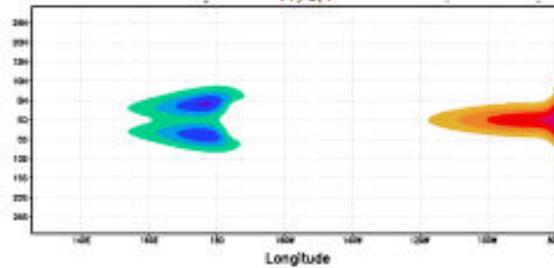


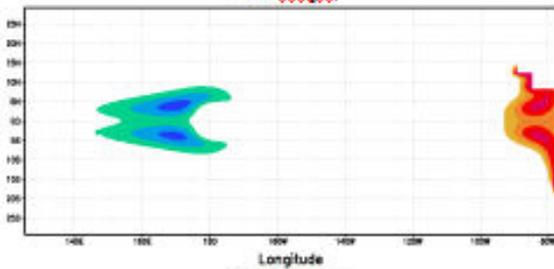
Figure 6
25 days



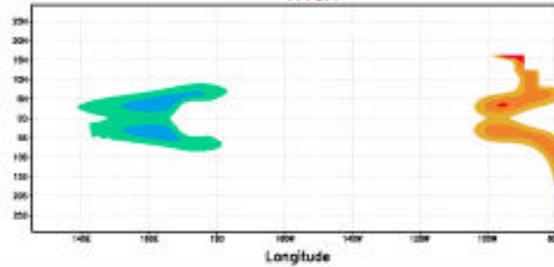
50 days



75 days



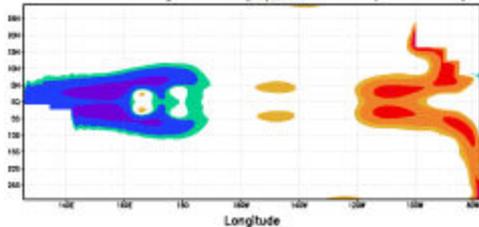
100 days



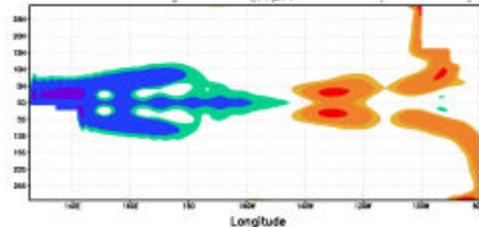
As ondas equatoriais geradas e suas reflexões tem grande influência no fenômeno.

O Oceano Pacífico se estende aproximadamente desde 120°E ao 080°W (17,760 Km de distância); as ondas de Kelvin se propagam para Leste a 2.9 m/s, levando 70 dias para cobrir esta distância, enquanto o modo Rossby se propaga para Oeste a 1/3 dessa velocidade (0.93 m/s) levando 210 dias para cruzar o Pacífico.

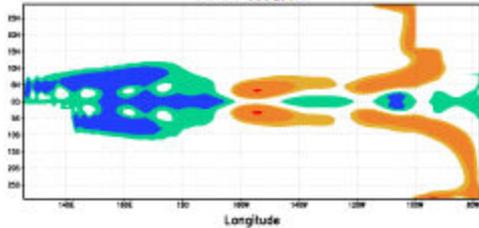
Figure 7
125 days



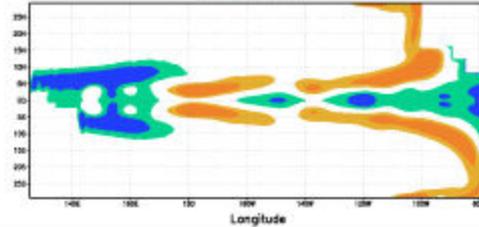
175 days



225 days



275 days



As ondas de Kelvin incidentes sobre uma fronteira Leste são aprisionadas pela fronteira e para fixo $\omega < 1 - (1/\sqrt{2})$ um número finito de ondas equatoriais de Rossby se reflexam e o resto de energia vai em ondas de Kelvin costeiras que se propagam em direção aos polos.

As ondas de Kelvin de subsidencia se reflexam como ondas de Rossby de resurgencia e as ondas de Rossby de resurgencia se reflexam como ondas de Kelvin de subsidencia.

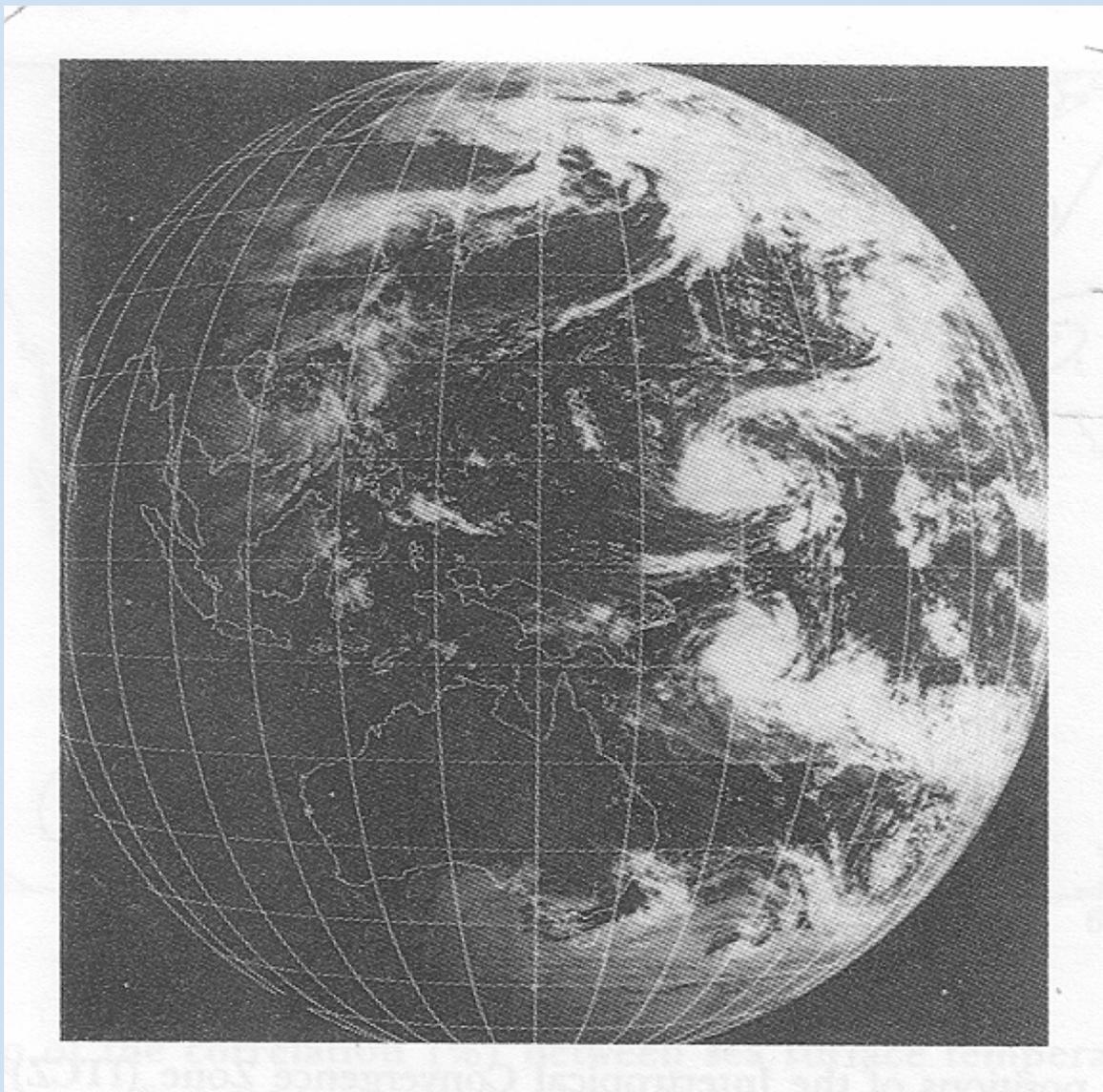
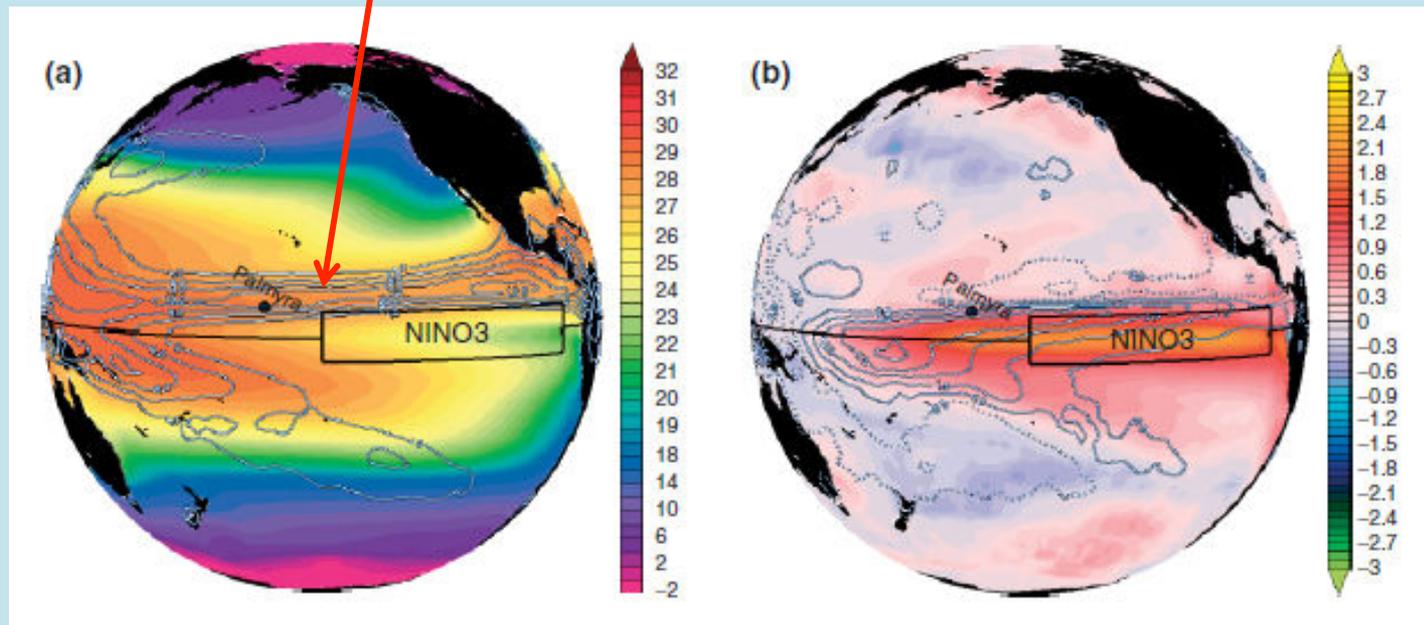
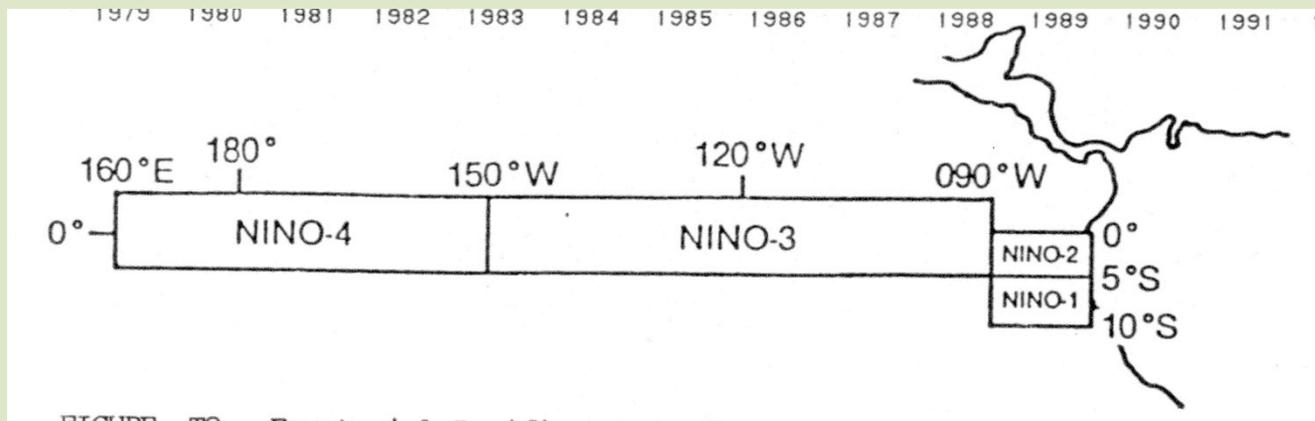


Figura 7. Cobertura de nubes e el Pacifico Oeste observado de satélite en 18/05/86, indicando un par de ciclones tropicales en formación cerca de 160° E. Note los vientos de Oeste en el ecuador entre los dos centros de la rotación ciclónica.

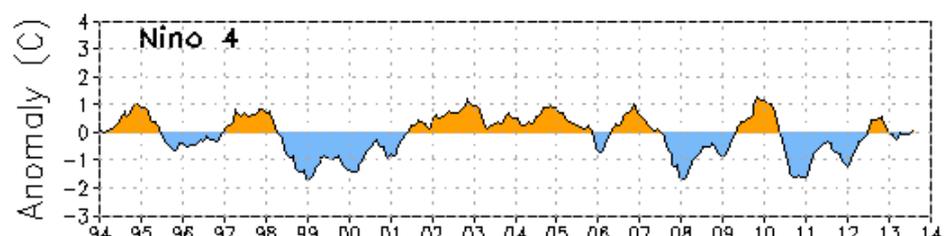
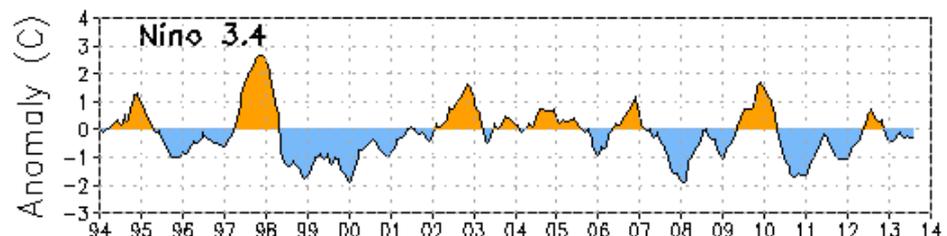
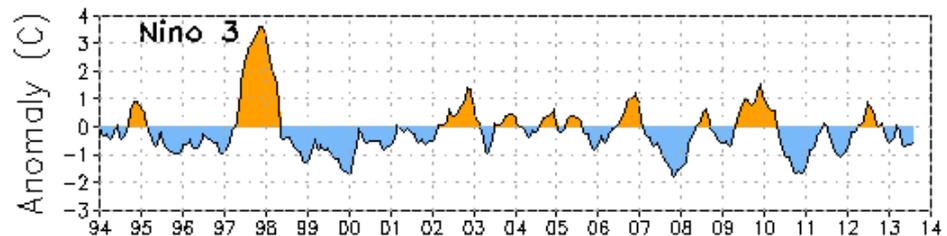
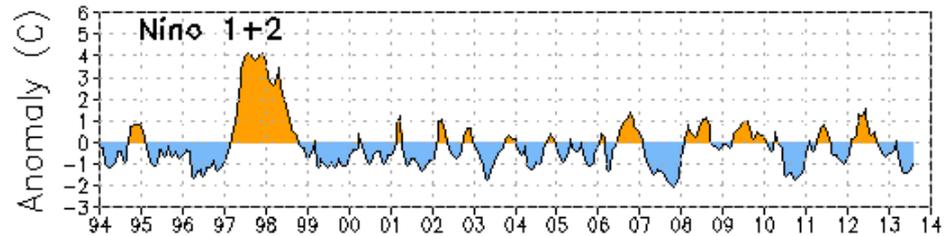
Como a NOAA selecionou as regiões que melhor definiriam a ocorrência do El Niño / La Niña ?





A região equatorial, foi dividida em franjas de 10° de latitude por 50° de longitude (Niño 4), 10° por 60° de longitude (Niño 3). E Niño 1 e 2 de 5° e 10° de latitude Sul, até a costa oeste da América do Sul.

El Niño ocorre quando a média corrente de 5 meses da anomalia da TSM na região Niño 3,4 ($5^\circ N - 5^\circ S$, $120^\circ - 170^\circ W$) excede $0.4^\circ C$ por 6 meses consecutivos ou mais.

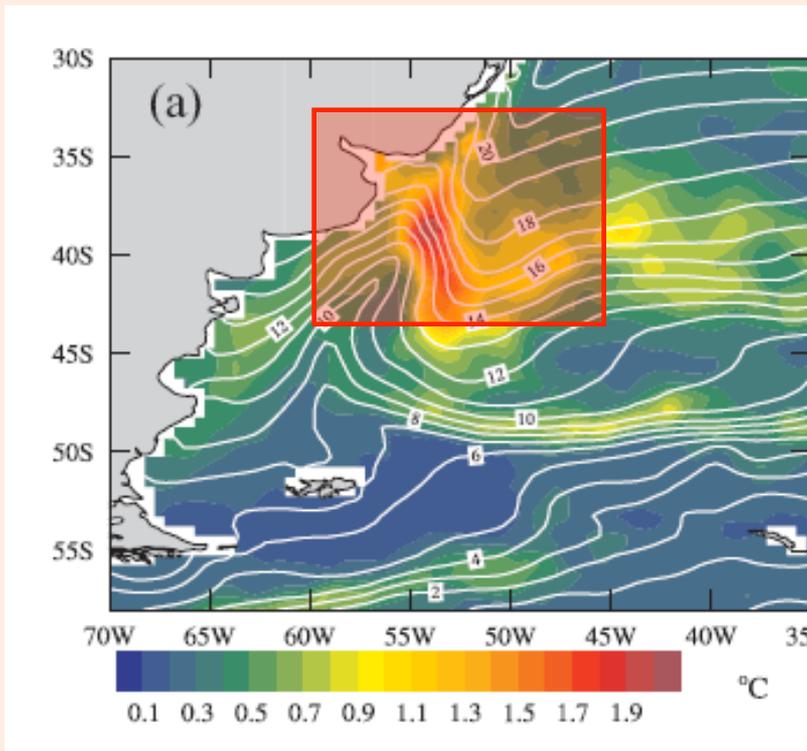


Data updated through August 2013

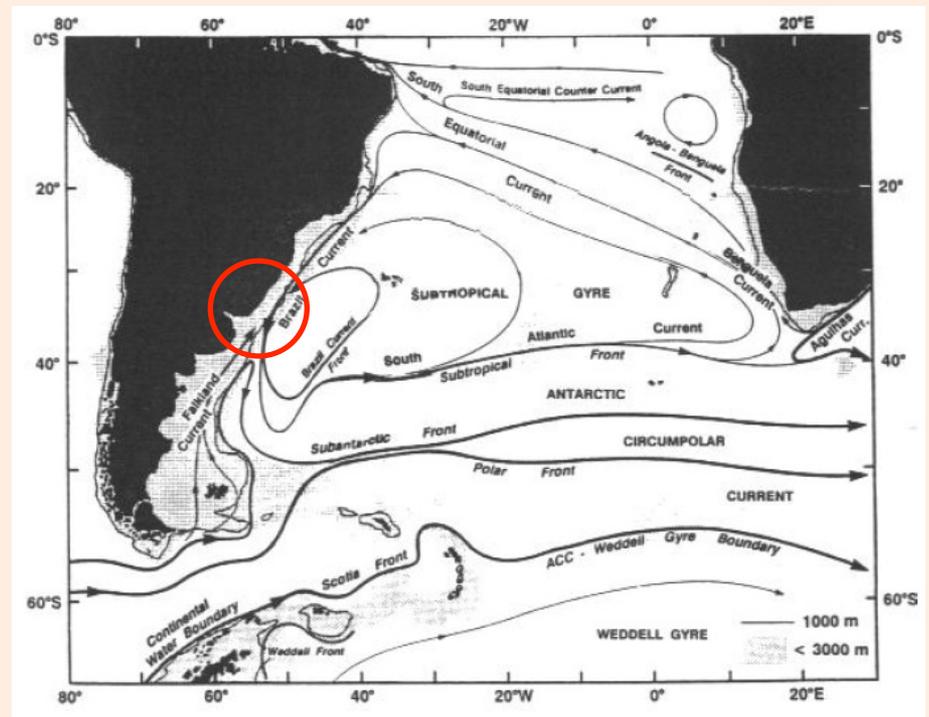
**Experimentos numéricos
realizados no COPPE,
Universidade Federal do Rio
de Janeiro e CIIFEN.**

- **Objetivo:**
 - **Avaliar, via simulação numérica, a influência das anomalias positivas da TSM do Oceano Atlântico Sul extra tropical e do Oceano Pacífico Equatorial nos padrões de circulação na América do Sul.**

- Atlântico Sul Extratropical – Confluência Brasil-Malvinas



Fonte: Tokinaga et al. (2005)

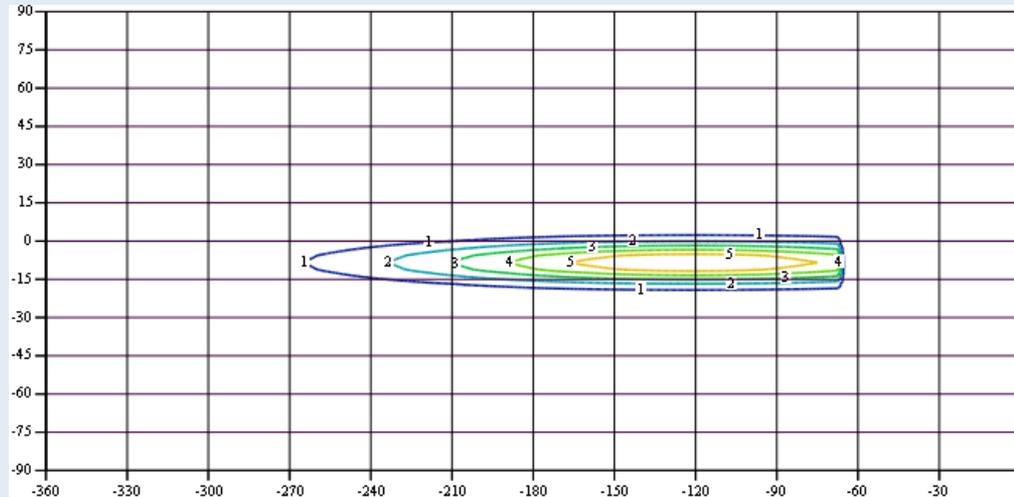


Fonte: Peterson e Stramma, 1991

- **Experimento 2: El Niño 1982-83 considerando só as anomalias positivas na TSM do Pacífico Equatorial;**
- **Experimento 4: El Niño 1982-83 considerando as anomalias positivas na TSM do Pacífico Equatorial e as anomalias positivas na TSM da região da CBM;**

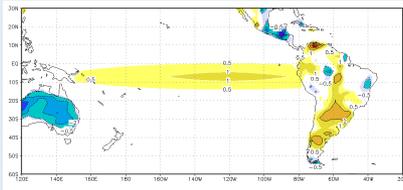
Resultados Experimento 2 – Anomalia da TSM

Distribuição máxima espacial das funções Gaussianas no espaço (°C) – Experimento 2.

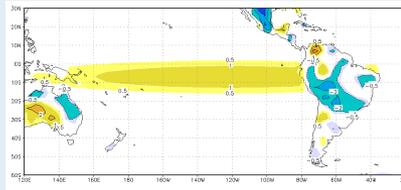


Distribuição do peso das funções Gaussianas no tempo.

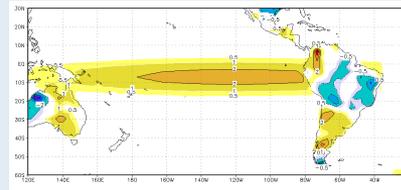




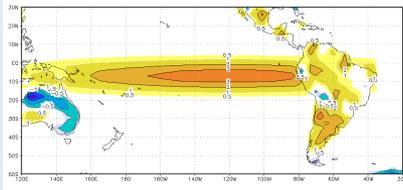
maio do ano (0)



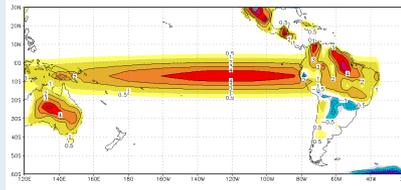
junho do ano (0)



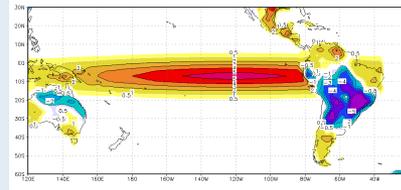
julho do ano (0)



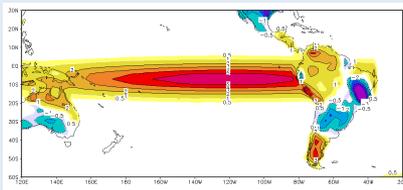
agosto do ano (0)



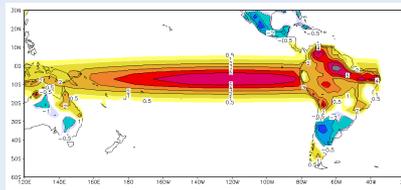
setembro do ano (0)



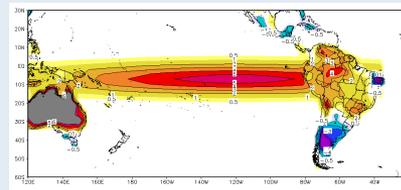
outubro do ano (0)



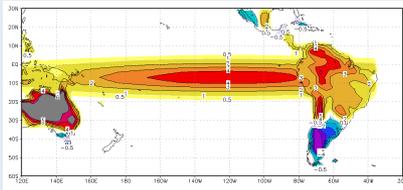
novembro do ano (0)



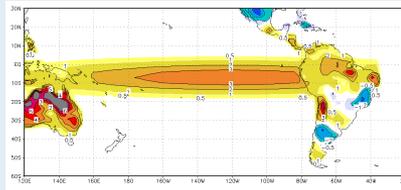
dezembro do ano (0)



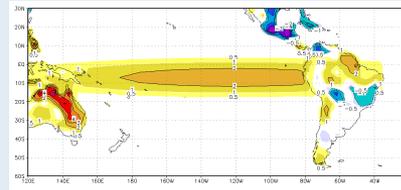
janeiro do ano (1)



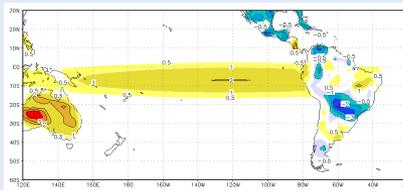
fevereiro do ano (1)



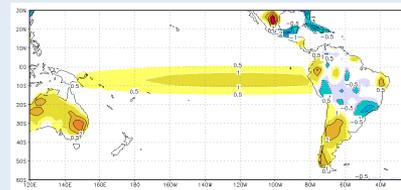
março do ano (1)



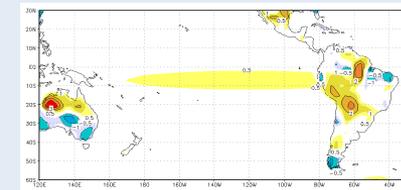
abril do ano (1)



maio do ano (1)



junho do ano (1)

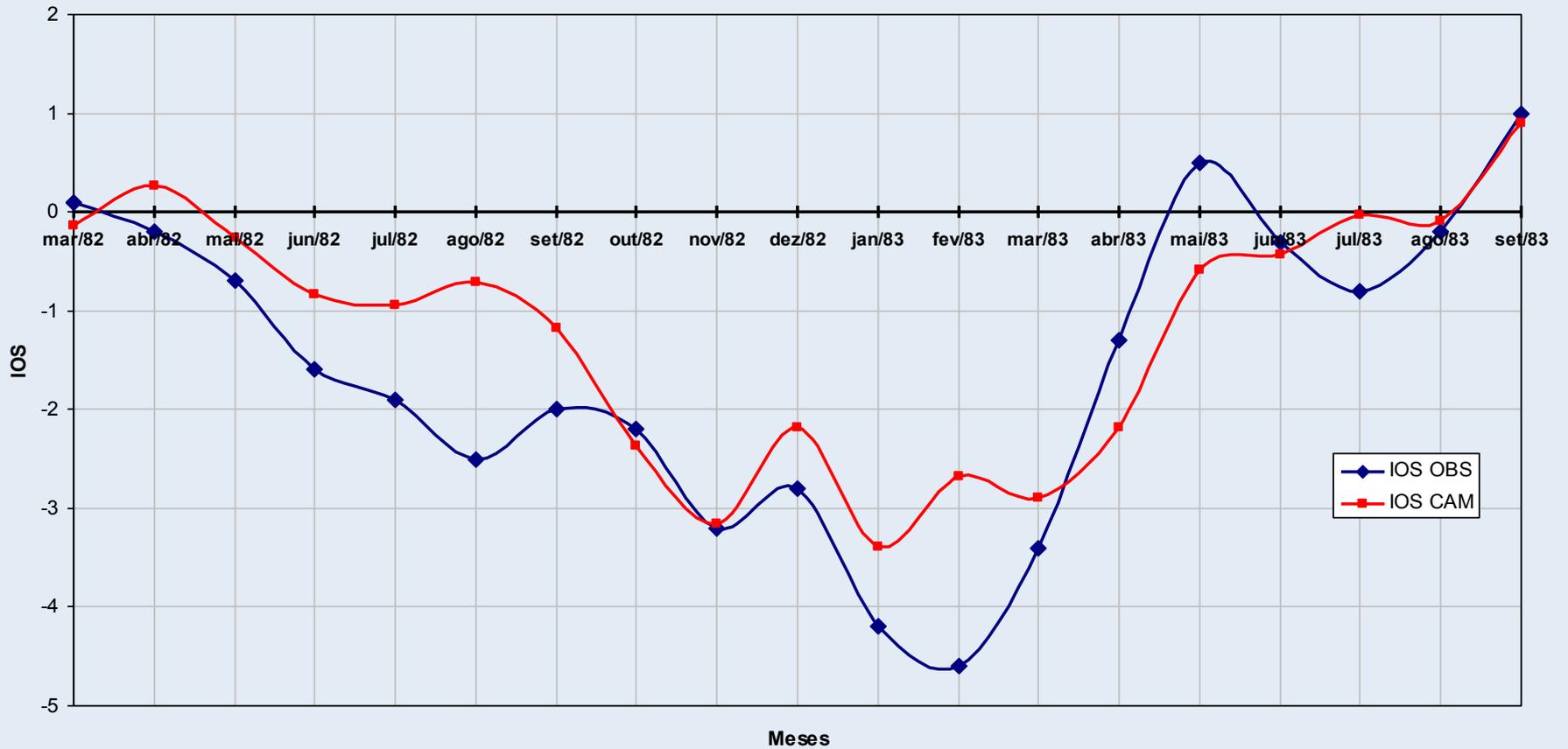


julho do ano (1)

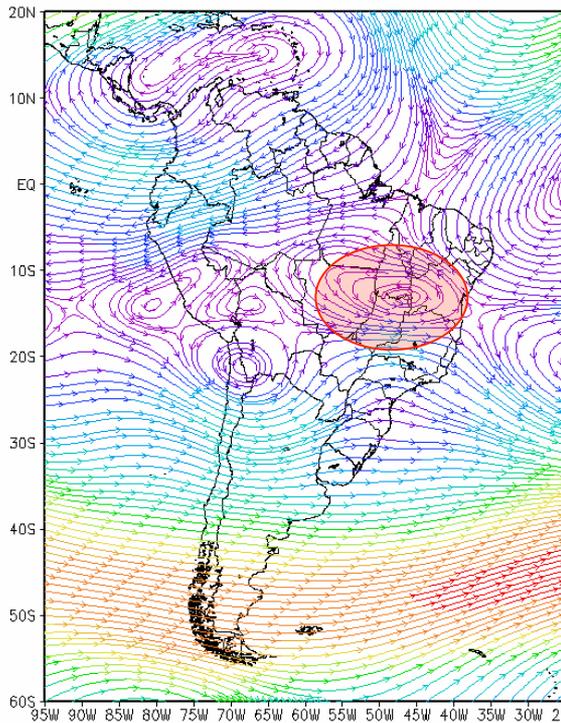


Resultados Experimento 2 - IOS

Índice de Oscilação Sul Standardizado

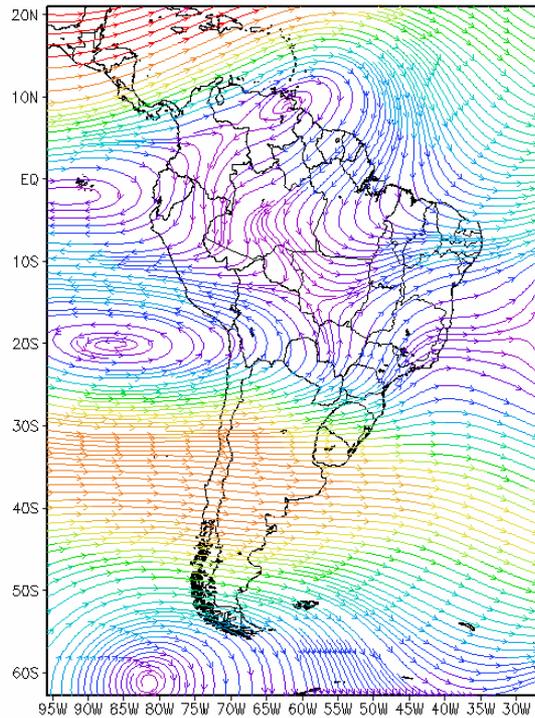


Resultados Experimentos 2 e 4 - Vento em 500 hPa em janeiro do ano 1



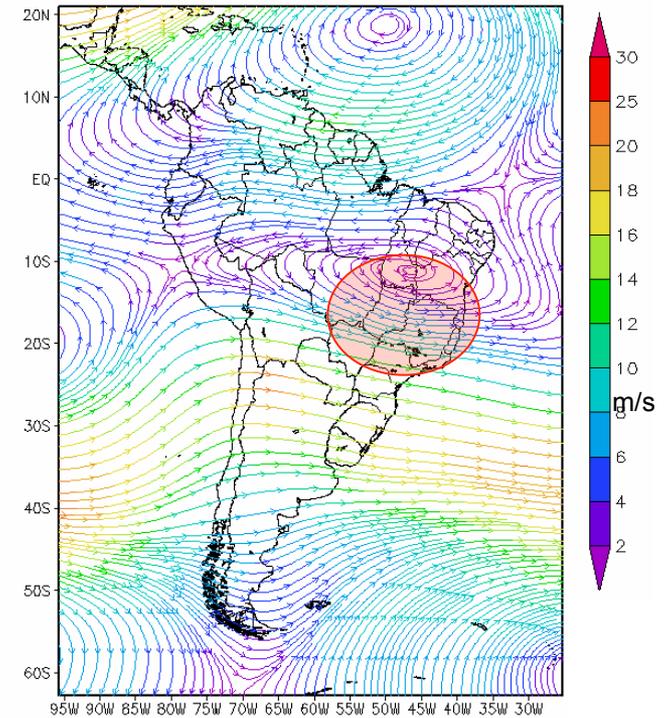
(a)

Reanálise NCEP



(b)

Experimento 2

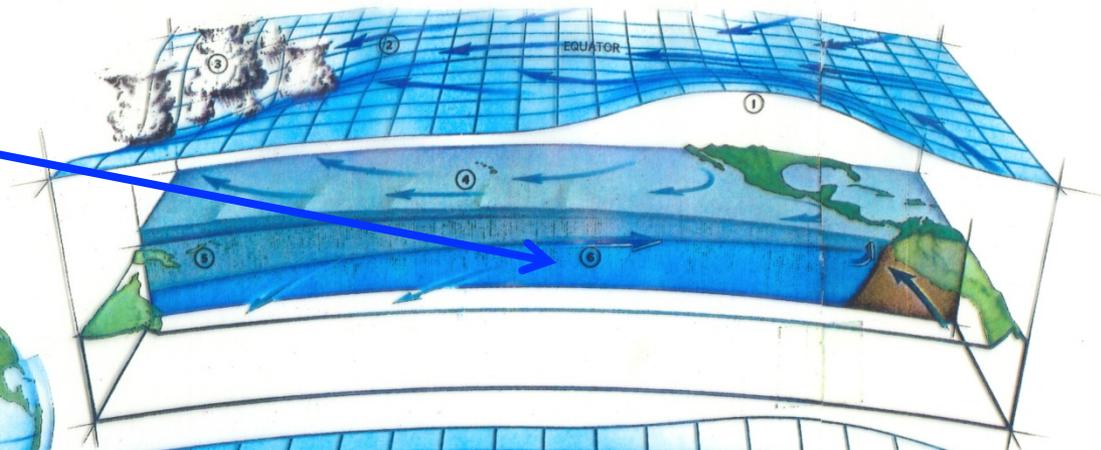


(c)

Experimento 4

**Uma maneira pictórica de
mostrar o fenômeno.**

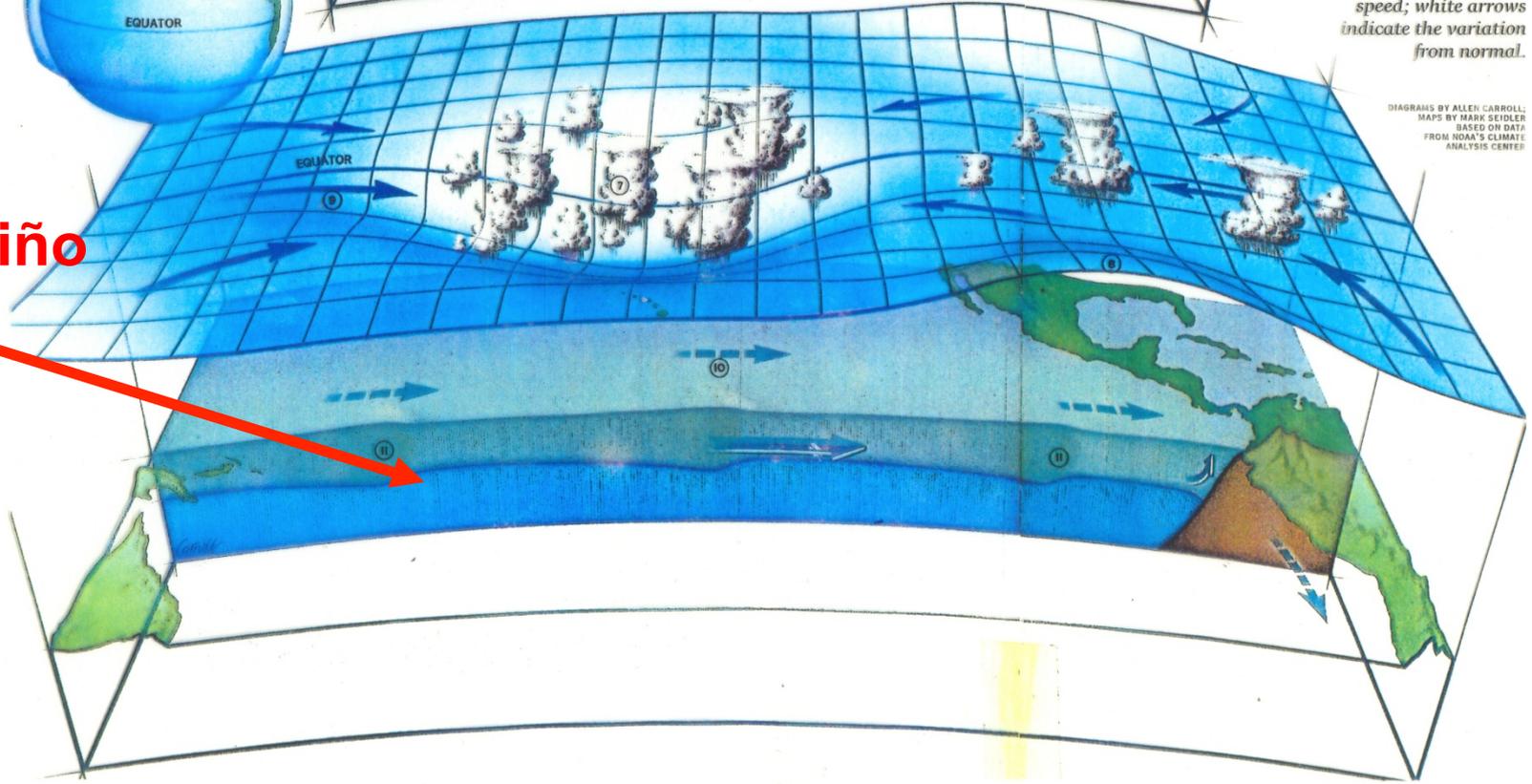
La Niña



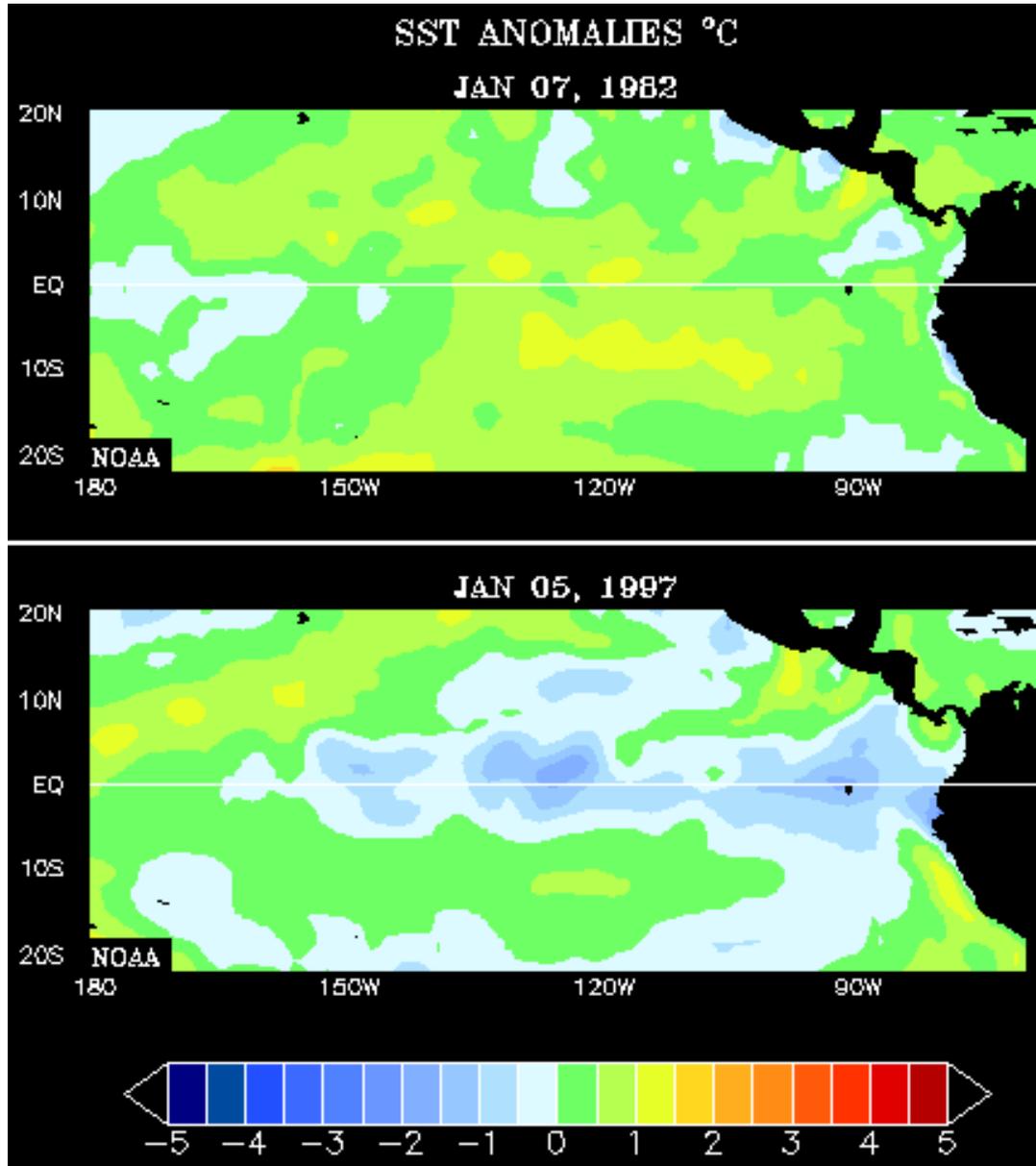
El Niño's footprint on the ocean shows up as a rapid warming of the sea surface that culminated in December 1982 in a tongue of warm water stretching 8,000 miles along the Equator (shades of blue, from dark to light, identify temperatures 1°, 2°, 3°, and more than 4°C above normal). Darkest blue perimeters enclose areas of heavy rain. Black arrows show wind direction and speed; white arrows indicate the variation from normal.

DIAGRAMS BY ALLEN CARROLL;
MAPS BY MARK SEIDLER
BASED ON DATA
FROM NOAA'S CLIMATE
ANALYSIS CENTER

El Niño



Los dos eventos El Niño más fuertes

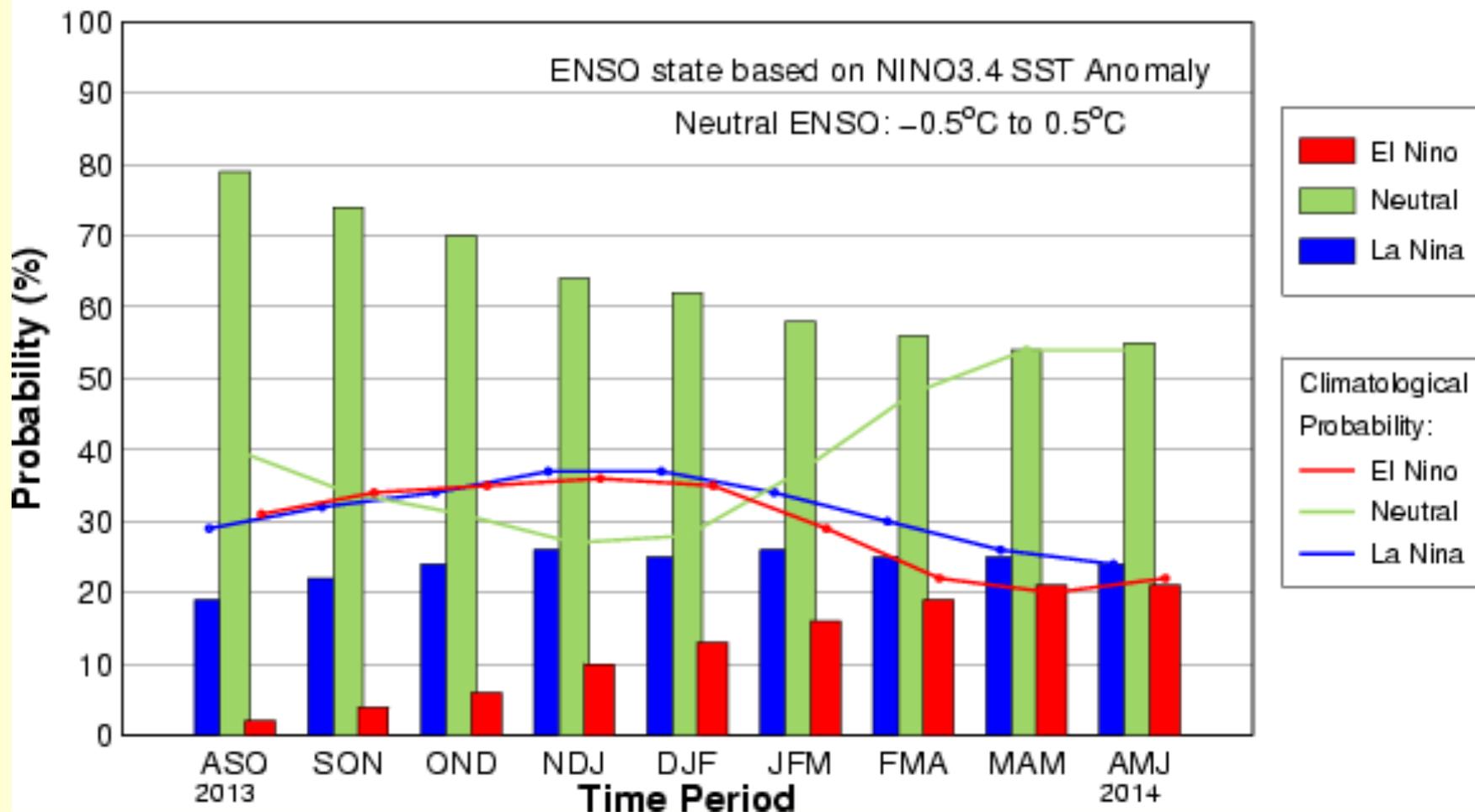


1982 - 1983

1997 - 1998

**Que esperar para os
próximos meses?**

Early-Sep CPC/IRI Consensus Probabilistic ENSO Forecast



Mid-Aug 2013 Plume of Model ENSO Predictions

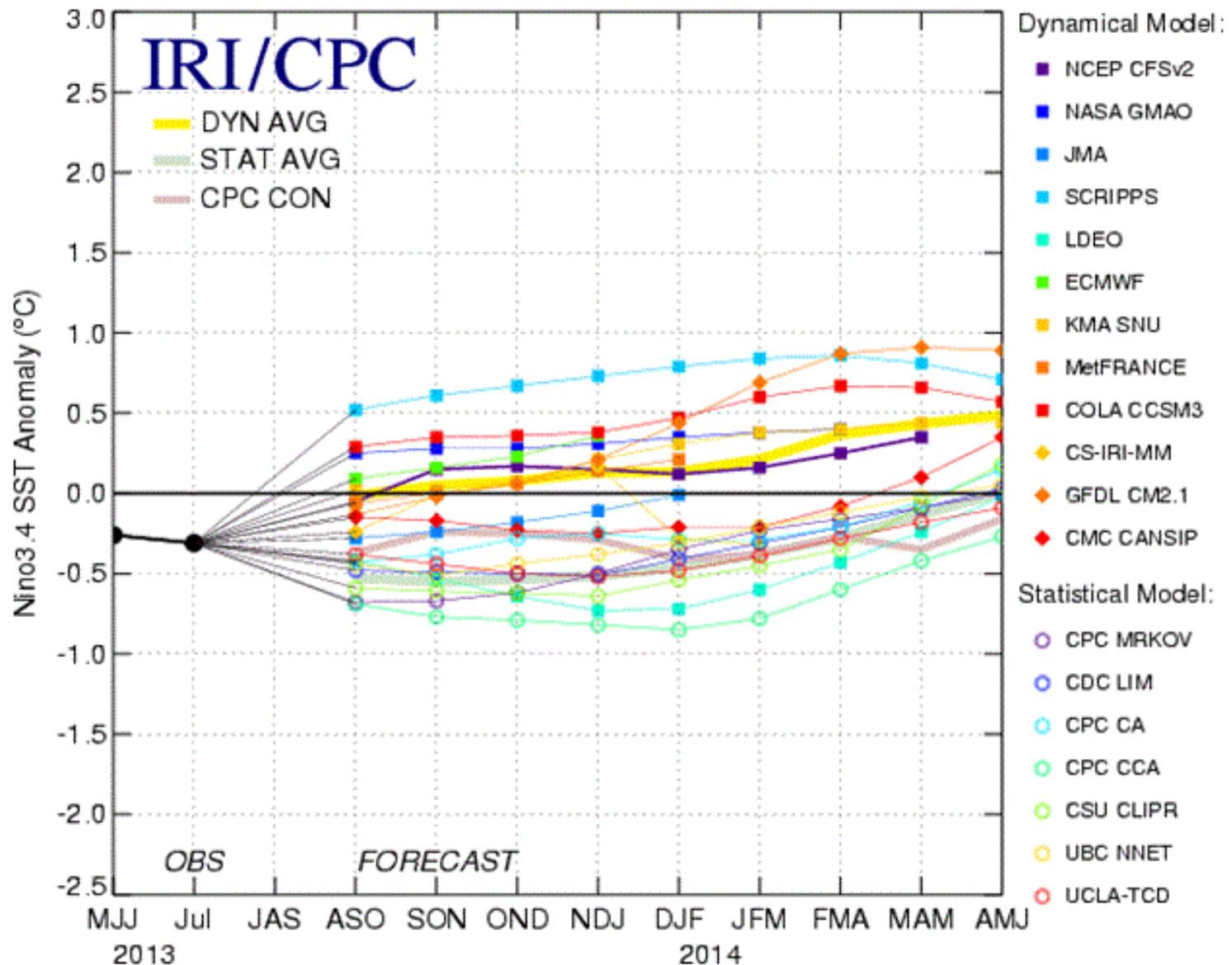


Figure 6. Forecasts of sea surface temperature (SST) anomalies for the Niño 3.4 region (5°N-5°S, 120°W-170°W). Figure courtesy of the International Research Institute (IRI) for Climate and Society. Figure updated 13 August 2013.

Referencias Bibliográficas.

Allan J. Clarke (2008). An introduction to the dynamics of El Niño and the Southern Oscillation. Academic Press – Elsevier, USA, 308 pp.

S. George Philander (1990). El Niño, La Niña and the southern Oscillation. Academic Press, USA, 293 pp.

Rob Allan; J. Lindesay; D. Parker (1996). El Niño Southern Oscillation & Climatic Variability. CSIRO, Australia, 406 pp.

Andrew Bakun (1996). Patterns in the Ocean; ocean processes and marine population dynamics. California Sea Grant College System in cooperation with Centro de investigaciones Biologicas del Nordeste, La Paz, BCS, Mexico, 325 pp.

Matthias Tomczak; J.S. Godfrey (1994). Regional Oceanography: An introduction. Pergamon Press, Great Britain, 422 pp.

MUITO OBRIGADO!