

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**PERFIL VERTICAL DA TEMPERATURA OCEÂNICA
EM ANOS DE EVENTOS DE ENOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Elisângela Finotti

**Santa Maria, RS, Brasil
2015**

PERFIL VERTICAL DA TEMPERATURA OCEÂNICA EM ANOS DE EVENTOS DE ENOS

Elisângela Finotti

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Área de Concentração em Climatologia/Interação Oceano-Atmosfera, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Meteorologia**

Orientador: Prof. Dr.^a Nathalie Tissot Boiaski

Santa Maria, RS, Brasil
2015

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Finotti, Elisângela
Perfil Vertical da Temperatura Oceânica em Anos de
Eventos de ENOS / Elisângela Finotti.-2015.
75 p.; 30cm

Orientadora: Nathalie Tissot Boiaski
Coorientadora: Simone Erotildes Teleginski Ferraz
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Meteorologia, RS, 2015

1. Interação Oceano - Atmosfera 2. Climatologia 3. El
Niño / Oscilação Sul 4. Aquecimento do Oceano I. Tissot
Boiaski, Nathalie II. Erotildes Teleginski Ferraz,
Simone III. Título.

©2015

Todos os direitos autorais reservados a Elisângela Finotti. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

End. Eletr.: lizfinotti@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**PERIL VERTICAL DA TEMPERATURA OCEÂNICA EM
ANOS DE EVENTOS DO ENOS**

Elaborada por

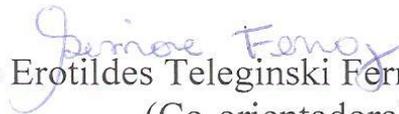
Elisângela Finotti

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Meteorologia

COMISSÃO EXAMINADORA:



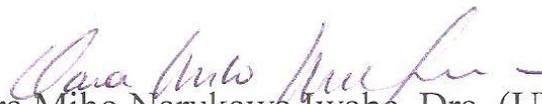
Nathalie Tissot Boiaski, Dra.
(Presidente/Orientadora)



Simone Erotildes Teleginski Ferraz, Dra. (UFSM)
(Co-orientadora)



Everson Dal Piva, Dr. (UFSM)



Clara Miho Narukawa Iwabe, Dra. (UNESP)

Santa Maria, 14 de maio de 2015.

A minha mãe Maria de Fátima e ao meu namorado Rafael

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por tudo.

À Profa. Dra. Nathalie Tissot Boiaski pela amizade, orientações técnicas e discussões ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

À Profa. Dra. Simone Ferraz pela amizade e sugestões que foram de extrema valia para o andamento do trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Centro de Ciências Naturais e Exatas (CCNE/UFSM) pelo incentivo à qualificação de seus alunos.

À minha Mãe pelo incentivo a minha qualificação e pelo apoio em todos os momentos, além de servir de exemplo a quem me espelho e procuro seguir todos seus ensinamentos.

Ao meu namorado Rafael, por todos os momentos maravilhosos que passamos juntos esses anos, ao seu companheirismo e apoio em todos os momentos.

Aos professores da UFSM, ao me ajudarem a trilhar esse caminho até agora.

Aos meus colgas queridos, em especial o Lincon Turcato Carabagialle “In Memoriam” e a Priscila Farias pelo apoio em todos os momentos.

Ao Grupo de Pesquisa em Clima da UFSM, no qual descobri a minha área de especialização e o meu seguimento de carreira.

E a todos que direta ou indiretamente me ajudaram ao longo desta dissertação.

Muito Obrigada!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia
Universidade Federal de Santa Maria

PERFIL VERTICAL DA TEMPERATURA OCEÂNICA EM ANOS DE EVENTOS DO ENOS

Autor: Elisângela Finotti
Orientador: Dra. Nathalie Tissot Boiaski

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 14 de maio de 2015.

No presente trabalho foi estudado o perfil vertical da temperatura do Oceano Global, em anos de ocorrência de eventos de El Niño – Oscilação Sul, para compreender melhor o funcionamento deste fenômeno. Para a sua realização foram utilizados três conjuntos de reanálises oceânicas: ORAS4 produzida pelo *European Centre for Medium-range Weather Forecasts*, o GODAS foi desenvolvido pelo *National Centers for Environmental Prediction* e SODA desenvolvido por Carton e Giese, 2008. Os três conjuntos de reanálises apresentaram o mesmo padrão de temperatura potencial em todas as camadas de profundidade. O Índice de Temperatura Oceânica do Pacífico Equatorial representa muito bem os eventos de El Niño-Oscilação Sul, uma vez que detectou todos os EL Niños e La Niñas ocorridos no período de 52 anos. Por fim, conclui-se que o novo índice proposto pode ser utilizado para determinação (caracterização) de eventos de El Niño-Oscilação Sul com a mesma precisão que o Índice de Niño Oceânico, e com superior precisão para a previsão de eventos de El Niño-Oscilação Sul, uma vez que detecta estes eventos com alguns meses de antecedência em relação ao Índice de Niño Oceânico. Assim podemos acrescentar mais uma ferramenta que nos ajudará a prever e entender melhor os eventos de El Niño-Oscilação Sul.

Palavras Chaves: El Niño – Oscilação Sul, Temperatura Oceânica, Reanálise Oceânica e Aquecimento do Oceano.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia
Universidade Federal de Santa Maria

VERTICAL PROFILE OF OCEAN TEMPERATURE ON ENSO EVENTS

Autor: Elisângela Finotti
Orientador: Dra. Nathalie Tissot Boiaski

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 14 de maio de 2015.

In the present work we studied the vertical profile of the Global Ocean temperature in years of occurrence El Niño-Southern Oscillation events, to better understand the functioning of this phenomenon. For its realization were used three sets of ocean reanalysis: ORAS4 produced by *European Centre for Medium-range Weather Forecasts*, the GODAS produced by *National Centers for Environmental Prediction* and SODA produced by Carton and Giese, 2008. The three sets of reanalysis showed the same potential temperature pattern in all layers of depth. The Ocean Temperature Index Equatorial Pacific is very well El Niño-Southern Oscillation events, as detected all El Niños and La Niñas occurred in the period of 52 years. Finally, it is concluded that the proposed new index can be used to determine (characterization) of El Niño-Southern Oscillation events with the same precision as the Oceanic Niño Index, and with superior accuracy for predicting El Niño-Southern Oscillation events as it detects these events several months in advance of the Oceanic Niño Index. Therefore, we can add one more tool to help us predict and better understand the El Niño-Southern Oscillation events.

Key Words: El Niño – Southern Oscillation, Ocean Temperature, Oceanic Reanalysis and Ocean Warming.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivo.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 Temperatura e Calor.....	11
2.2 El Niño - Oscilação Sul (ENOS)/ El Niño - Southern Oscillation (ENSO).....	12
2.3 La Niña.....	14
2.4 Principais Índices para Indetificação de ENOS.....	16
2.4.1 Índice de Oscilação Sul - IOS / Southern Oscillation Index - SOI.....	16
2.4.2 Índice de Niño Oceânico / Oceânic Niño Index - ONI.....	17
3. METODOLOGIA.....	18
3.1 Região de Estudo.....	18
3.2 Dados.....	19
3.2.1 Reanálise ORAS4.....	19
3.2.2 Reanálise GODAS.....	20
3.2.3 Reanálise SODA.....	20
3.3 Manipulação dos dados.....	21
3.3.1 Funções Ortogonais Empíricas (FOE)/Empirical Orthogonal Functions(EOF).....	23
4. RESULTADOS.....	25
4.1 Perfil Vertical da Temperatura Oceânica no Oceano Pacífico Equatorial.....	25
4.1.1 Perfil Vertical da Temperatura Média Climatológica.....	25
4.1.2 Perfil Vertical das Anomalias de Temperatura.....	31
4.2 Análise das EOFs.....	36
5. CONCLUSÃO.....	47
5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
APÊNDICE.....	54
Apêndice A - Análise Climatológica da Temperatura do Oceano Global.....	54
Apêndice B - Análise Diferencial entre as Reanálises.....	65

1. INTRODUÇÃO

Os mares e oceanos abrangem 70,8% da superfície terrestre e são um importante componente do sistema climático (BINDOFF et al. 2007). O oceano influencia o clima por armazenar e transportar grandes quantidades de calor, de água doce e carbono, e trocar essas propriedades com a atmosfera. A radiação solar absorvida na superfície é a principal fonte de energia dos oceanos. Em média, chega no topo da atmosfera 340 W/m² de energia proveniente do Sol.

Os oceanos são também um importante veículo para o transporte de energia a partir das baixas para altas latitudes, reduzindo assim o gradiente de temperatura norte-sul. Através destes processos, os oceanos desempenham um papel crucial como moderador do clima da Terra. Mudanças nos oceanos podem resultar em alterações climáticas que aumentam ou reduzem a taxa de mudança do clima.

Variabilidade e mudanças climáticas em escalas de tempo sazonais a milênios estão intimamente ligada ao oceano e suas interações com a atmosfera e criosfera. Observações de mudanças no oceano fornecem um meio para acompanhar a evolução das mudanças climáticas, e um ponto de referência importante para os modelos climáticos.

Lyman et al. (2010) demonstraram um forte aquecimento da parte superior do oceano global (0 - 700 m) de 1993-2008, que tem em média $0,64 \pm 0,29$ W/m² (intervalo de confiança de 95%).

Existe um sinal de aquecimento consistente em cada bacia oceânica. Os sinais entre o norte e o sul do Pacífico e Índico estão positivamente correlacionados, sugerindo as mesmas forçantes. Antonov et al. (2002), mostraram que para o período de 1955 - 2003, a expansão térmica da camada de 0-700 m do Oceano Global contribuiu cerca de 0,33 mm/ano para a elevação do nível do mar. Cerca da metade dessa tendência *thermostérica* (aumento do nível do mar associado a expansão/contração térmica) é devido ao aquecimento do Oceano Atlântico.

O aumento da temperatura do OG, a maior concentração de CO₂ tanto no oceano quanto na atmosfera, o aumento do nível do mar, entre outras alterações no clima, pode afetar um dos fenômenos climáticos mais significativos de interação oceano-atmosfera o El Niño – Oscilação Sul (ENOS) que por sua vez afeta o clima do planeta e mais significativamente o clima da América do Sul, pois ele está diretamente ligado as variações da temperatura do oceano e como consequência às mudanças climáticas. As principais consequências de El Niño hoje são: a alteração da vida marinha na costa oeste dos Estados Unidos e do Canadá e no litoral do Peru;

o aumento de chuvas no sul da América do Sul e sudeste dos Estados Unidos; secas no Nordeste brasileiro, centro da África, Sudeste Asiático e América Central e tempestades tropicais no centro do Pacífico. Essas consequências afetam diretamente a sociedade e o ambiente em que vivemos. Por isso é muito importante a compreensão e previsão desses eventos de ENOS, para que a sociedade como um todo possa se preparar para minimizar as consequências dos eventos de ENOS.

1.1 Objetivo

Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo geral investigar o perfil vertical da temperatura do Oceano Pacífico Equatorial, e sua variabilidade em anos de ocorrência de eventos do ENOS.

Por objetivos específicos tem-se:

- Criar um novo índice de temperatura oceânica que possa prever e representar os eventos de ENOS, considerando as anomalias de temperatura na região da termoclina.
- Verificar e Validar o novo índice proposto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os mares e oceanos abrangem cerca de 361 milhões de km² de uma superfície planetária total de 510 milhões de km². Existe, portanto, 2,42 vezes mais água do que terra na superfície do planeta. O Oceano Pacífico é o maior e mais profundo dos oceanos, ele representa quase que 50% do Oceano Global e cobre mais de um terço da superfície do planeta (KATSMAN et al, 2011).

A água do mar é constituída de aproximadamente 96,5% de água pura e 3,5% de espécies químicas contendo sais, gases dissolvidos, substâncias orgânicas e partículas sólidas. Entretanto suas propriedades físicas são devidas principalmente aos 96,5% de água pura (LE QUÉREÉ et al, 2010).

2.1 Temperatura e Calor

Calor é a energia produzida pela vibração aleatória de átomos e moléculas, ou seja, é uma medida de quantas moléculas estão vibrando e quão rapidamente estão vibrando. A

temperatura, simplesmente, é um registro de quão rapidamente as moléculas de uma substância estão vibrando (PEIXOTO, 1992).

O calor específico é uma medida da energia necessária para elevar a temperatura de um grama de uma substância em 1°C. Uma caloria é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de um grama de água pura em 1°C (BORGNAKKE, 2009).

A temperatura é uma propriedade física que caracteriza o equilíbrio térmico de um sistema, e/ou o equilíbrio térmico de um sistema com outro, sendo medida em Kelvin (K) no sistema internacional de unidades (SI).

A temperatura da água do mar apresenta variabilidade tanto verticalmente quanto horizontalmente. A variação horizontal da temperatura superficial dos oceanos apresenta uma forma zonal conforme a latitude, ou seja, formam-se linhas de mesma temperatura denominadas de isotermas. As temperaturas superficiais decrescem de aproximadamente 28 °C em baixas latitudes para até -2°C em altas latitudes. Nas regiões temperadas os gradientes horizontais são maiores do que nas regiões tropicais e polares. De forma geral a temperatura varia em média 0,5°C para cada grau de latitude percorrido (PEIXOTO, 1992).

2.2 El Niño/ Oscilação Sul (ENOS) /*El Niño Southern Oscillation (ENSO)*

Esse fenômeno representa a mais forte influência natural do clima em uma escala de tempo interanual.

Os ventos alísios fluem de uma área normalmente com alta pressão sobre o Pacífico Leste próximo as Américas Central e do Sul em direção a uma área que é, em geral, estável e com baixas pressões sobre o Pacífico Oeste (norte da Austrália). Apesar disso, esses padrões de pressão se invertem em intervalos irregulares que variam entre três e oito anos: a alta pressão se desenvolve no Pacífico Oeste e a baixa pressão no Pacífico Leste. Os ventos alísios enfraquecem ou invertem sua direção. Essa mudança na pressão atmosférica e, portanto, na direção do vento é chamado de Oscilação Sul (TRENBERTH, 1997).

Os ventos alísios normalmente transportam grandes quantidades de água ao longo da superfície do oceano de cada lado do Equador, mas à medida que os ventos enfraquecem, essas correntes equatoriais perdem velocidade. A água quente que havia sido acumulada no lado oeste do Pacífico pode então se acumular mais para o centro e leste, ao longo do Equador em direção à costa das Américas Central e do Sul.

Os fenômenos da Oscilação Sul (fenômeno atmosférico) e El Niño (fenômeno oceânico) são acoplados, portanto os termos frequentemente combinados formam o acrônimo ENOS, para El Niño/Oscilação Sul (El Niño Southern Oscillation – ENSO). A figura 1 a) e b) mostra como ocorre o padrão de circulação atmosférica e oceânica em condições normais e em condições de El Niño, respectivamente.

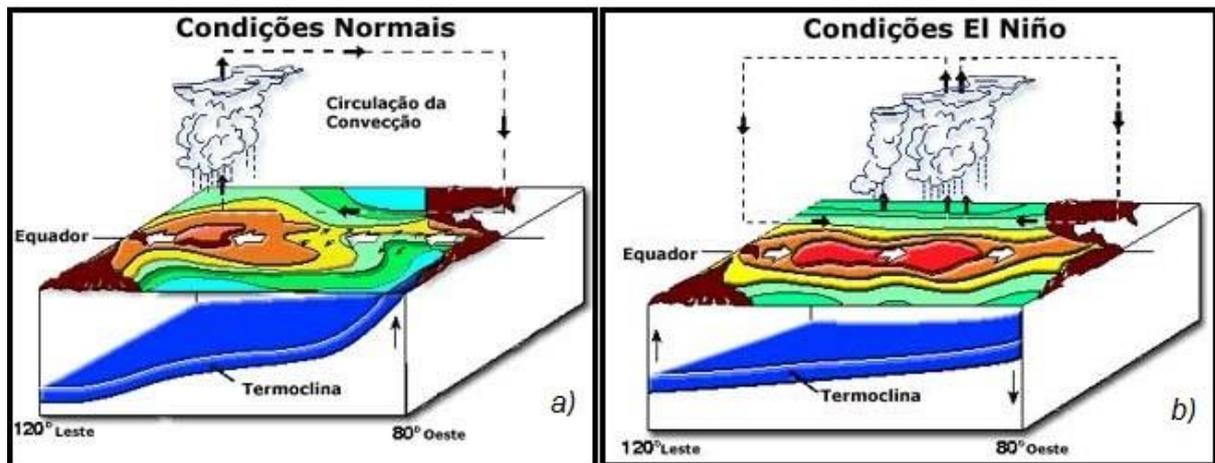


Figura 1. Representação da circulação Atmosférica e Oceânica em anos com condições climáticas normais, (a) e em anos de El Niño, (b).

Fonte: Adaptado do site <http://www.enos.cptec.inpe.br>.

Em baixas e médias latitudes, abaixo da camada superficial dos oceanos, encontra-se uma camada com máximo decréscimo de temperatura por unidade de profundidade, sendo este gradiente vertical brusco de temperatura denominado de termoclina. A célula de circulação com movimentos ascendentes no Pacífico Central/Ocidental e movimentos descendentes no norte/nordeste da América do Sul e com ventos de leste próximos à superfície (ventos alísios) e de oeste em altos níveis da troposfera é a chamada célula de Walker (PHILANDER, 1990).

Em anos de El Niño ocorre o surgimento das águas quentes no Pacífico Central, os ventos alísios perdem intensidade, podendo até inverter de direção em algumas regiões do Pacífico Equatorial. Os ventos de oeste em altos níveis também perdem intensidade sobre o Pacífico Tropical Leste. A diferença do nível do mar entre a parte leste e oeste diminui e a camada de água quente, que se encontrava no Pacífico Oeste, desloca-se para leste, eventualmente atingindo a costa do Peru. Isto provoca o aumento da profundidade da termoclina no Pacífico Tropical Leste. Com a alteração no regime de ventos, as nuvens que normalmente produzem chuvas abundantes na parte oeste do Oceano Pacífico, próximo à Indonésia,

deslocam-se para leste, para o Pacífico Central. Há, portanto, mudanças na estrutura da Célula de Walker durante eventos El Niño (AMBRIZZI, 2003).

Dependendo da intensidade e duração do aquecimento da água do mar, os episódios de El Niño podem ser classificados como sendo fracos, moderados e fortes. Normalmente eles ocorrem em intervalos irregulares de 03, 07 e 12 anos, podendo durar de 12 a 18 meses, (PHILANDER, 1990), como pode ser visto alguns exemplos no Quadro 1.

2.3 La Niña

A La Niña, que significa “a menina”, em espanhol, é um fenômeno que se caracteriza por ser oposto ao El Niño, ou seja, é o resfriamento das águas do Oceano Pacífico Equatorial, pode ser chamado também de episódio frio (OLIVEIRA, 2001).

Em anos de La Niña os ventos alísios ficam mais intensos, fazendo com que mais água fique "represada" no Pacífico Equatorial Oeste e o desnível entre o Pacífico Ocidental e Oriental aumenta. Com os ventos mais intensos a ressurgência também irá aumentar no Pacífico Equatorial Oriental, e, portanto, virão mais nutrientes das profundezas para a superfície do Oceano, favorecendo a pesca. Por outro lado, devido a maior intensidade dos ventos alísios as águas mais quentes irão ficar represadas mais a oeste do que o normal, aumentando a evaporação e os movimentos ascendentes que geram nuvens profundas/com grande desenvolvimento vertical (GRIMM, 2003). A região do nordeste do Oceano Índico, a oeste do Oceano Pacífico, passando pela Indonésia, tem um aumento na quantidade de chuvas. No Pacífico Equatorial Central e Oriental ocorrem os movimentos descendentes da célula de Walker (Figura 2 b)). Eles ficam mais intensos que o normal, inibindo, e muito, a formação de nuvens de chuva naquela região (PHILANDER, 1990). Em geral, episódios La Niñas também têm frequência de 2 a 7 anos, todavia tem ocorrido em menor quantidade que o El Niño durante as últimas décadas. Além do mais, os episódios La Niña têm períodos de aproximadamente 9 a 12 meses, e somente alguns episódios persistem por mais que 2 anos (AMBRIZZI, 2003).

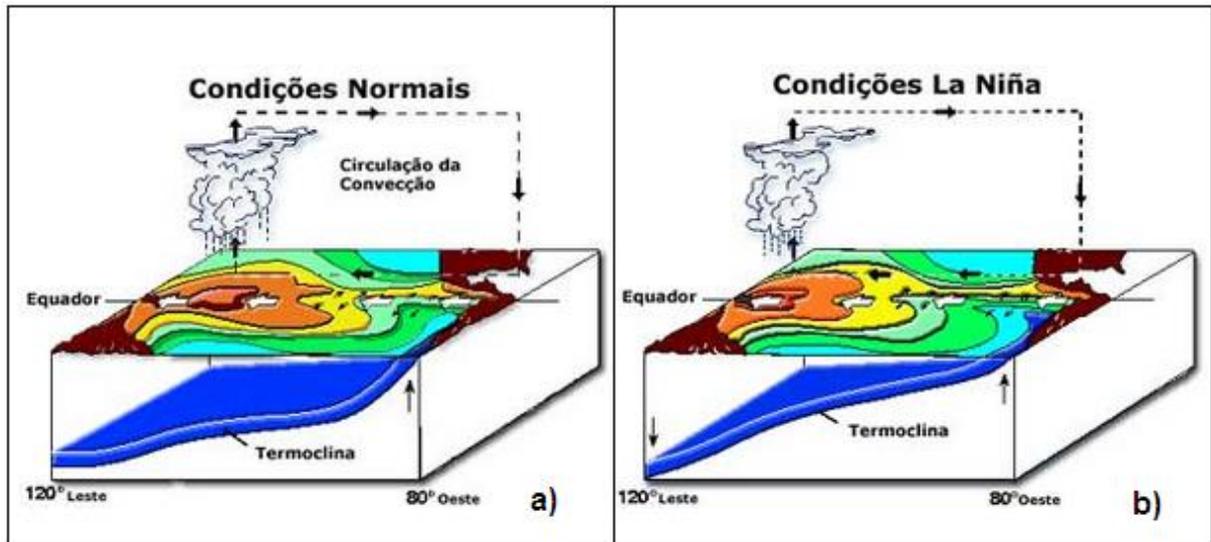


Figura 2. Representação da circulação Atmosférica e Oceânica em anos com condições climáticas normais, (a) e em anos de La Niña, (b).

Fonte: Adaptado do site <http://www.enos.cptec.inpe.br>.

Dependendo da intensidade e duração do resfriamento da água do mar, os episódios de La Niña podem ser classificados como sendo fracos, moderados e fortes (PHILANDER, 1990), como pode ser visto alguns exemplos no Quadro 1.

	El Niño	La Niña
Forte	1972	1973-1974
	1982	1988-1989
	1991-1992	2007-2009
	1997-1998	—
	Moderado	1986-1987
	2004	—

Quadro 1. Identificação dos anos de ocorrência de El Niño e La Niña Fortes e Moderados para o período de 1958 a 2009.

Fonte: Adaptado do site <http://www.enos.cptec.inpe.br>.

2.4 Principais Índices para Identificação do ENOS

Historicamente, índices resumem a evolução do ENOS. Um índice é uma escala numérica na qual todo o fator individual necessário para descrever um fenômeno complicado se resume a um único número. Esse número único, pode ser monitorado ao longo do tempo.

2.4.1 Índice de Oscilação Sul – IOS

O indicador mais antigo da evolução do ENOS é o Índice de Oscilação Sul (IOS).

O IOS representa a diferença entre a pressão atmosférica ao nível do mar no Tahiti e em Darwin, Austrália. A gangorra da pressão nesses locais reflete a componente atmosférica do ENOS. Este índice foi proposto por Walker e Bliss (1932), e está representado na Figura 3. Durante o El Niño, a pressão torna-se abaixo da média no Tahiti e acima da média em Darwin, e o Índice de Oscilação Sul é negativo. Durante La Niña, a pressão se comporta no seu inverso, e o índice torna-se positivo.

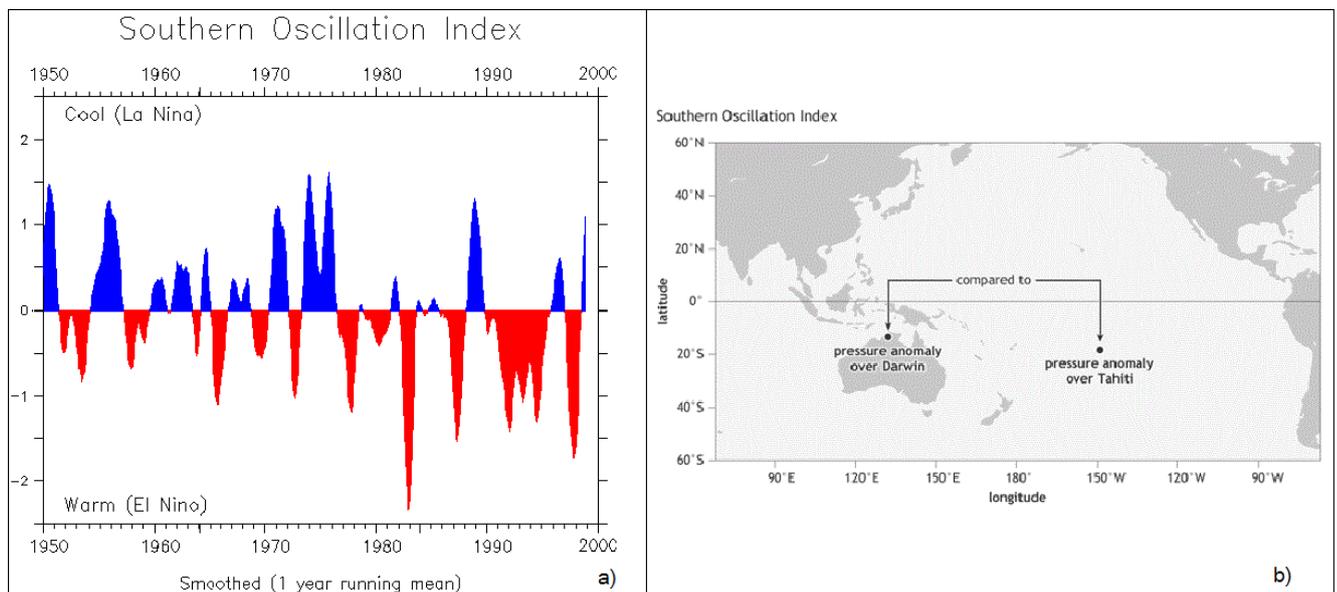


Figura 3. Representação do Índice IOS, (a) e localização das regiões de Darwin e do Tahiti, (b).

Representação do índice de Oscilação Sul, adaptado do site <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>. Na figura 3 a) em azul, valores positivos do IOS que indicam ocorrência de La Niña e em vermelho, valores negativos do IOS que indicam ocorrência de El Niño.

O fato de que o IOS é baseado na pressão ao nível do mar em apenas duas estações individuais, significa que pode ser afetado por mais curto prazo, no dia-a-dia ou semana-a-semana que são flutuações não associadas ao ENOS. Porém a média dos valores do índice ao longo de meses ou estações ajuda a isolar os desvios mais constantes a partir da média, como aqueles associados com o ENOS (ROPELEWSKI e HALPERT,1986).

Outra limitação do Índice de Oscilação Sul é que tanto Tahiti quanto Darwin estão localizados um pouco ao sul do equador (Tahiti em 18 S, Darwin em 12 S), enquanto o fenômeno ENOS é observado mais próximo do equador (ROPELEWSKI e HALPERT, 1987).

2.4.2 Índice de Niño Oceânico/*Oceanic Niño Index* – ONI

Inicialmente, algumas regiões foram definidas para as medições do ONI Figura 4 b), ou seja, Niño1, Niño2 (combinados em Niño1 + 2), Niño3 e Niño4 por causa de dados consistentemente disponíveis provenientes de navios que atravessam essas áreas. Mais tarde, uma área chamada Niño3.4 foi identificada como sendo a mais representativa do fenômeno ENOS (BARNSTON et al., 1997).

O Índice ONI (Figura 4. a) é baseado na temperatura da superfície do mar (TSM) na região do Niño 3.4 e é obtido através da média de 3 meses consecutivos de anomalias de TSM da região do Niño 3.4 com base em períodos de 30 anos atualizados a cada 5 anos. Para indicar El Niño (La Niña) o índice ONI tem que apresentar anomalias de TSM maiores (menores) ou iguais a $0,5^{\circ}\text{C}$ ($-0,5^{\circ}\text{C}$) por pelo menos um período de 5 meses consecutivos (BARNSTON et al., 1997).

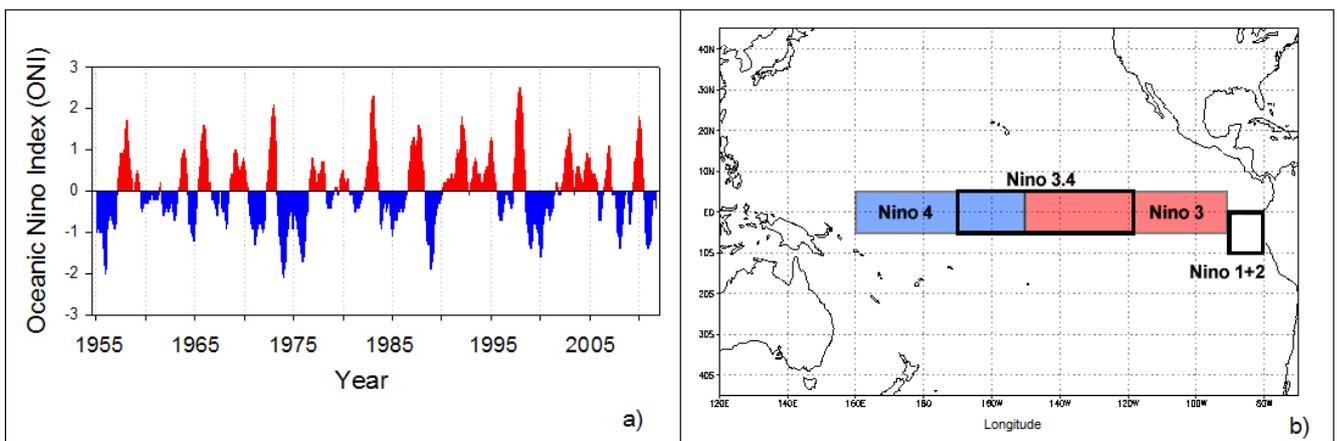


Figura 4. (a) Representação do Índice ONI, e (b) identificação e localização das regiões do El Niño.

Representação do índice ONI, adaptado do site <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>. Na Figura 4 a) em azul, os valores negativos do índice ONI, quando igual ou menor que $-0,5^{\circ}\text{C}$ indicam ocorrência de La Niña, os valores positivos do ONI representados em vermelho, onde quando igual ou maior que $0,5^{\circ}\text{C}$ indicam ocorrência de El Niño.

3 METODOLOGIA

3.1 Região de Estudo

Para investigar o perfil vertical da temperatura em anos de ocorrência de ENOS, foi escolhida uma região do Oceano Pacífico Figura 5, que abrange as quatro regiões do Niño (Região 1+2, Região 3, Região 3.4 e Região 4), essa região de estudo localiza-se entre 5°N – 5°S e 160°E – 80°W .

Essa região foi escolhida pois além de conter todas as regiões do El Niño, é nela que ocorre as principais variações de temperatura que influenciam e determinam o ENOS e onde todos os índices oceânicos são calculados.

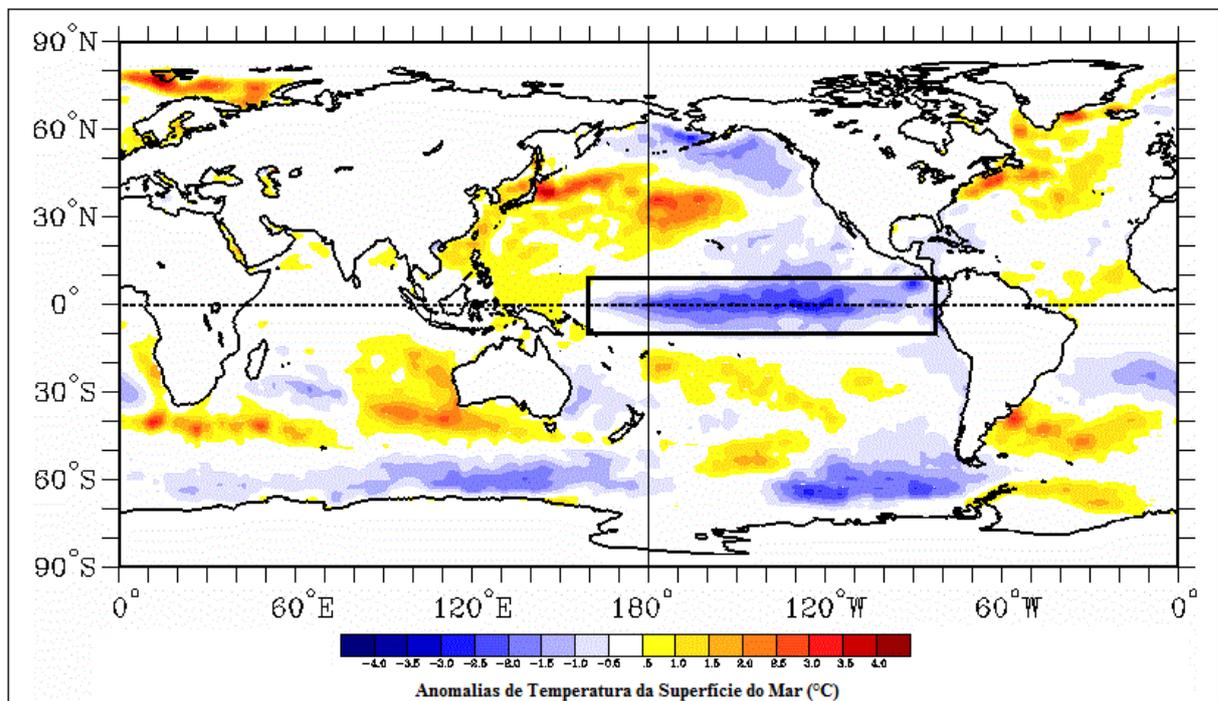


Figura 5. Identificação da região escolhida para estudo, na qual abrange todas as regiões do Niño.

3.2 Dados

Os dados utilizados para a realização do presente trabalho são dados de temperatura potencial de reanálises oceânicas. As reanálises oceânicas utilizadas para a execução do mesmo foram reanálises oceânicas dos sistemas ORAS4 (*European Centre for Medium-range Weather Forecasts - ECMWF*), GODAS (*National Centers for Environmental Prediction - NCEP*) e SODA (Carton e Giese, 2008).

As reanálises oceânicas são reconstruções históricas do oceano, com base na síntese objetiva das informações fornecidas pelos modelos de forçantes oceânicas, fluxos atmosféricos e observações do oceano, combinados através de métodos de assimilação de dados.

A reanálise oceânica é uma atividade estabelecida em vários centros operacionais e de pesquisa. As novas reanálises são produzidas em intervalos de cerca de cinco anos, quando as melhorias nos modelos de oceano, métodos de assimilação de dados ou observações do oceano estão disponíveis.

3.2.1 Reanálise ORAS4

O Centro Europeu para Previsões de Tempo de Médio Prazo (*European Centre for Medium-range Weather Forecasts - ECMWF*) produziu um conjunto de reanálise de dados oceânicos denominados ECMWF – ORAS4 (sistema operacional de reanálise oceânica), que abrange o período de Janeiro de 1958 à Dezembro de 2009, disponível no endereço eletrônico <http://climatedataguide.ucar.edu>.

O sistema ORAS4 usa a versão 3.0 do modelo de oceano NEMOVAR (NEMO), que assimila perfis de temperatura e salinidade. ORCA é o nome genérico que se refere à grade utilizado pelo modelo NEMO, a configuração ORCA1 corresponde a uma grade com resolução horizontal de 1° nos extra trópicos e resolução meridional refinada nos trópicos, com um valor mínimo de 0,3° no Equador. A versão do ORCA1 usado no ORAS4 foi desenvolvida conjuntamente pela *National Oceanography Centre*, tem 42 níveis verticais, dos quais 18 estão nos 200 m superiores (BALMASEDA et al., 2013).

O modelo oceânico é forçado pelos fluxos de superfície. Os fluxos diários de radiação solar, o fluxo total de calor, a diferença entre evaporação e precipitação e tensão de cisalhamento (estresse do vento de superfície) são obtidos da reanálise ERA-40 (UPPALA et al., 2005) de setembro de 1957 a dezembro de 1989, da reanálise ERA-Interim (DEE et al., 2011) a partir de janeiro de 1989 a dezembro de 2009, e do arquivo operacional ECMWF a

partir de Janeiro de 2010. O ORAS4 apresenta dados de média mensais de temperatura potencial e salinidade.

3.2.2 Reanálise GODAS

O Sistema de Assimilação de Dados do Oceano Global (*Global Ocean Data Assimilation System - GODAS*) foi desenvolvido para ser o substituto do *Pacific Ocean Data Assimilação System* (ODAS) versão RA6 e fornecer condições iniciais oceânicas para o sistema global de Previsão Climática (CFS), recentemente desenvolvido pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) (BEHRINGER, 2007), no período de Janeiro de 1980 à Dezembro de 2013, disponível no endereço eletrônico <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.godas.html>.

O GODAS está operacional no *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e é usado atualmente pelo *Climate Prediction Center* (CPC).

O modelo oceânico do GODAS baseia-se numa configuração quase global. O domínio do modelo se estende desde 75° S a 65° N e tem uma resolução de 1° x 1° que aumenta em 1/3° no Equador, tem 40 níveis de profundidade. O GODAS também assimila perfis de temperatura e salinidade e apresenta dados de média mensais de Temperatura Potencial (BEHRINGER et al, 2004).

3.2.3 Reanálise SODA

O conjunto de dados, Assimilação Simples de Dados Oceânicos (*Simple Ocean Data Assimilation - SODA*) versão 2.2.4, é gerado a partir do modelo global Parallel Ocean Program 2 (POP-2). Este projeto foi desenvolvido por Carton e Giese (2008) e está disponível na página <http://dsrs.atmos.umd.edu/DATA>.

O modelo oceânico tem resolução de 0,25° latitude X 0,4° longitude X 40 níveis de profundidade. O POP-2 é forçado pelas reanálises do NCEP/NCAR, ECMWF ERA-40, precipitação do GPCP (*Global Precipitation Climatology Project*) e informações de satélite para o gelo marinho. O POP-2 possui dados hidrográficos provenientes do sistema ARGO (rede de boias oceanográficas que medem temperatura e salinidade), estações, medidas de navio, entre outros. A altimetria é obtida pelos satélites Geosat (CARTON E GIESE, 2008).

O SODA apresenta dados de médias mensais, mapeados de forma uniforme em uma grade nas dimensões de 0,5° x 0,5° x 40 níveis de profundidade. As variáveis do SODA são: temperatura do oceano (°C), salinidade (g/Kg), velocidade horizontal do oceano (m/s), altura

do nível do mar (m) e cisalhamento do vento (N/m), (CARTON e GIESE, 2008). O conjunto de dados estende-se de janeiro de 1958 a dezembro de 2010.

3.3 Manipulação dos Dados

Foi feita a interpolação dos dados para que os três conjuntos de reanálises ficassem com a mesma resolução vertical e horizontal, ficando cada conjunto de reanálise com 42 níveis de profundidade, 360 pontos de longitude e 180 de latitude.

Para a interpolação vertical foi escolhido interpolar os dados em relação ao conjunto de reanálise ORAS4, uma vez que o número de níveis de profundidade é maior como pode ser observado na Figura 6.

Os três conjuntos de reanálises foram interpolados horizontalmente para ficarem com os mesmos valores de latitude e longitude, ou seja, possuírem a mesma grade (resolução horizontal). Para a realização das interpolações foi escolhido o período de tempo em comum nos três conjuntos de reanálises (1980 à 2009), totalizando um período de 30 anos.

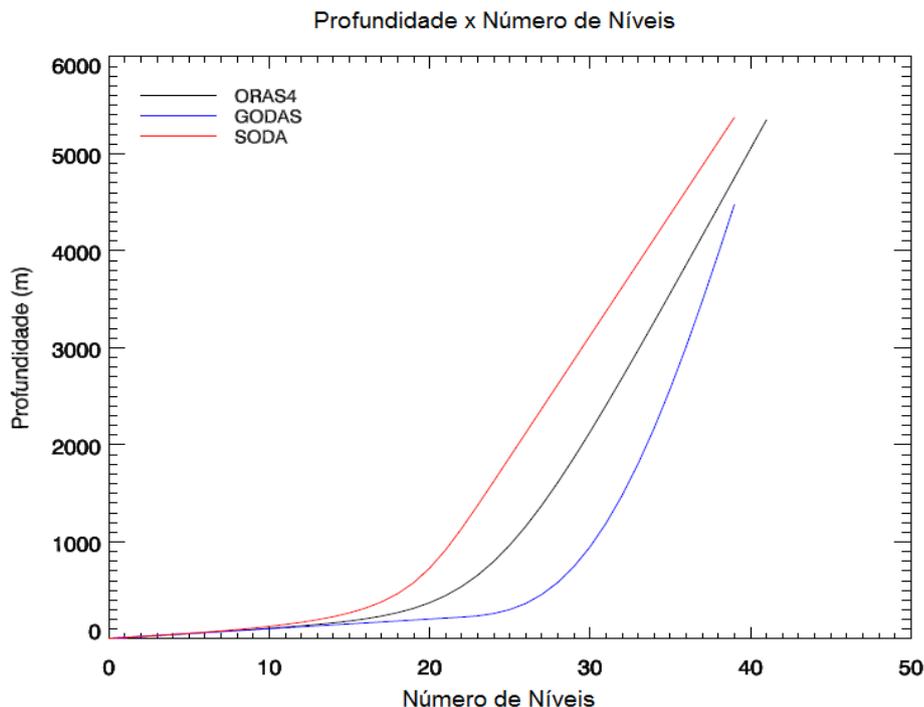


Figura 6. Comparação entre os três conjuntos de reanálises (ORAS4, GODAS e SODA) em relação aos níveis de profundidade.

A análise a seguir foi feita apenas para verificar se os três conjuntos de reanálise estão representando corretamente a temperatura do oceano e para que se possa escolher qualquer

conjunto de dados em que os resultados obtidos serão os mesmos ou muito parecidos com os demais conjuntos.

Após a interpolação dos dados foram calculadas as climatologias para cada conjunto de dados. Os mapas mostram as climatologias da temperatura potencial média para o Oceano Global nos três conjuntos de reanálises, separados por nível de profundidade. Cada figura representa um nível de profundidade, totalizando 36 níveis (5 m – 3859 m), pois a partir do nível 37(4200 m) ocorre grande falta de dados em grande parte do globo. As climatologias são anuais e sazonais para a temperatura potencial no Oceano Global (Figuras no Apêndice A).

Para comparação entre as reanálises foi realizada uma análise diferencial, calculando a diferença entre os valores de temperatura do ORAS4 e os do SODA e ORAS4 e os do GODAS. Foi realizada também análises sazonais (Figuras no Apêndice B).

Apenas os níveis de profundidade em que houveram resultados significativos (níveis de 0 a 30) são mostrados. Abaixo do nível de 2134 m de profundidade não há variações significativas na temperatura do oceano (Figura não mostrada).

Após a análise diferencial foi então possível escolher apenas uma reanálise para a conclusão do presente trabalho, tendo em vista que as diferenças entre as reanálises foram pequenas. A reanálise escolhida foi a ORAS4 por esta ser a mais utilizada e difundida em estudos climáticos recentes (BALMASEDA et al., 2008 e 2013; DEE et al., 2011; IPCC 2013), o que lhe confere uma certa confiabilidade dentre a comunidade científica, além de não possuir diferenças significativas das demais reanálises analisadas.

Utilizando a reanálise escolhida, foi obtido o perfil vertical da temperatura média climatológica para cada região do Niño: Região 1+2 (0° - 10° S e 80° W - 90° W), Região 3 (5° N – 5° S e 90° W – 150° W), Região 3.4 (5° N – 5° S e 120° W – 170° W) e Região 4 (5° N – 5° S e 150° W – 160° E).

Com o interesse em analisar o comportamento e a variabilidade da termoclina em eventos de El Niño e La Niña, e comparar estes resultados com a climatologia, foi obtida uma seção transversal longitude x profundidade da temperatura potencial. Para tal, foi computada a média latitudinal da temperatura potencial entre 5° N – 5° S para cada profundidade e no domínio longitudinal de abrangência das quatro regiões do Niño: 160° E – 80° W. Posteriormente, também foi obtida uma seção transversal longitude x profundidade do desvio padrão da temperatura potencial climatológica. O mesmo foi realizado para a temperatura em eventos de El Niño e de La Niña, separadamente.

A etapa seguinte consistiu em calcular as anomalias da temperatura potencial no Pacífico equatorial (domínio citado anteriormente) para todas as profundidades. Essas

anomalias foram obtidas removendo-se o ciclo anual dos dados em cada ponto de grade. Desta forma foi possível analisar o perfil vertical das anomalias de temperatura para os períodos de ocorrência de eventos de El Niño e de La Niña separadamente. O mesmo procedimento foi realizado para analisar o perfil vertical do desvio padrão das anomalias de temperatura para todos os anos e para eventos de El Niño e de La Niña separadamente.

O critério utilizado para identificar ocorrência de eventos de El Niño e La Niña foi a tabela que identifica eventos de El Niño e La Niña elaborada pelo *Climate Prediction Center*, da *National Oceanic and Atmospheric Administration*, disponível no site: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>.

3.3.1 Funções Ortogonais Empíricas (FOE) / *Empirical Orthogonal Functions* (EOF).

Uma das técnicas estatísticas multivariadas mais amplamente utilizadas em meteorologia é a Análise de Componentes Principais ou Funções Ortogonais Empíricas. Ambas nomenclaturas são comumente usadas, e referem-se ao mesmo conjunto de procedimentos (WILKS, 1995).

A EOF reduz um conjunto de dados contendo um grande número de variáveis (no caso anomalias de temperatura do Oceano Pacífico Equatorial) para um conjunto contendo um número bem menor de novas variáveis. Estas, por sua vez, devem representar uma grande fração da variabilidade contida nos dados originais. Isto é, dado múltiplas observações de um dado vetor x (digamos, $K \times 1$ observações), espera-se encontrar ($M \times 1$) vetores u , cujos elementos são função dos elementos de x , que contém a maior parte da informação da coleção original de valores de x , e cuja dimensionalidade é $M \ll K$. Este objetivo pode ser atingido se existe substancial correlação entre as variáveis contidas em x , o que significa que x contém informação redundante. Os elementos destes novos vetores u são chamados de Componentes Principais. Além de constituírem-se em uma representação compacta dos dados originais x , as novas variáveis compreendendo u exibem um atributo muito desejável: são mutuamente não-correlacionadas (JACKSON, 1991).

- Cálculo da EOF pelo Método da Covariância / Análise da Componente Principal (WILKS, 1995):

Baseia-se na análise da matriz correlação (ou covariância), que pode ser obtida da matriz de anomalias padronizadas [Z], expressas em desvios padrões. Se há K variáveis (podem ser estações, pontos de grade, observações, sondagens) com n observações (tamanho da série), a matriz [Z] terá n linhas e K colunas. A matriz correlação é dada por:

$$R = \frac{1}{n-1} [Z]^T [Z] \quad (1)$$

Nesta análise K= número de pontos de grade. Da matriz correlação [R], obtém-se K autovalores λ_m que seguem a relação:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m \quad (2)$$

Cada um dos K autovalores λ_m , correspondem a um autovetor:

$$e_m^t = [e_{1m}, e_{2m}, \dots, e_{km}], m = 1, 2, 3, \dots, k \quad (3)$$

que é um dos K componentes da nova base ortogonal utilizada, na qual os dados serão expressos. As novas variáveis (ou componentes principais) podem ser calculadas projetando-se os dados originais sobre a nova base dada pelos autovetores de [R]:

$$u_m(t) = e_m^t Z(t) = e_{km} Z_k(t), m = 1, 2, 3, \dots, k \text{ e } t = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

Cada autovetor possui K elementos que tem correspondência com cada uma das K regiões e pode ser representado sobre um mapa. Este mapa mostra claramente quais localizações contribuem mais ao respectivo componente principal e quais são as anomalias simultâneas representadas por esse componente principal. Os autovetores representam a distribuição espacial dos modos de variabilidade do campo analisado. Cada um dos K componentes da base fornece uma explicação e da variância total, proporcional ao autovalor correspondente:

$$e_m = \frac{\lambda_m}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k} \quad (5)$$

Na análise sem rotação a orientação do primeiro autovetor no espaço K dimensional é determinada somente pela direção da máxima variação nos dados; os autovetores subsequentes precisam ser ortogonais aos previamente determinados, sem consideração pelos processos físicos que dão origem aos dados.

Agora deve-se verificar se os autovalores são independentes, através de $\delta\lambda$ (NORTH, 1982):

O erro amostral do autovalor é dado por:

$$\delta\lambda \cong \lambda \left(\frac{2}{N}\right)^{1/2} \quad (6)$$

Onde, λ = autovalor e N = número de Eventos Independentes.

Posteriormente, foi realizado o cálculo das Funções Ortogonais Empíricas para anomalias de temperatura para todos os anos para a região de estudo, e foi feito o teste para verificar se os autovalores são independentes. Em seguida foram geradas figuras com o padrão espacial da 1ª EOF e da 2ª EOF e um gráfico mostrando o comportamento da 1ª componente principal, considerada neste estudo como um Índice da Temperatura Oceânica no Pacífico Equatorial (ITOPE).

O mesmo foi feito para o conjunto de reanálise GODAS, afim de validar o novo índice proposto. Desta forma, foi calculada a correlação entre as primeiras e segundas EOFs dos dois conjuntos de reanálise (ORAS4 e GODAS).

Para validar o ITOPE também foi realizada a comparação com o ONI e IOS, e calculada a correlação entre esses dois índices e o ITOPE.

4 RESULTADOS

4.1 Perfil Vertical da Temperatura Oceânica no Oceano Pacífico Equatorial

4.1.1 Perfil Vertical da Temperatura Média Climatológica

Através da Figura 7, observa-se que o perfil vertical da temperatura média climatológica, apresenta-se de forma já esperada, com temperaturas mais elevadas nas camadas superiores do oceano (até ~ 400 m) e temperaturas mais baixas e praticamente homogêneas nas demais profundidades. Nota-se a variação de temperatura entre as quatro regiões do Niño (1+2, 3, 3.4, 4), sendo mais acentuadas nos primeiros níveis de profundidade (5 m à 350 m) e a partir dos 500 m as variações de T, se tornam homogêneas, tanto individualmente (cada região separada) quanto entre si (entre uma região e outra).

Nos primeiros 160 m de profundidade a ordem das regiões mais quentes são: Niño 4, Niño 3.4, Niño 3 e Niño 1+2. Já a partir dos 300 m até ~ 400 m a situação se inverte, ficando a ordem de maior temperatura por região assim: Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4.

Observou-se que as temperaturas possuem pouquíssima variação entre as regiões do Niño com a profundidade, ficando praticamente homogêneas a partir dos 1400 m de profundidade. Porém ainda é possível notar uma pequena diferença na ordem de centésimos de °C entre as regiões do Niño 1+2 e 4 (Figura não mostrada).

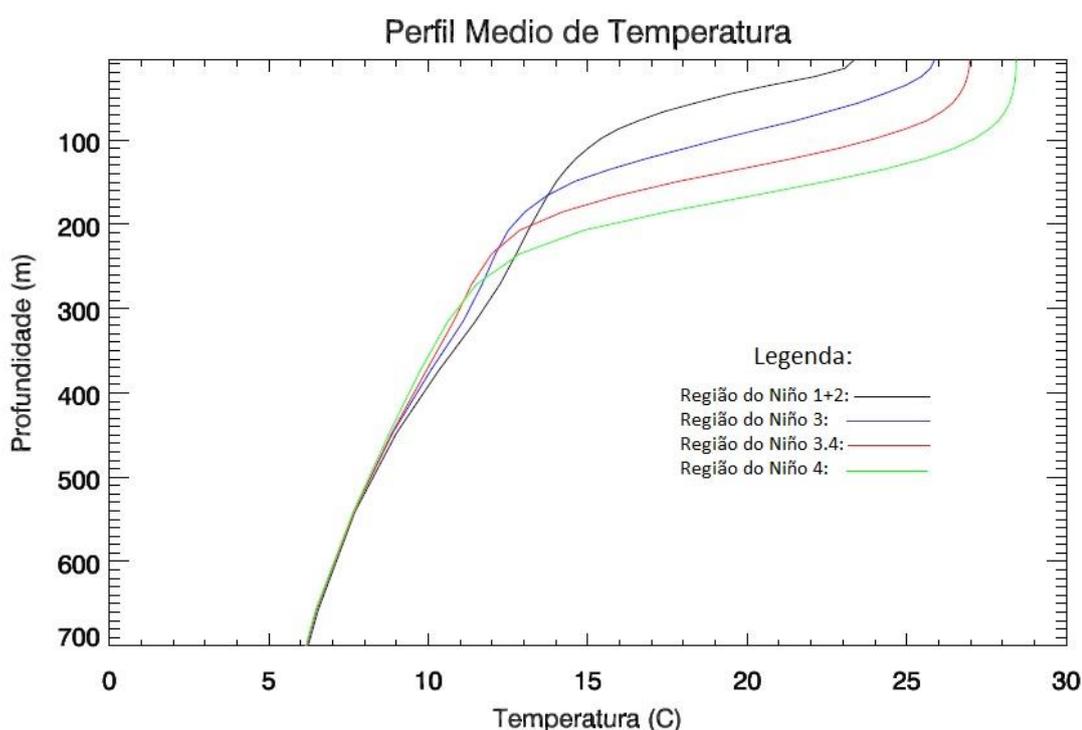


Figura 7. Perfil vertical da temperatura média do Oceano Pacífico para as quatro regiões do Niño (Região 1+2, Região 3, Região 3.4 e Região 4) de 5 m à 700 m de profundidade.

Na Figura 8 que mostra a sessão transversal da temperatura média para região de estudo, as temperaturas são mais elevadas nos primeiros níveis e vão diminuindo com a profundidade, é possível ver claramente a região da termoclina mais profunda no Pacífico Oeste próximo a Austrália, se estendendo até aproximadamente 147 m de profundidade, enquanto que próximo da costa oeste da América do Sul essa camada é mais rasa (até aproximadamente 67 m). Nas camadas inferiores a temperatura vai diminuindo lentamente até atingir a homogeneidade abaixo de 700 m (Figura não mostrada).

A Figura 9 mostram o perfil médio de temperatura oceânica para eventos de El Niño. Consegue-se observar o comportamento típico da termoclina em eventos de El Niño, ela se tornando mais profunda do que o normal junto à costa oeste da AS (80 °W). Nota-se que a temperatura vai diminuindo com a profundidade, mas as temperaturas são um pouco mais elevadas do que a média para todos os anos.

A Figura 10 mostra o perfil médio de temperatura oceânica para eventos de La Niña. O comportamento da termoclina também pode ser visto na figura, ela se torna mais rasa junto à costa oeste da AS.

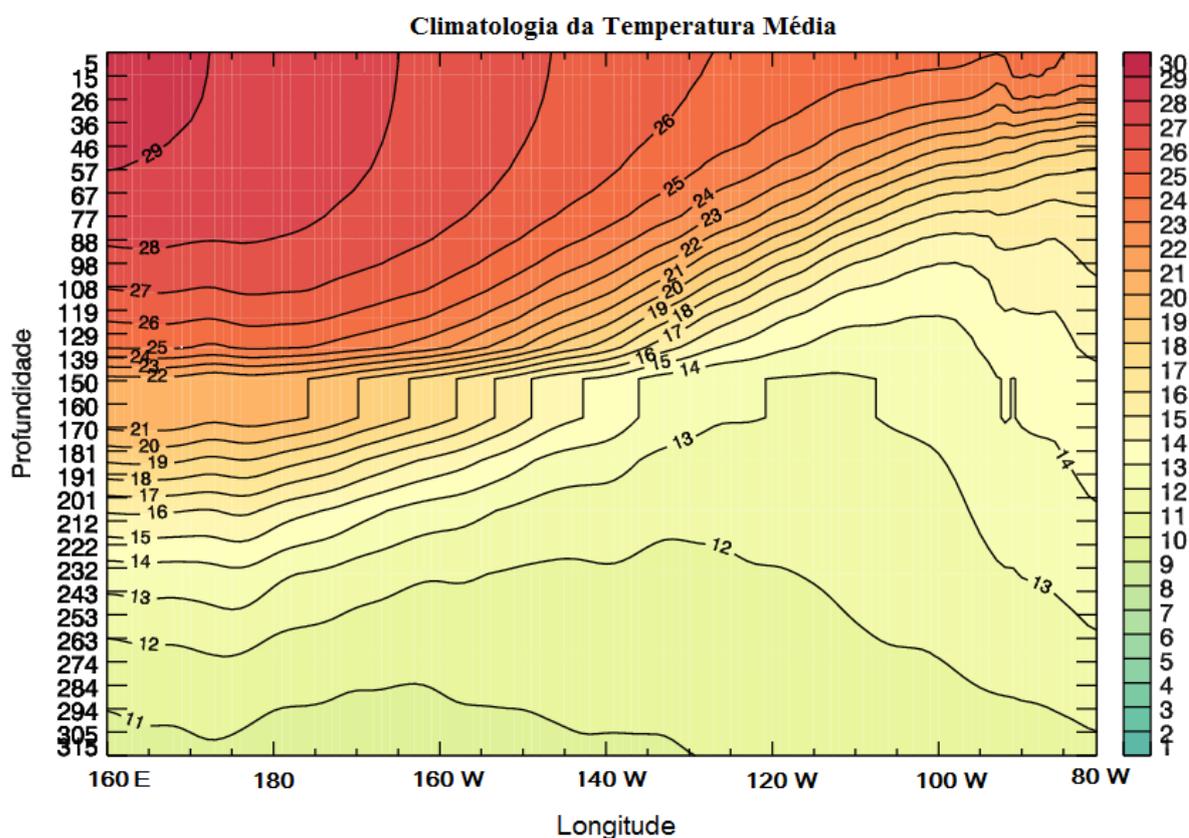


Figura 8. Sessão transversal da temperatura média de 5 m à 315 m de profundidade, para todos os anos. A média foi calculada entre 5 °N à 5 °S.

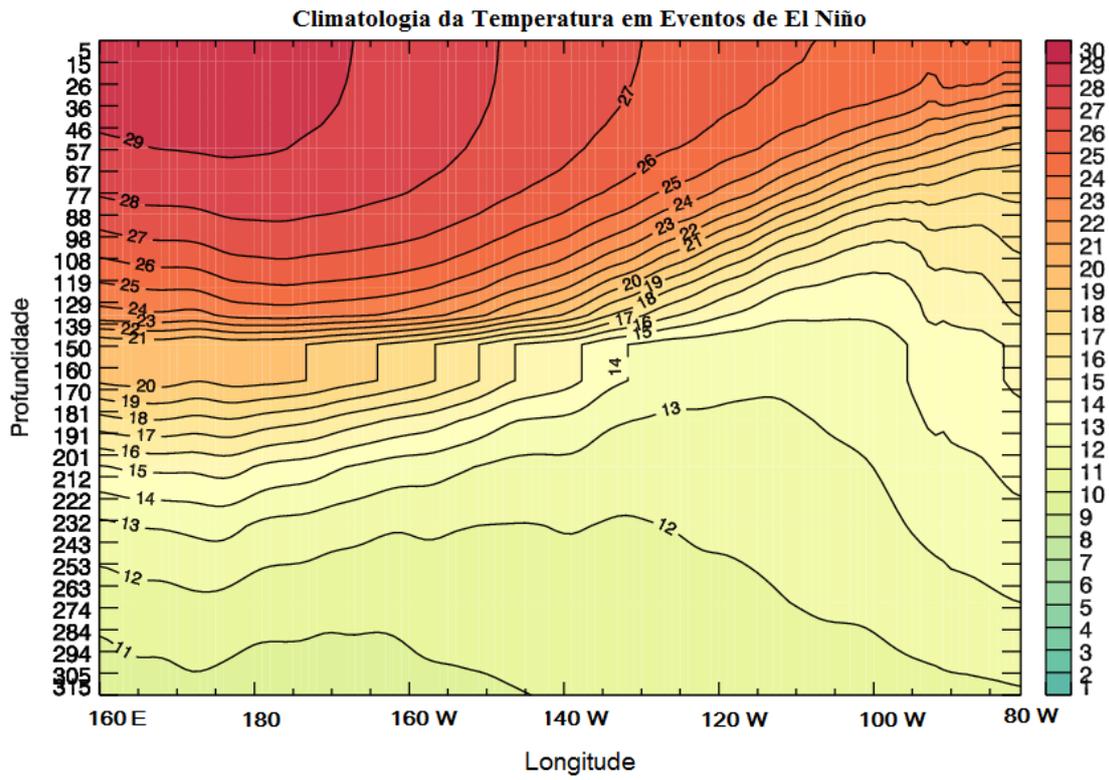


Figura 9. Sessão transversal da temperatura média para eventos de El Niño.

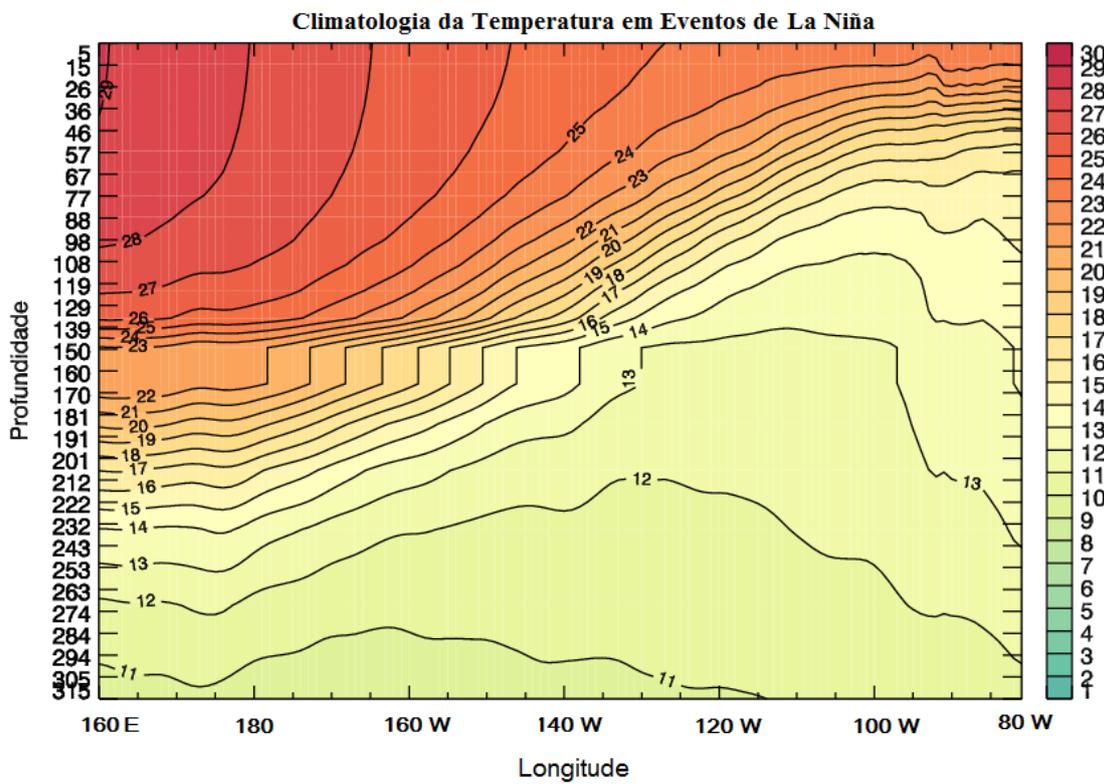


Figura 10. Sessão transversal da temperatura média para eventos de La Niña.

A Figura 11 mostra o desvio padrão da média de temperatura oceânica para todos os anos. Observa-se que os maiores valores de desvio padrão estão nos primeiros 300 m de profundidade e são mais altos na região da termoclina e vão diminuindo com a profundidade.

Na Figura 12 tem-se o desvio padrão da média de temperatura para eventos de El Niño. O desvio padrão é maior na região da termoclina, possuindo os maiores valores entre 80° W – 160° W de longitude e 57 m à 150 m de profundidade, com um pico em 140° W e ~ 125 m. O desvio padrão é menor na região entre 160° E – 160° W e 5 m à 67 m de profundidade e abaixo da camada de 237 m.

Na Figura 13 tem-se o desvio padrão da média de temperatura para eventos de La Niña. O desvio padrão é maior na região da termoclina, com valores maiores entre 160° E – 120° W de longitude e 110 m à 190 m de profundidade. Nas demais regiões o desvio padrão é menor e vai diminuindo com a profundidade.

Destaca-se nestes resultados que a variabilidade da temperatura oceânica é maior no setor central-leste (oeste) do Oceano Pacífico equatorial em anos de El Niño (La Niña).

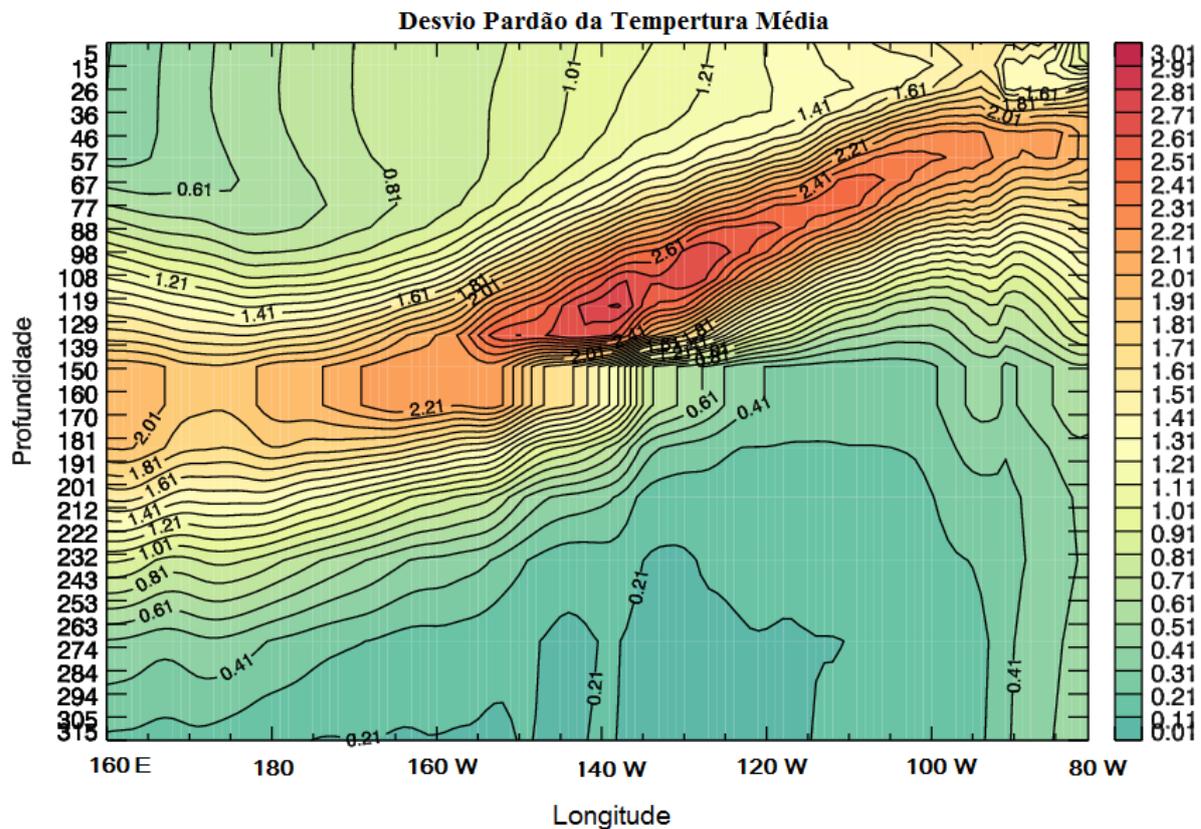


Figura 11. Desvio padrão da temperatura média para todos os anos. A média foi calculada entre 5° N à 5° S.

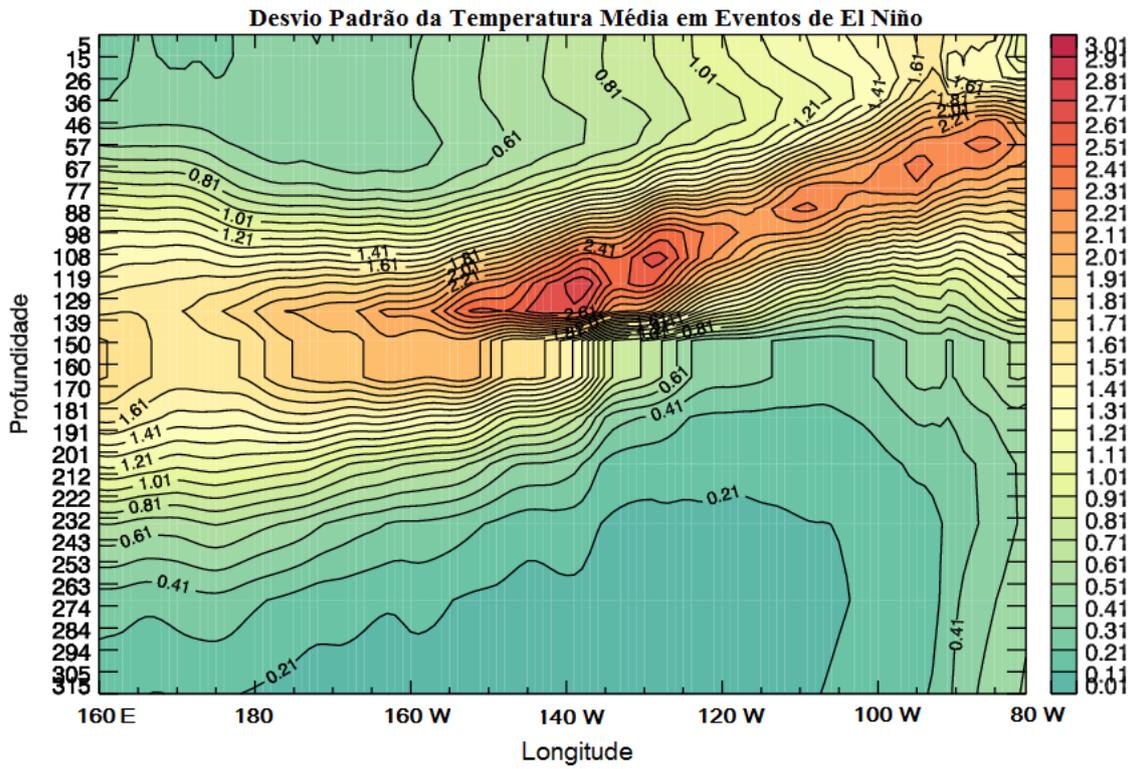


Figura 12. Desvio padrão da temperatura média para eventos de El Niño.

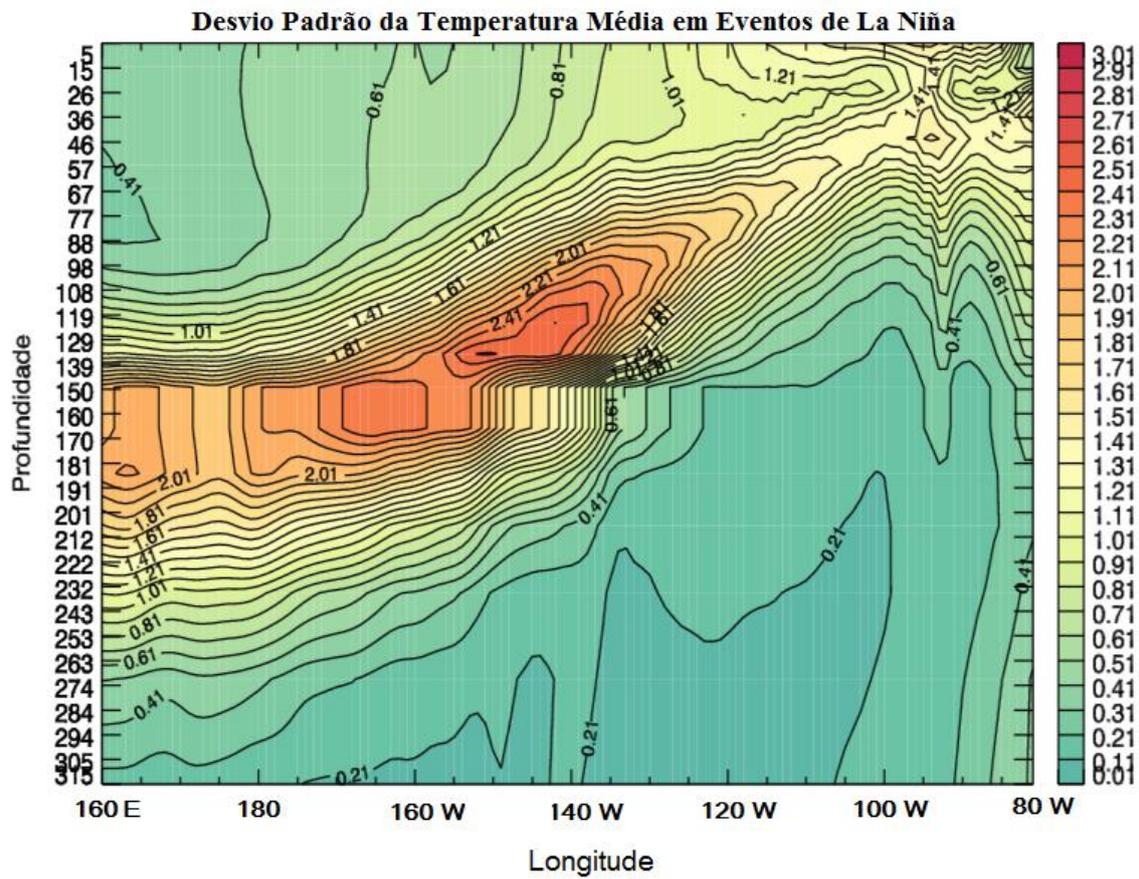


Figura 13. Desvio padrão da temperatura média para eventos de La Niña.

4.1.2 Perfil Vertical das Anomalias de Temperatura

A Figura 14 mostra o perfil vertical das anomalias de temperatura para o Oceano Pacífico na região de estudo para eventos de El Niño. Observa-se que as anomalias positivas se encontram entre 140° W - 80° W de longitude e 5 m à 144 m de profundidade, já as anomalias negativas estão entre 160° E - 160° W de longitude e 74 m à 260 m de profundidade, as anomalias positivas variam entre $1,0^{\circ}\text{C}$ e $3,0^{\circ}\text{C}$ e as negativas variam entre $-0,2^{\circ}\text{C}$ e $-0,4^{\circ}\text{C}$, nas demais regiões as anomalias de T variam entre $0,8^{\circ}\text{C}$ e $-0,2^{\circ}\text{C}$. Nota-se também que os valores mais altos de anomalias tanto positivas quanto negativas são encontrados abaixo de 28 m de profundidade e não próximo a superfície do mar.

A Figura 15 mostra o perfil vertical das anomalias de temperatura para o Oceano Pacífico na região de estudo para eventos de La Niña. As anomalias mais negativas de T são encontradas entre 140° W - 80° W de longitude e 28 m à 144 m de profundidade, já as positivas estão entre 160° E - 160° W de longitude e 74 m à 283 m de profundidade. As anomalias negativas variam entre $-1,5^{\circ}\text{C}$ e $-2,5^{\circ}\text{C}$, as positivas variam entre $0,3^{\circ}\text{C}$ e $1,3^{\circ}\text{C}$, nas demais regiões as anomalias variam entre $0,1^{\circ}\text{C}$ e $-1,3^{\circ}\text{C}$. Nota-se também que os valores mais altos de anomalias positivas e negativas estão abaixo da camada de 28 m de profundidade.

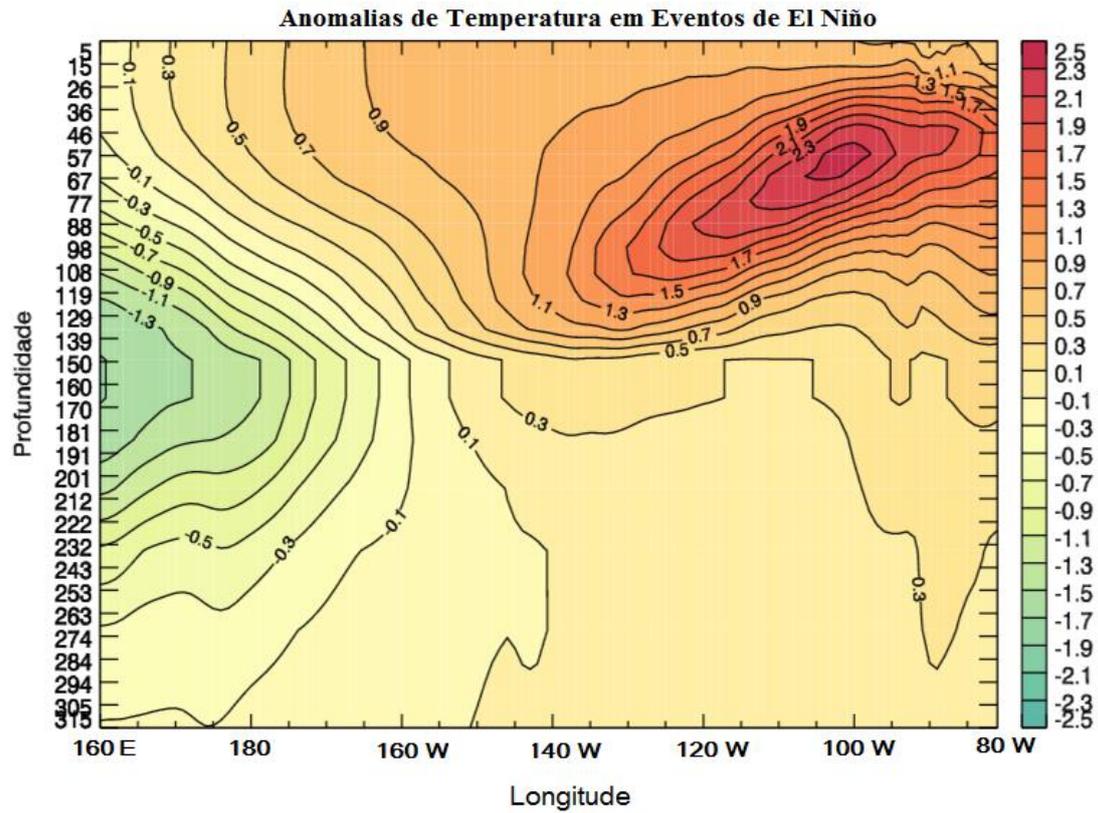


Figura 14. Anomalias de temperatura para eventos de El Niño. A média foi calculada entre 5 °N à 5 °S.

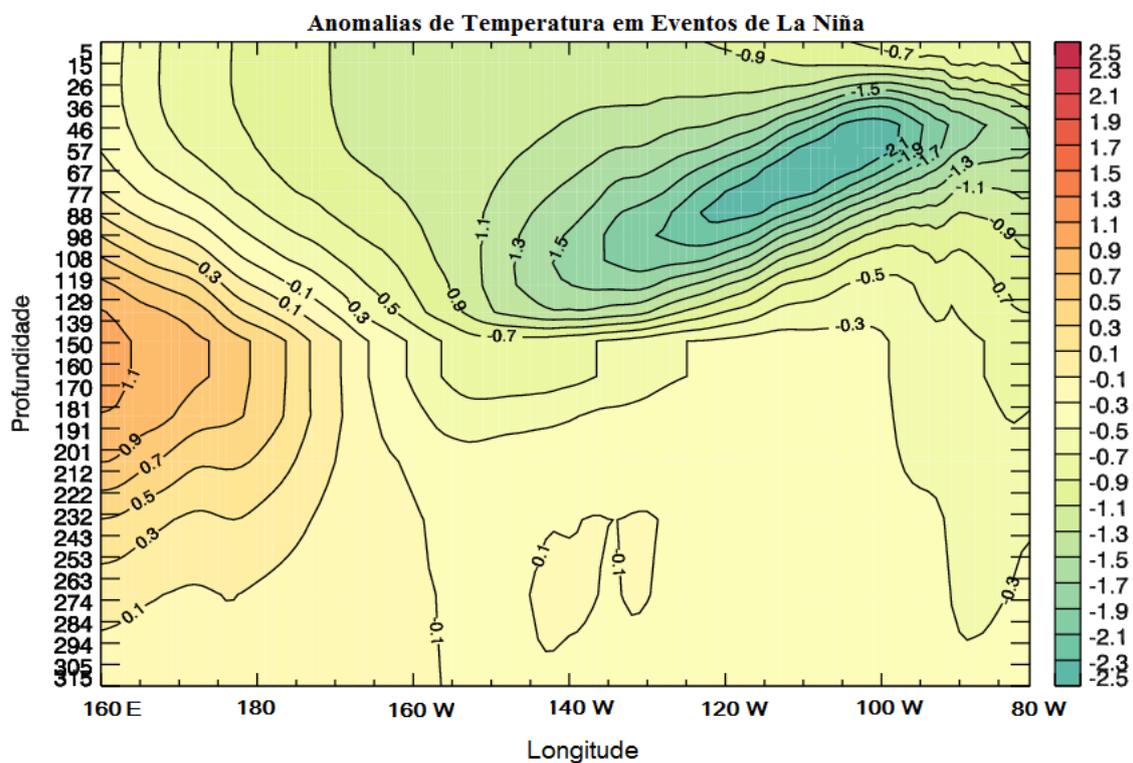


Figura 15. Anomalias de temperatura para eventos de La Niña. A média foi calculada entre 5 °N à 5 °S.

A Figura 16 mostra o desvio padrão das anomalias de temperatura para a região de estudo para todos os anos. Observa-se que os maiores valores de desvio padrão se encontram na região da termoclina, possuindo um máximo entre 115° W – 95° W de longitude e 46 m à 77 m de profundidade além de os maiores valores de desvio padrão estarem abaixo da camada de 26 m de profundidade e não na superfície do oceano. Nas demais regiões o desvio padrão é pequeno e vai diminuindo com a profundidade.

Na Figura 17 tem-se o desvio padrão das anomalias de temperatura para a região de estudo em eventos de El Niño. Os maiores desvios padrões estão na região da termoclina, porém os máximos de desvio padrão estão deslocados bem para leste em relação ao desvio padrão para todos os anos, com um pico em 150° W – 90° W de longitude e 57 m à 77 m de profundidade. Nas demais regiões o desvio padrão é pequeno e vai diminuindo com a profundidade. Novamente os maiores valores de desvio padrão estão abaixo da camada de 27 m de profundidade.

Na Figura 18 tem-se o desvio padrão das anomalias de temperatura para a região de estudo em eventos de La Niña. Os valores máximos são encontrados na região da termoclina, nas demais regiões o desvio padrão é pequeno e vai diminuindo com a profundidade. Nota-se que o pico de máximo do desvio padrão fica localizado no centro do Oceano Pacífico Equatorial em aproximadamente 140° W e 119 m de profundidade.

Os máximos valores de desvio padrão sofrem um aprofundamento na costa leste do oceano, ou seja, em eventos de La Niña os máximos estão entre 129 m e 222 m de profundidade e em eventos de El Niño os máximos estão entre 88 m e 191 m de profundidade. E novamente os maiores valores não estão na superfície e sim abaixo da camada de 27 m.

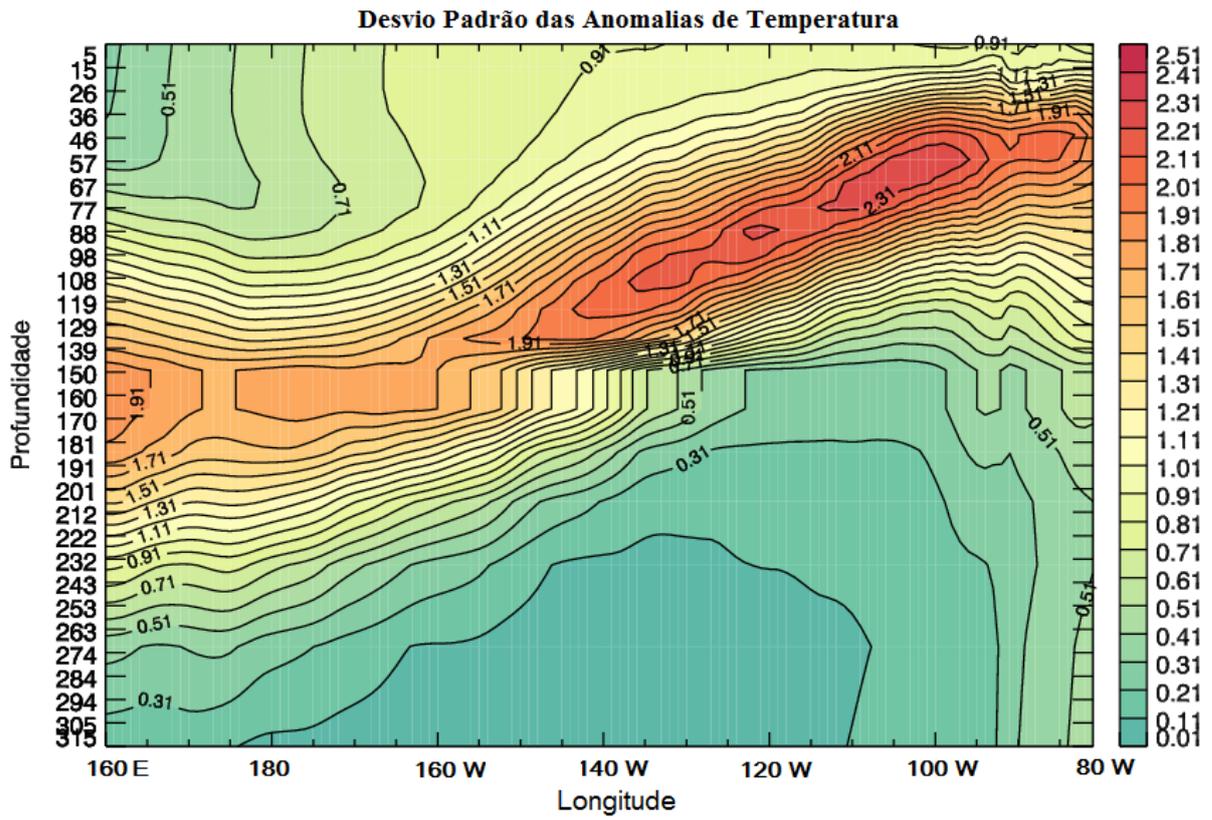


Figura 16. Desvio Padrão das Anomalias de temperatura para todos os anos. A média foi calculada entre 5 °N à 5 °S.

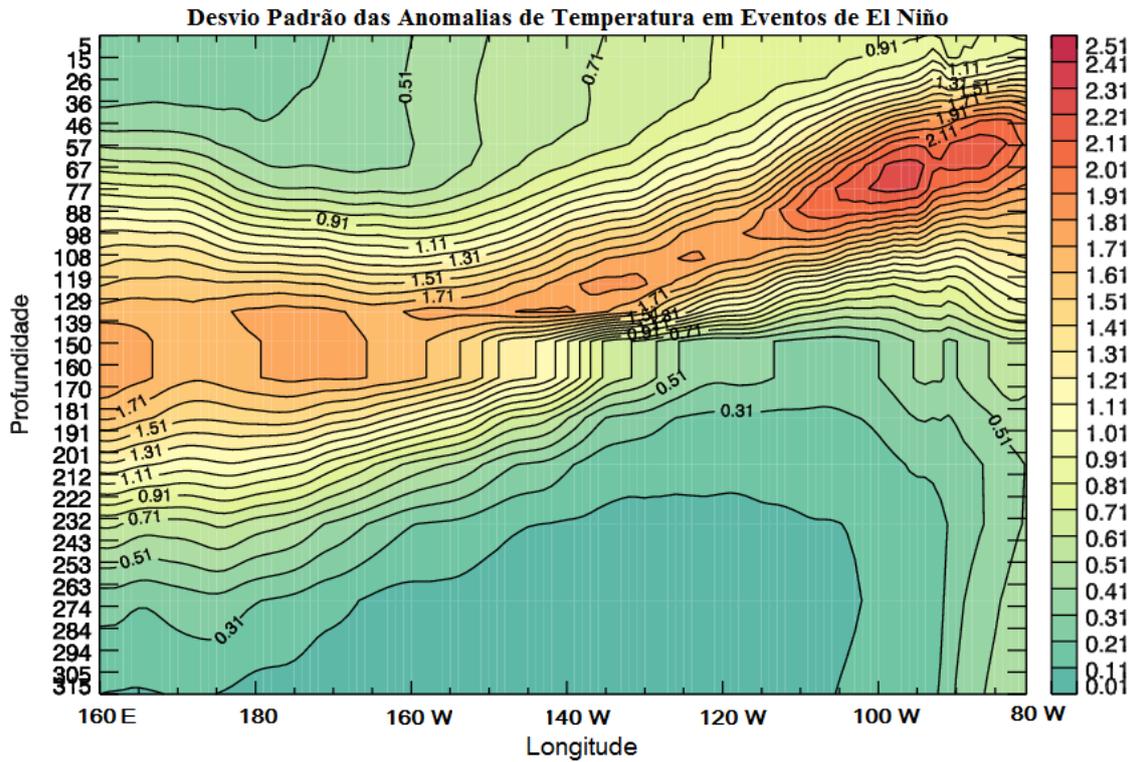


Figura 17. Desvio Padrão das Anomalias de temperatura para eventos de El Niño.

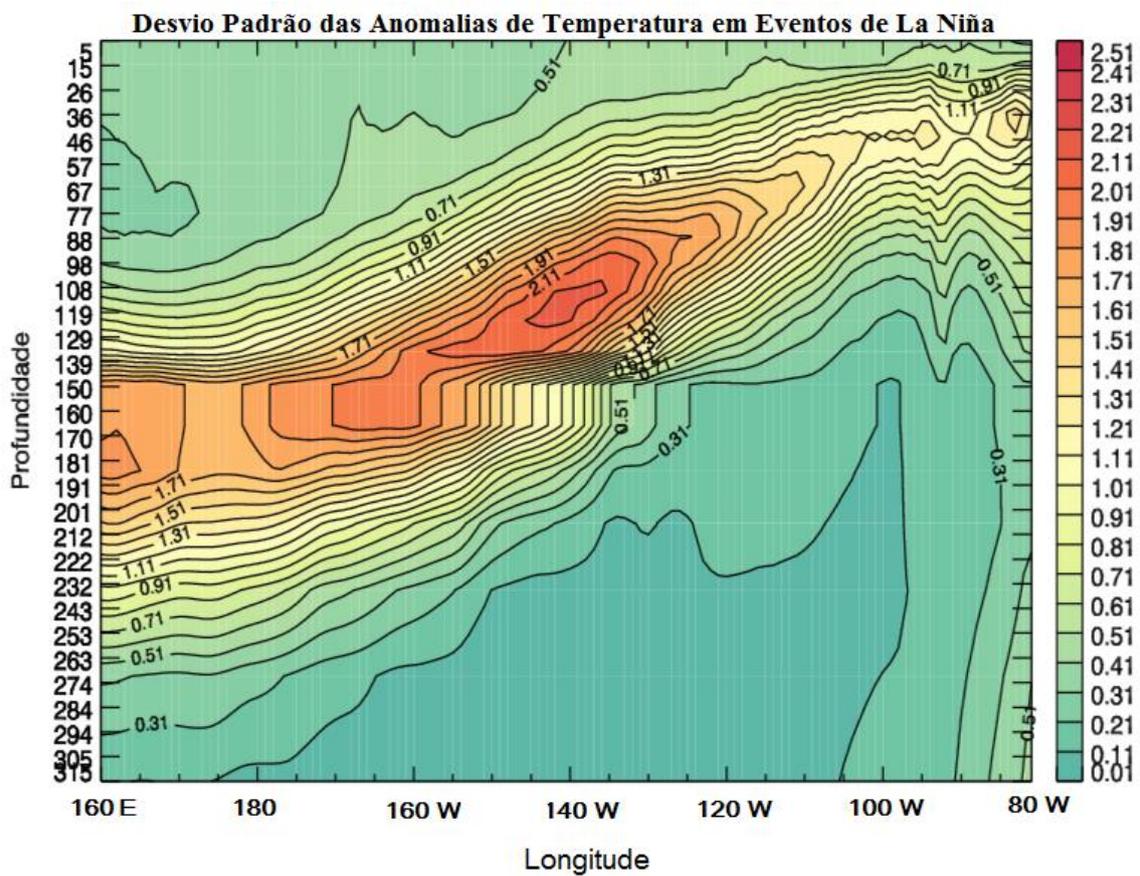


Figura 18. Desvio Padrão das Anomalias de temperatura para eventos de La Niña.

Com isso, foi decidido calcular um índice que represente essa variabilidade da temperatura oceânica abaixo da superfície do mar, no qual seja um indicativo da variabilidade da termoclina em anos de El Niño e de La Niña.

4.2 Análise das EOFs

A Figura 19 mostra o padrão espacial da 1ª EOF do ORAS4, no qual este padrão representa muito bem a correlação entre a 1ª EOF e as anomalias de temperatura no Oceano Pacífico, representando 43 % da variabilidade dessas anomalias.

A Figura 20 mostra o padrão espacial da 1ª EOF do GODAS no qual também este padrão representa muito bem a correlação entre a 1ª EOF e as anomalias de temperatura no Oceano Pacífico, representando 44 % das variabilidades dessas anomalias.

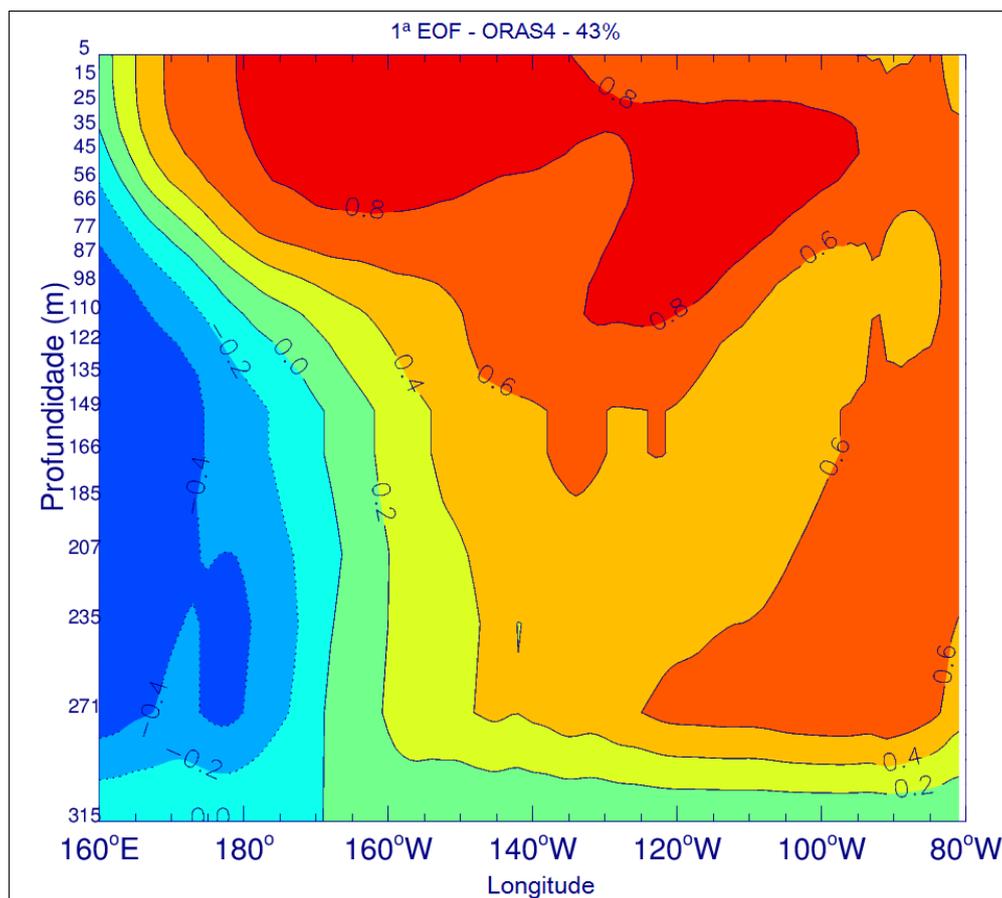


Figura 19. Correlação entre as anomalias mensais de temperatura oceânica no Pacífico Equatorial e sua 1ª EOF para a reanálise ORAS4, para todos os anos (1980 a 2009). A média foi calculada entre 5° N à 5° S.

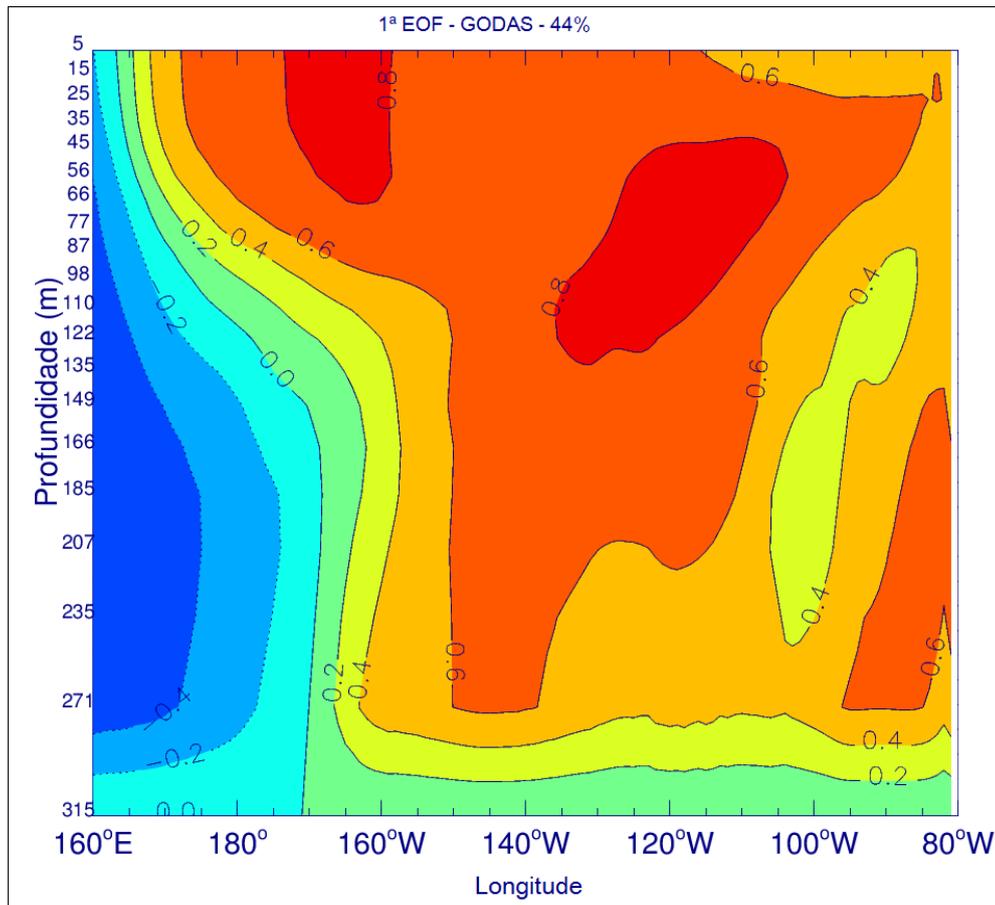


Figura 20. Correlação entre as anomalias mensais de temperatura oceânica no Pacífico Equatorial e sua 1ª EOF para a reanálise GODAS, para todos os anos (1958 a 2009). A média foi calculada entre 5° N à 5° S.

Deste modo, nota-se que ambas EOFs são muito parecidas. A correlação entre as 1ªs EOFs foi de 0,96.

As Figuras 21 e 22 representam o padrão espacial das 2ªs EOFs do ORAS4 e do GODAS respectivamente, ambas possuem padrão espacial bem parecidos com valores de correlação máximos do centro para leste do Oceano Pacifico Equatorial e mínimos entre 125° W e 80° W. A correlação entre elas foi de 0,96. A 2ª EOF do ORAS4 representa 25 % da variabilidade das anomalias de temperatura oceânica na região de estudo e a 2ª EOF do GODAS representa 20 %.

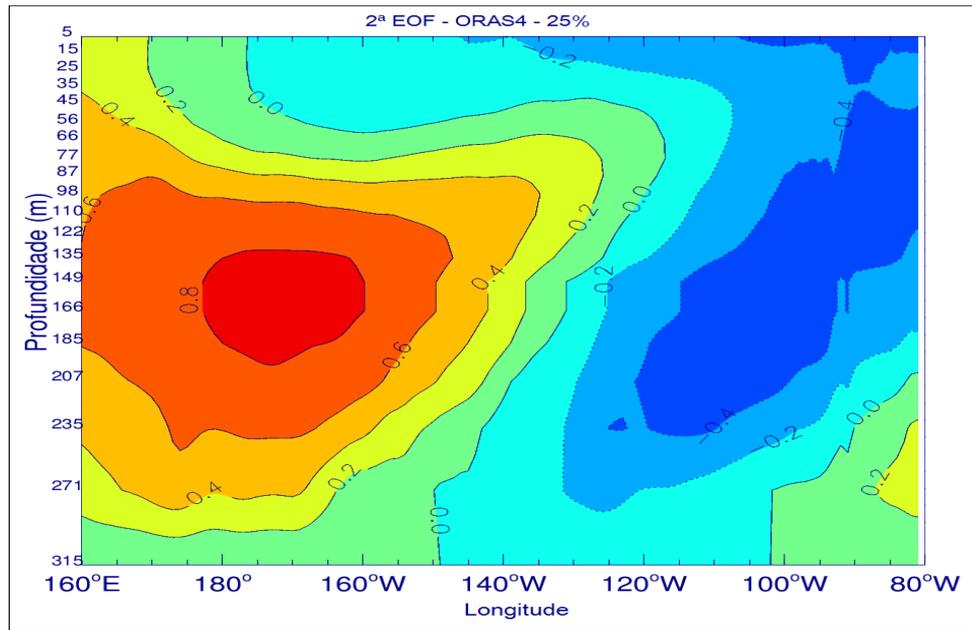


Figura 21. Correlação entre as anomalias mensais de temperatura oceânica no Pacífico Equatorial e sua 2ª EOF para a reanálise ORAS4, para todos os anos (1958 a 2009). A média foi calculada entre 5° N à 5° S.

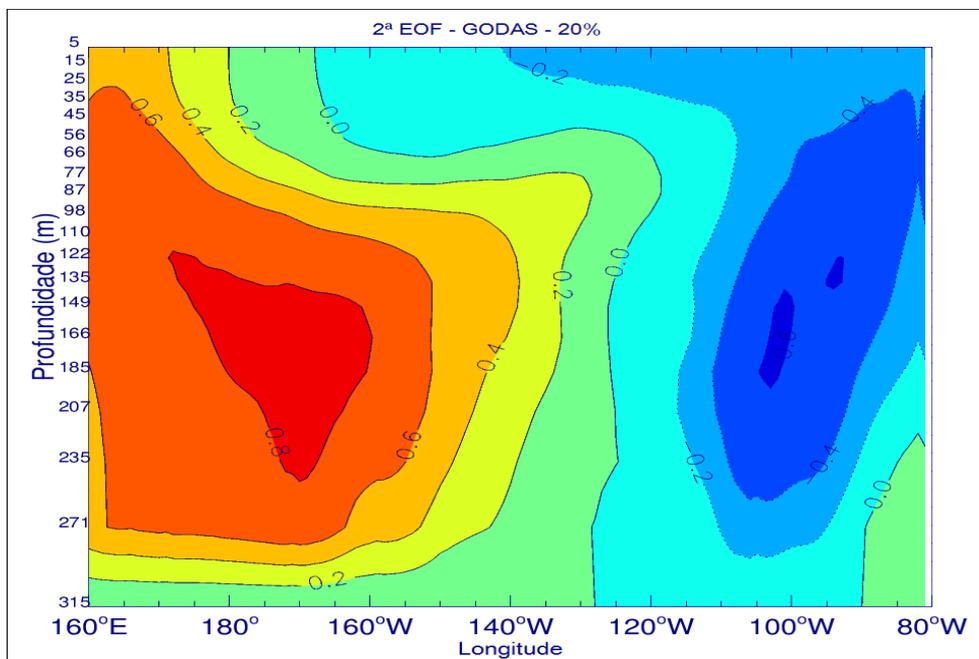


Figura 22. Correlação entre as anomalias mensais de temperatura oceânica no Pacífico Equatorial e sua 2ª EOF para a reanálise GODAS, para todos os anos (1958 a 2009). A média foi calculada entre 5° N à 5° S.

A Figura 23 mostra se as EOFs são ou não independentes, neste caso somente as 2 primeiras EOFs são independentes, pois suas barras de erros não se interceptam.

A Figura 24 mostra o comportamento do índice ITOPE e sua linha de tendência. Observa-se anomalias de temperatura positivas e negativas ao longo dos anos, indicando ocorrência de El Niño e La Niña. Há uma pequena tendência negativa do índice, porém muito pequena na ordem de 10^{-5} .

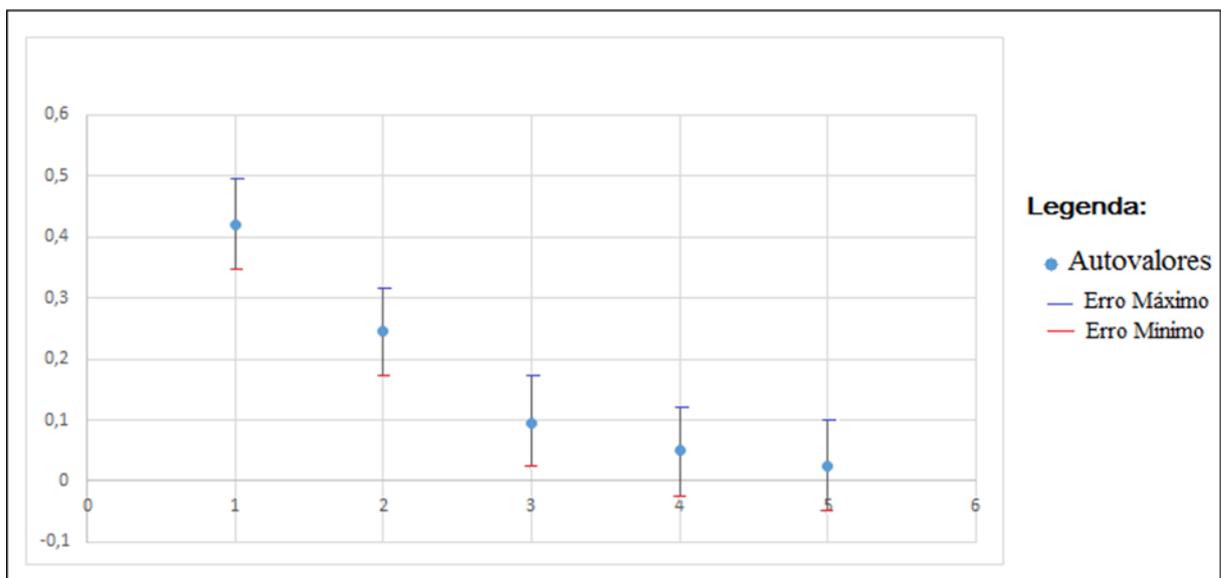


Figura 23. Cinco primeiros Autovalores das EOFs do ORAS4, mostrando as barras de erros.

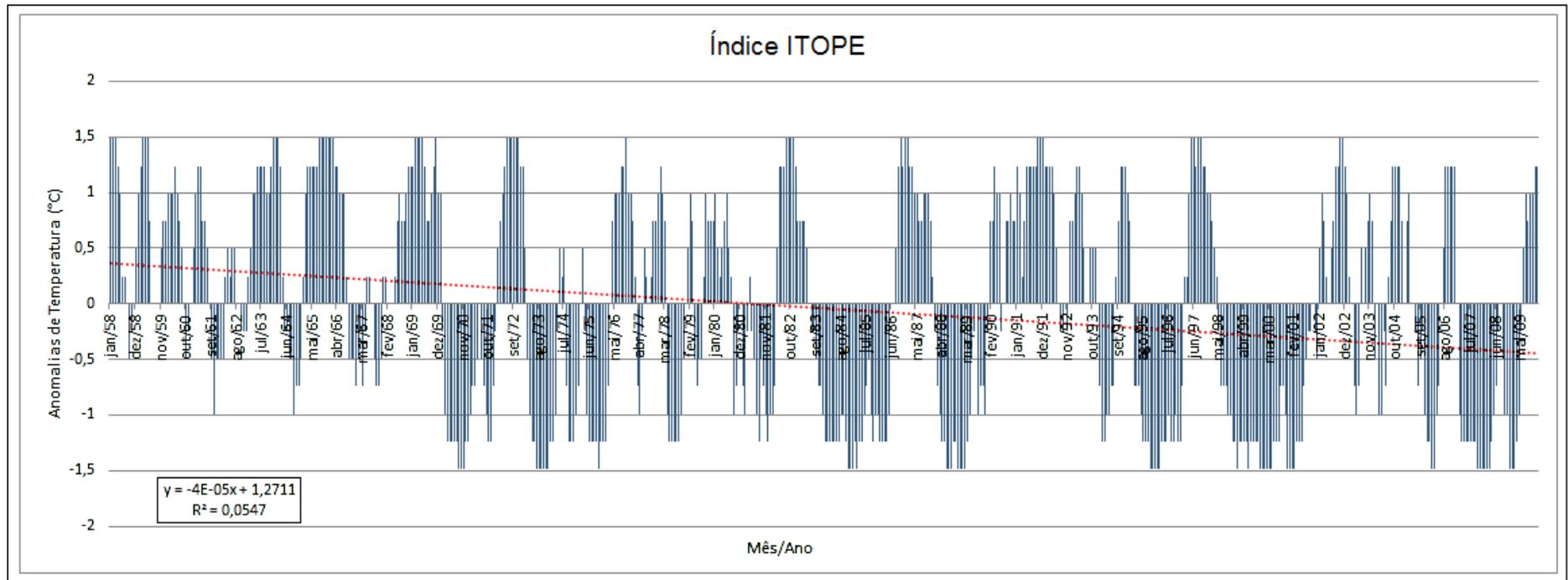


Figura 24. Comportamento do Índice de Temperatura Oceânica do Pacífico Equatorial (ITOPE) e sua linha de tendência, para o período de 1958 a 2009.

A Figura 25 mostra a relação entre a 1ª EOF do ORAS4 e a 1ª EOF do GODAS.

Observa-se que ambas as EOFs possuem praticamente os mesmos valores de anomalias positivas e negativas de temperatura e possuem uma correlação muito alta de 0.96.

A Figura 26 mostra a relação do Índice ITOPE com o Índice ONI. Observa-se que o índice ITOPE consegue identificar anos de El Niño, La Niña e Neutros, assim como o índice ONI. Nos anos em que ocorreram El Niños (La Niñas) fortes e moderados os sinais de aquecimento (resfriamento) do oceano foram detectados pelo ITOPE um pouco antes de serem detectados pelo ONI. Assim a camada mais abaixo da superfície do oceano (representada pelo índice ITOPE) apresenta um aquecimento (resfriamento) anterior ao aquecimento (resfriamento) da superfície do mar (representada pelo índice ONI). A correlação entre o ONI e o ITOPE é de 0,80.

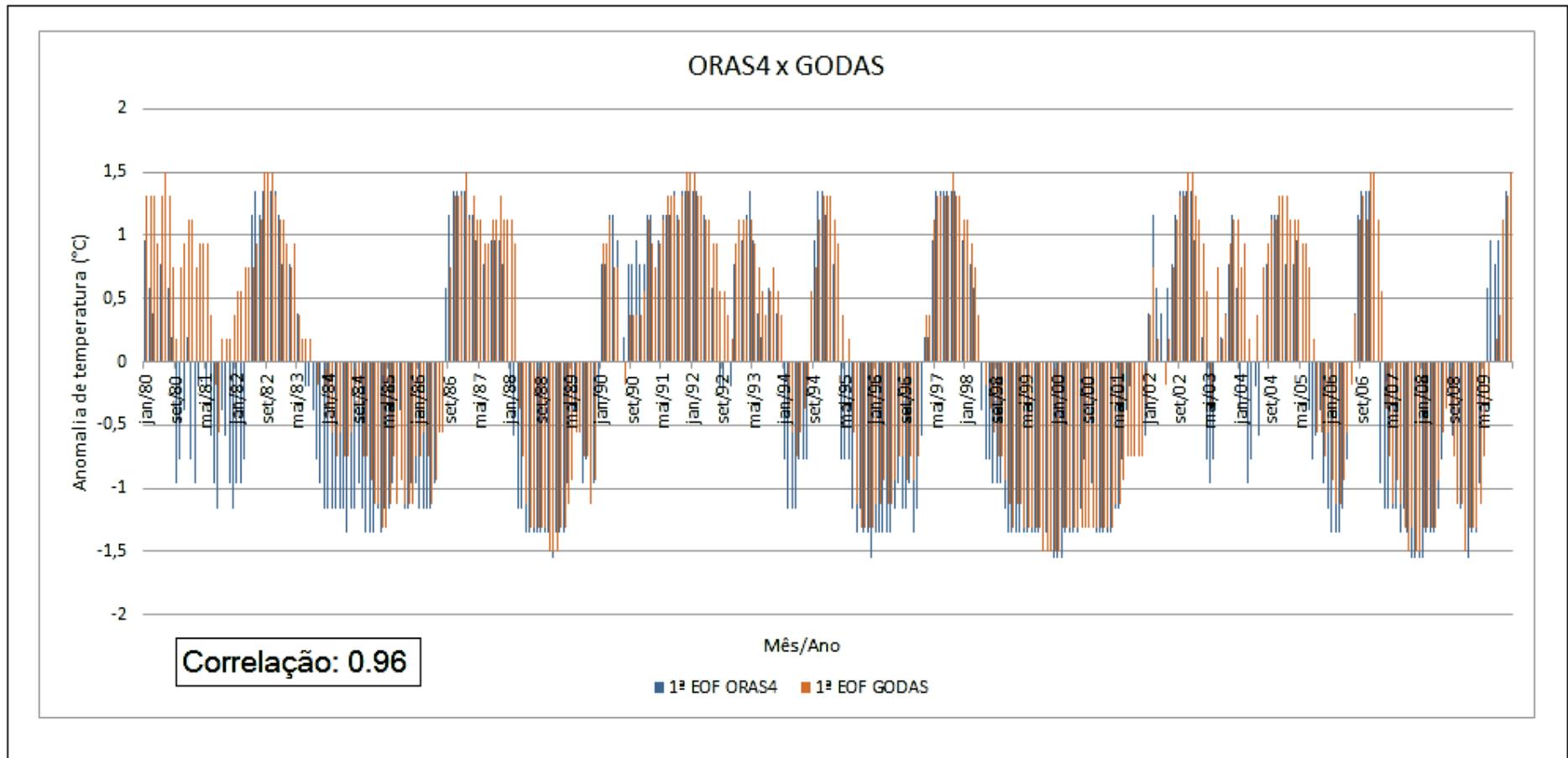


Figura 25. Comparação e correlação entre a primeira EOF do ORAS4 com a primeira EOF do GODAS.

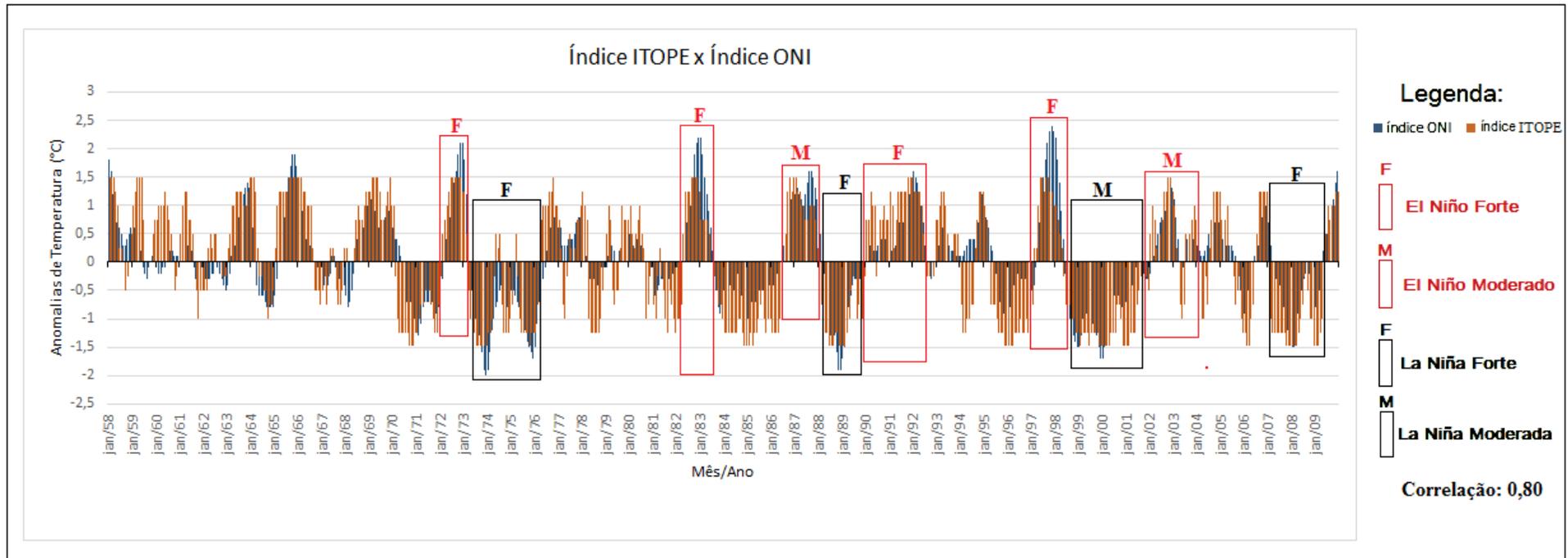


Figura 26. Comparação e correlação entre o Índice ONI e o Índice ITOPE, para o período de 52 anos (1958 a 2009), com a identificação dos eventos Fortes e Moderados de El Niño e La Niña.

As Figuras 27 e 28 mostram a relação entre o Índice de Oscilação Sul e o ITOPE, para o período de 1958 à 2009 e 1980 à 2009 respectivamente.

Nota-se que eles estão de acordo com os critérios estabelecidos para caracterizar El Niños e La Niñas. Em anos de ocorrência de El Niño observamos o índice IOS negativo e o índice ITOPE positivo, ou seja, o oceano (representado pelo ITOPE) e a atmosfera (representada pelo IOS) estão ambos indicando El Niño. O mesmo ocorre para anos de La Niña, uma vez que o índice IOS está positivo e o índice ITOPE está negativo, configurando um evento de La Niña. A correlação entre o índice IOS e o índice ITOPE é de -0,61, e a relação entre o índice IOS e o índice ONI é de -0,71, isso mostra que ambos os índices oceânicos possuem uma alta correlação com o índice atmosférico, validando ainda mais o índice ITOPE.

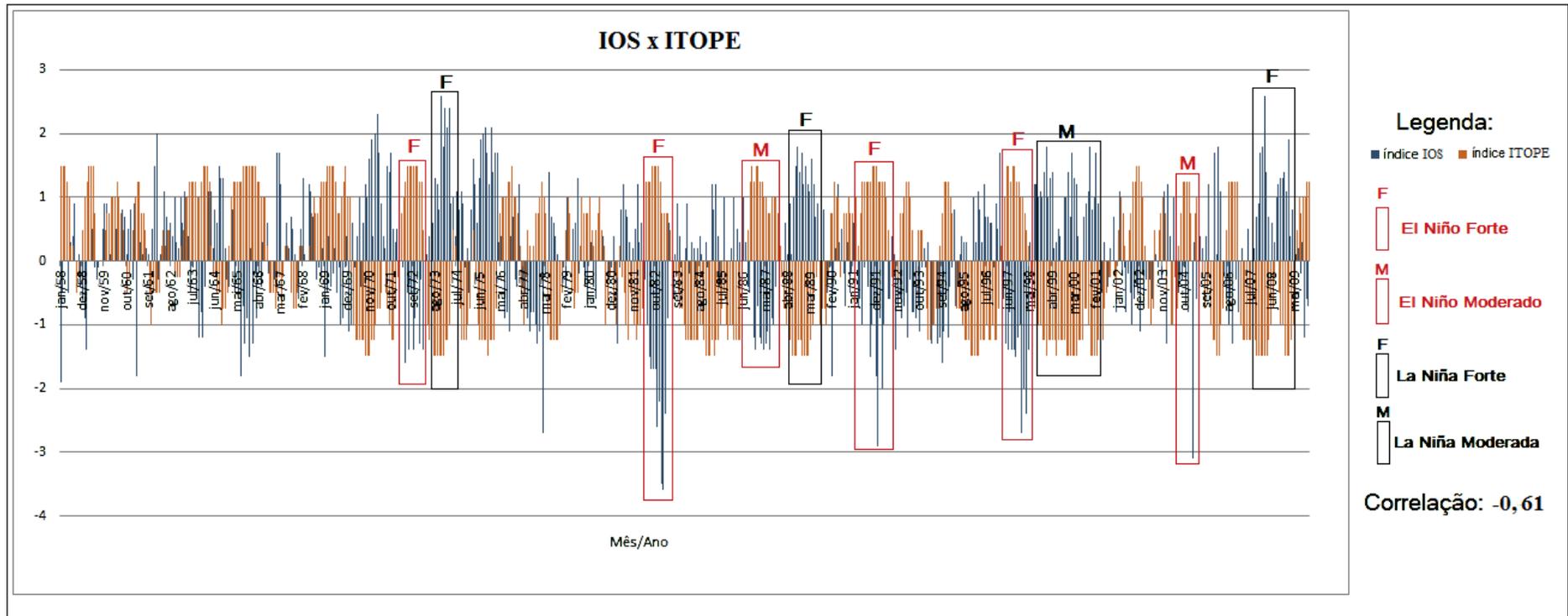


Figura 27. Relação entre o Índice de Oscilação Sul (IOS) e o Índice de Temperatura Oceânica do Pacífico Equatorial (ITOPE), para o período de 1958 a 2009 e sua correlação.

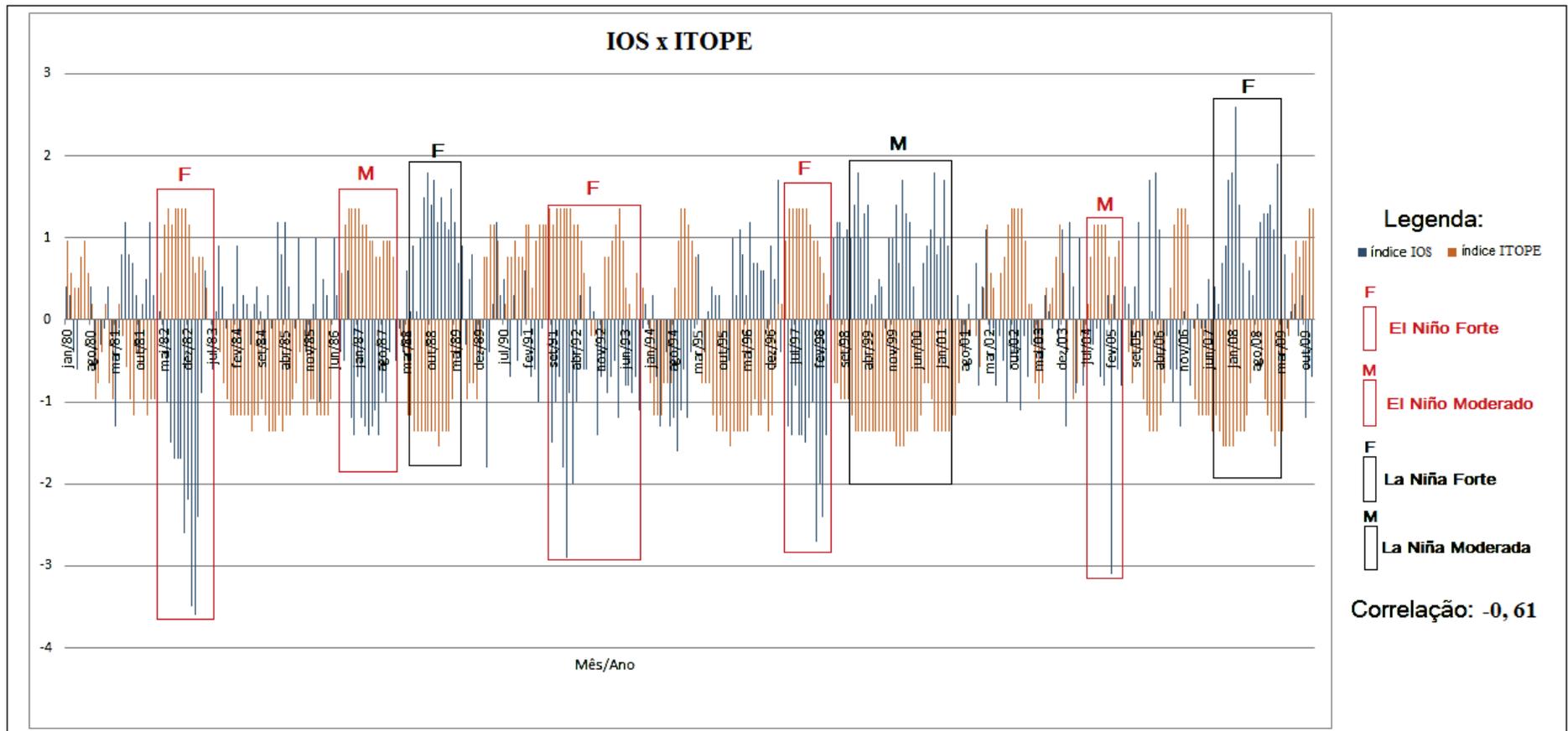


Figura 28. Relação entre o Índice de Oscilação Sul (IOS) e o Índice de Temperatura Oceânica do Pacífico Equatorial (ITOPE), para o período de 1980 a 2009 e sua correlação.

5 CONCLUSÕES

Através da realização do presente estudo foi possível obter as seguintes conclusões:

Os três conjuntos de reanálises apresentaram o mesmo padrão de temperatura potencial em todas as camadas de profundidade. O Oceano Atlântico é mais quente que o Oceano Pacífico e o Oceano Índico nas camadas inferiores (~ 350 m à ~ 2200 m), seguido pelo Oceano Índico e depois pelo Oceano Pacífico. Nas camadas superiores (5 m à ~ 300 m) o Oceano Pacífico é mais quente que os demais, seguido pelo Oceano Índico e Oceano Atlântico. Na camada de 700 m à 2000 m há um sinal de aquecimento, com temperaturas variando entre 4°C e 14°C, abaixo dessa camada as temperaturas se tornam mais homogêneas (-1°C e 3°C).

Com a análise diferencial entre as reanálises, conclui-se que as maiores diferenças de temperatura entre as reanálises estão nas regiões polares e as diferenças de temperatura vão diminuindo com a profundidade até não haver mais diferenças a partir dos 600 m. Deste modo, podemos trabalhar com qualquer uma das reanálises pois seus conjuntos de dados são muito parecidos. No entanto, optou-se por utilizar o ORAS4 por ser um conjunto de dados muito difundido em estudos climáticos recentes.

Com a análise do perfil vertical da temperatura média do Oceano Pacífico Equatorial, foi possível concluir que as maiores temperaturas se encontram nas primeiras camadas do oceano e vão diminuindo com a profundidade, como era esperado. Em relação ao perfil das anomalias de temperatura tem-se que tanto as maiores anomalias positivas quanto as maiores negativas se encontram abaixo da camada de 26 m de profundidade e não próximo a superfície; isso é válido para todos os anos e para anos de ocorrência de El Niño e La Niña separadamente. O desvio padrão das anomalias de temperatura também mostrou seus maiores valores abaixo de 26 m.

Os padrões espaciais das primeiras EOFs do ORAS4 e do GODAS representam muito bem as anomalias de temperatura na região de estudo. Através da correlação entre essas primeiras EOFs tem-se que o índice ITOPE é válido em qualquer conjunto de dados.

O índice ITOPE conseguiu detectar eventos de ENOS com um período de antecedência maior que o índice ONI, principalmente em anos de ocorrência de EN. Com relação ao índice IOS o índice ITOPE caracteriza muito bem os eventos de ENOS.

Por fim, conclui-se que o novo índice proposto (Índice ITOPE) pode ser utilizado para determinação (caracterização) de eventos de ENOS com a mesma precisão que o ONI, e com superior precisão para a previsão de eventos de ENOS, uma vez que detecta estes eventos com

alguns meses de antecedência em relação ao Índice de Niño Oceânico. Assim podemos acrescentar mais uma ferramenta que nos ajudará a prever e entender melhor os eventos de ENOS.

Com isso, todos os objetivos do presente trabalho foram alcançados e foram obtidos resultados inéditos e muito importantes para a ciência e para a compreensão de um dos fenômenos que mais influenciam o clima da AS e afetam a sociedade como um todo.

5.1 Sugestões Para Trabalhos Futuros

- Explorar a 2ª EOF do ORAS4, do mesmo modo que foi feito para a 1ª EOF do ORAS4.
- Elaborar uma previsão estatística de ENOS usando a 1ª EOF (o índice ITOPE).
- Correlacionar o ITOPE com períodos de chuva e seca na América do Sul.
- Elaborar a Análise Espectral da série temporal do ITOPE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdi. H., Williams, L.J., 2010: Principal component analysis.. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, 2: 433-459.

Ambrizzi, T., 2003: El Niño/Oscilação Sul e Teleconexões atmosféricas no Hemisfério Austral. *Tese de Livre Docência*.

Antonov, J. I., S. Levitus, and T. P. Boyer (2002): Steric sea level variations during 1957– 1994: Importance of salinity, **J. Geophys. Res.**, 107(C12), 8013, doi: 10.1029/2001JC000964.

Balmaseda, M. A., K. Mogensen, and A. T. Weaver (2013), Evaluation of the ECMWF Ocean Reanalysis ORAS4, **Q. J. R. Meteorol. Soc.**, doi:10.1002/qj.2063.

Barnston, AG, M. Chelliah, e SB Goldenberg, 1997: Documentation of a highly ENSO-related SST region in the equatorial Pacific. **Atmos.-Ocean**, 35, 367-383.

Behringer, D.W., Xue, Y., 2004: Evaluation of the global ocean data assimilation system at NCEP: The Pacific Ocean. Eighth Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans, and Land Surface, AMS 84th Annual Meeting, Washington State Convention and Trade Center, Seattle, Washington, 11-15. Derber, J.C., and A. Rosati, 1989: **A global oceanic data assimilation system. J. Phys. Oceanogr.**, 19, 1333-1347.

Behringer, D. W., 2007: The Global Ocean Data Assimilation System (GODAS) at NCEP. Preprints, 11th Symp. **On Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans, and Land Surface**, San Antonio, TX, Amer. Meteor. Soc., 3.3.

Bindoff, N. L. et al. in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (eds Solomon, S. *et al.*) 385–428 (CambridgeUniv. Press, 2007).

Borgnakke, Sonntag. *Fundamentals of Thermodynamics, 7th edition*. [S.I.]: Wiley, 2009. 146 p. ISBN 978-0-470-04192-5.

Box, D., A Brief Introduction. Essential COM. 1 ed. [S.l.]: **Addison-Wesley**, 1998. 464 p. ISBN 0-201-63446-5.

Carton, A. G.; Giese, B. S.: A reanalysis of ocean climate using simple ocean data assimilation soda. **Monthly Weather Review**, v. 136, p. 2999{3017, 2008. 25}

Chepurin, G. A., J. A. Carton, and D. Dee, 2005: Forecast model bias correction in ocean data assimilation. **Mon. Wea. Rev.**, 133, 1328–1342.

Church, J. A., et al., 2011: Revisiting the Earth's sea level and energy budgets from 1961 to 2008. **Geophysical Research Letters**, 38, L18601.

Dee D.P., et al., 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. **Q. J. R. Meteorol. Soc.** 137: 553–597.

Easterling, D. R., Wehner, M. F. (2009): Is the climate warming or cooling, **Geophys. Res. Lett.**, 36, L08706, doi: 10.1029/2009GL037810.

Jackson, J. E., 1991. A User's guide to Principal Components. **John Willey & Sons, NY**.

Folland, C. K., D. E. Parker, A. (1999): Colman, and R. Washington, Large scale modes of ocean surface temperature since the late nineteenth century, in *Beyond El Nino: Decadal and Interdecadal Climate Variability*, edited by A. Navarra, **Springer-Verlag, Berlin**.

Garreaud, R. D., Battisti, D. S. (1999): Interannual (ENSO) and interdecadal (ENSO-like) variability in the Southern Hemisphere tropospheric circulation, **Journal of Climate**, 12(7), 2113–2123.

Grimm, A. M. (2003): The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, 16, 263-280.

Katsman, C. A., Van Oldenborgh G. J. (2011): tracing the upper ocean's "missing heat". **Geophys. Res. Lett.**, 38, L14610, doi: 10.1029/ 2011GL048417.

Kouketsu, S., et al. (2011), Deep Ocean heat content changes estimated from Observation and reanalysis product and their influence on sea level change, *J. Geophys. Res.*, 116, C03012, doi: 10.1029/2010JC006464.

Le Quéré, C., T. Takahashi, E. T. Buitenhuis, C. Roedenbeck, and S. C. Sutherland, 2010: Impact of climate change and variability on the global oceanic sink of CO₂. *Global Biogeochemical Cycles*, 24, Gb4007.

Levitus, S., et al. (2012), World ocean heat content and thermosteric sea level change (0–2000 m), 1955–2010, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L10603, doi: 10.1029/2012GL051106.

Levitus, S., and Antonov, J. I., Climatological and Interannual Variability of Temperature, Heat Storage and Rate of Heat Storage in the Upper Ocean. *NOAA NESDIS Atlas 16* (U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1997).

Lyman J. M., et al. (2010), Robust warming of the global upper ocean, *Nature*, **465**, 334–337, doi: 10.1038/nature09043.

Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace, Francis, R. C. (1997): A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(6), 1069–1079.

Meehl, G. A., J. Arblaster, J. Fasullo, A. Hu, and K. Trenberth (2011), Modelbased evidence of deep ocean heat uptake during surface temperature hiatus periods, *Nat. Clim. Change*, 1, 360–364, doi: 10.1038/NCLIMATE1229.

Mikaloff-Fletcher, S. E., et al., 2006: Inverse estimates of anthropogenic CO₂ uptake, transport, and storage by the ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 20, Gb 2002.

North, G. R., 1982: Empirical Orthogonal Functions and Normal Modes. To appear in *Amer. J. Phys.*

Oliveira, G., S., 2001: São José dos Campos, SP, Ed. Transtec. **El Niño e Você – o fenômeno climático.**

Palmer, M. D., D. J. McNeall, Dunstone, N. J. (2011): Importance of the deep ocean for estimating decadal changes in Earth's radiation, **Geophys. Res. Lett.**, 38, L13707, doi: 10.1029/2011GL047835.

Peixoto, J. P. and Oort, A. H., **Springer-Verlag New York, Inc** Physics of Climate – 1992.

Philander, S. G. H., **Academic Press**. El Niño, La Niña and the Southern Oscillation, San Diego, CA, 289 pp. 1990.

Purkey, S. G., Johnson, G.C. (2010): Warming of global abyssal and deep southern ocean between the 1990s and 2000s: contributions to global heat and sea level rise budgets, **J. Clim.**, 23, 6336–6351.

Rasmussen, E. M. e Carpenter T. H. (1982): Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. **Mon. Wea. Rev.**, 110 , 354-384.

Ropelewski, C. F. e Halpert, M. S. (1986): North American precipitation and temperature patterns associated with the El Niño Southern Oscillation (ENSO). **Mon. Wea. Rev.**, 114 , 2352-2362.

Ropelewski, C. F. e Halpert, M. S. (1987): Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Mon. Wea. Rev.**, 115 , 1606-1626.

Sabine, C. L., et al., (2004): The Oceanic sink for Anthropogenic CO₂. **Science**, 305, 367-371.

Schmitt, R. W., (2008): Salinity and the global water cycle. **Oceanography**, 21, 12-19.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Homepage do IPCC, [2013].
Disponível em: < <http://www.ipcc.ch/report/ar5/index.shtml>>. Acesso em: 27 set. 2013.

Trenberth, K.E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, p. 2771-2777, 1997.

Uppala S. M., et al., 2005. The ERA-40 reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*: 2961–3012.

Walker, G.T. and Bliss, E.W., 1932. World Weather V. *Memoirs of the Royal Meteorological Society*, 4, 53-84.

WILKS, D. S., 1995. **Academic Press**. Statistical methods in the atmospheric sciences.

APÊNDICE

Apêndice A - Análise Climatológica da Temperatura do Oceano Global

Nas camadas superiores (5 m – 207 m de profundidade, correspondente aos níveis 0 - 16) os três conjuntos de reanálises possuem o mesmo padrão de temperatura potencial. A região entre 30° N e 30° S é mais quente com temperaturas variando entre 22°C e 30°C e nos polos as temperaturas variam entre -2°C e 2°C, como esperado (Figuras 1 a 16).

Na reanálise do GODAS nas faixas de longitude de 45° W e 90° W e latitude de 20° S e 20° N (entre a costa leste da África e a Oceania) tem-se valores de temperatura um pouco abaixo do que se observa no conjunto ORAS4 e SODA (Figuras 1 e 2). Neste setor, as temperaturas variam entre 28° C e 30°C no ORAS4 e SODA, no GODAS as temperaturas variam entre 24°C e 26°C.

A partir da camada de 25 m (Figura 3), observa-se no GODAS e no SODA que na região da costa do Peru há um resfriamento em relação ao ORAS4, após essa camada de 25 m essa “língua” menos quente é visível nos três conjuntos de reanálises, com temperaturas variando entre 18°C e 20°C.

Em geral nas três reanálises a temperatura vai diminuindo com a profundidade com já se era esperado, com uma queda mais rápida próxima à costa do Peru entre 90° W e 35° W. Nota-se também, que na faixa de latitude de 30° S e 0° e longitude de 135° W e 90° E há uma região mais quente prevalecendo.

A partir da Figura 22 (nível 22 – 541 m), a diminuição da temperatura se torna mais lenta nas regiões do lado leste dos Estados Unidos da América (EUA) na costa da Flórida e ao norte da África e costa sul da Europa (30° de Latitude). Nessa região do Oceano Atlântico a variação da temperatura é de 6°C a 9°C, enquanto que nas demais regiões do OA a temperatura varia entre 2°C e 4°C.

Observa-se também que nas camadas superiores o OA não é tão quente e vai se resfriando mais rapidamente que os demais oceanos. Mas nas camadas inferiores (a partir do nível 21 = 447 m de profundidade) o OA é mais quente que os demais, sendo o Oceano Atlântico Norte (OAN) mais quente que o Oceano Atlântico Sul (OAS). As temperaturas no OAN variam entre 8°C e 14°C enquanto que no OAS as temperaturas variam entre 4°C e 8°C.

Comparando os três oceanos, observa-se que o OA é mais quente que o OP e o OI nas camadas mais profundas (inferiores), seguido pelo OI e depois pelo OP. Nas camadas superiores o OP é mais quente que os demais, seguido pelo OI e por fim OA.

Nota-se também que o OAN (acima de 30° N) é mais frio que OAS (abaixo de 30° S) nas camadas superiores, já nas camadas inferiores o inverso ocorre. Essa comparação entre os três oceanos e o OAN e OAS, pode ser observada também na análise sazonal. Pode se observar também que o Oceano Índico Norte é mais quente que o Oceano Índico Sul nas camadas inferiores e o inverso ocorre nas camadas superiores. Na análise sazonal foi observado que quase não houve variações sazonais e os resultados são semelhantes aos da climatologia anual (Figuras não mostradas).

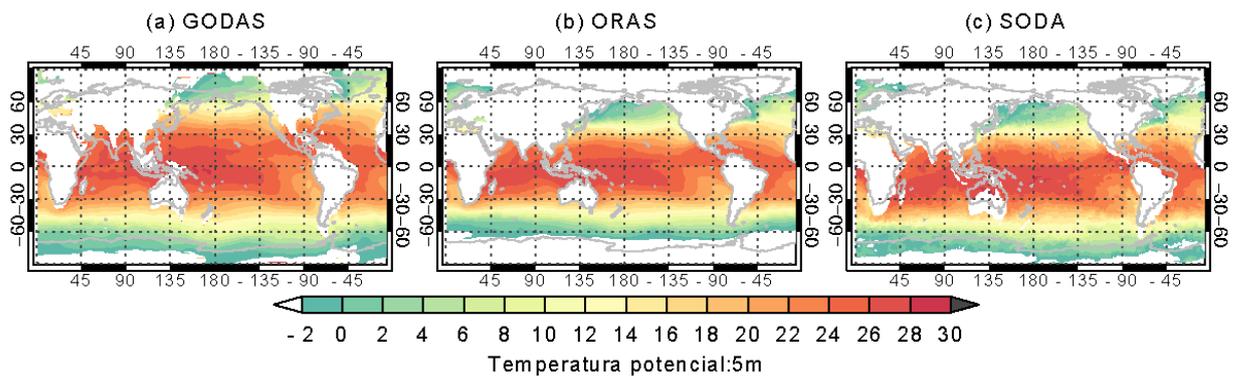


Figura A1. Climatologia anual da temperatura potencial do Oceano Global para os três conjuntos de reanálises (GODAS, ORAS4 e SODA), para a profundidade de 5 m no período de 1980 a 2009.

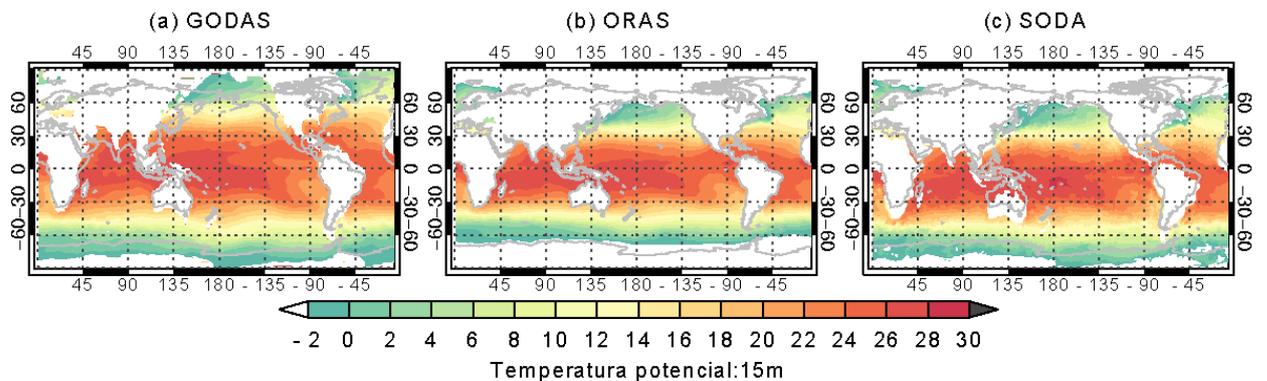


Figura A2. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 15 m.

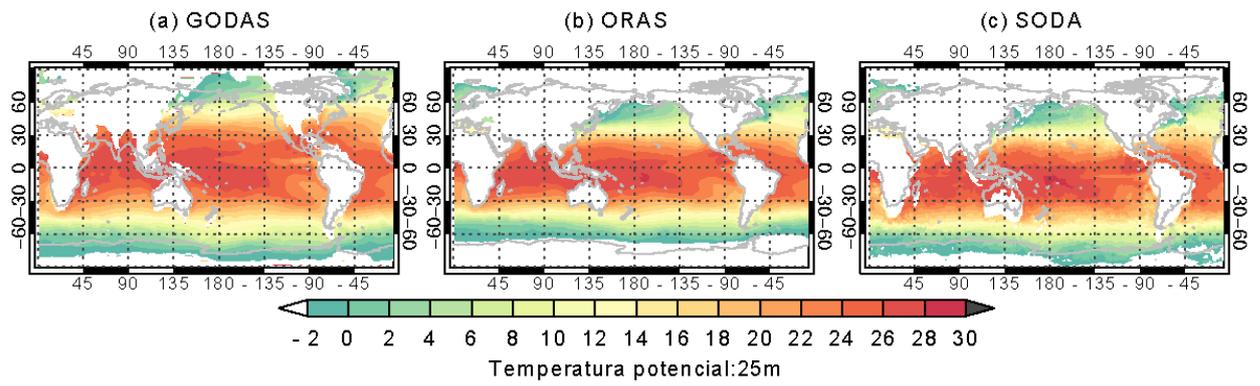


Figura A3. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 25 m.

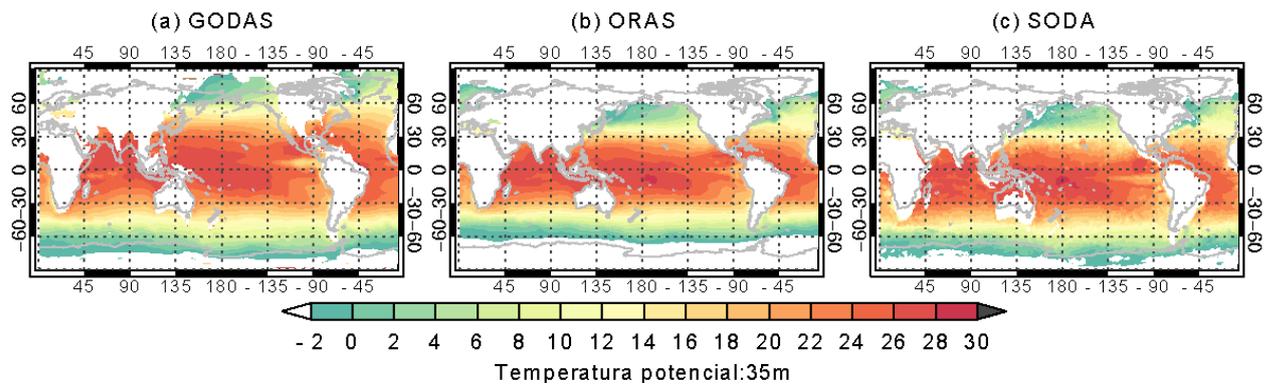


Figura A4. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 35 m.

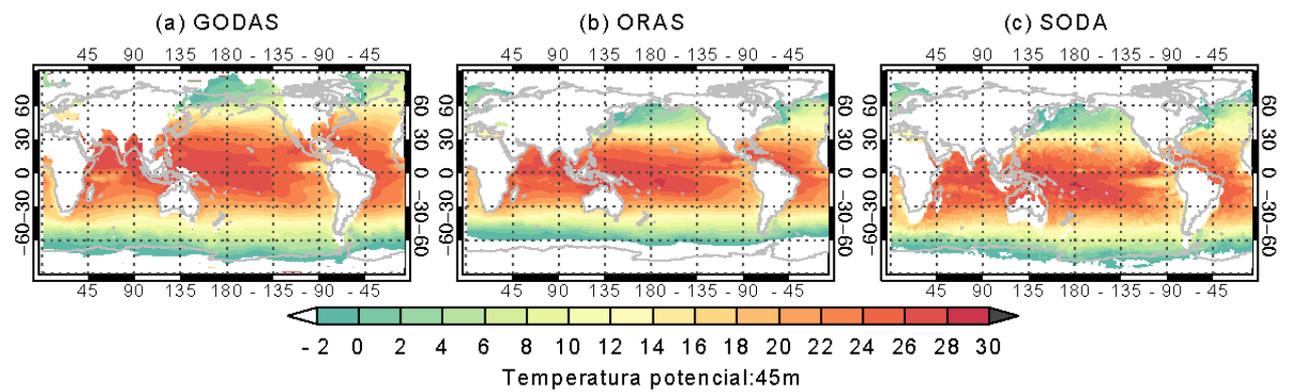


Figura A5. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 45 m.

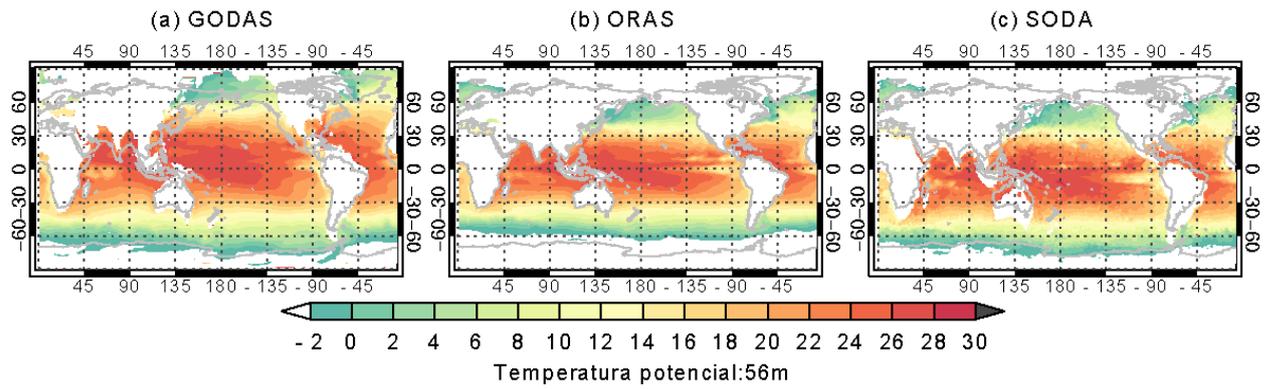


Figura A6. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 56 m.

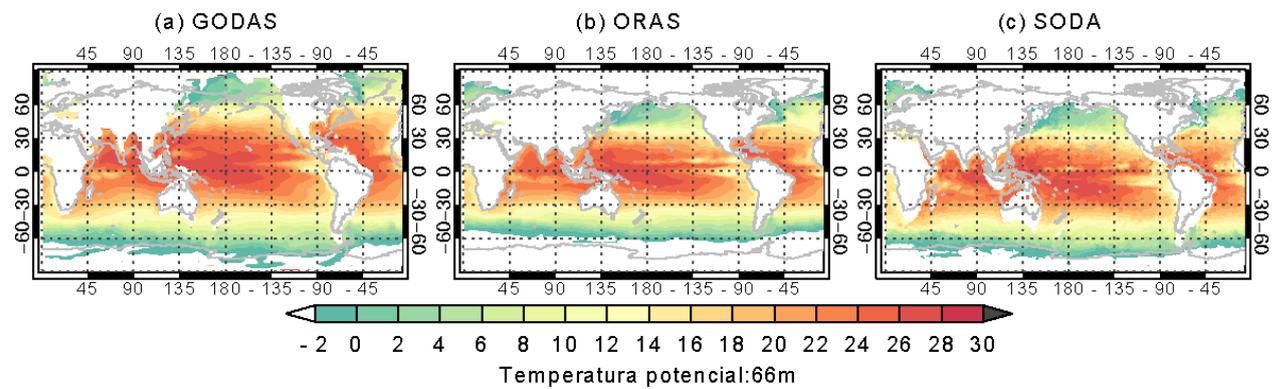


Figura A7. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 66 m.

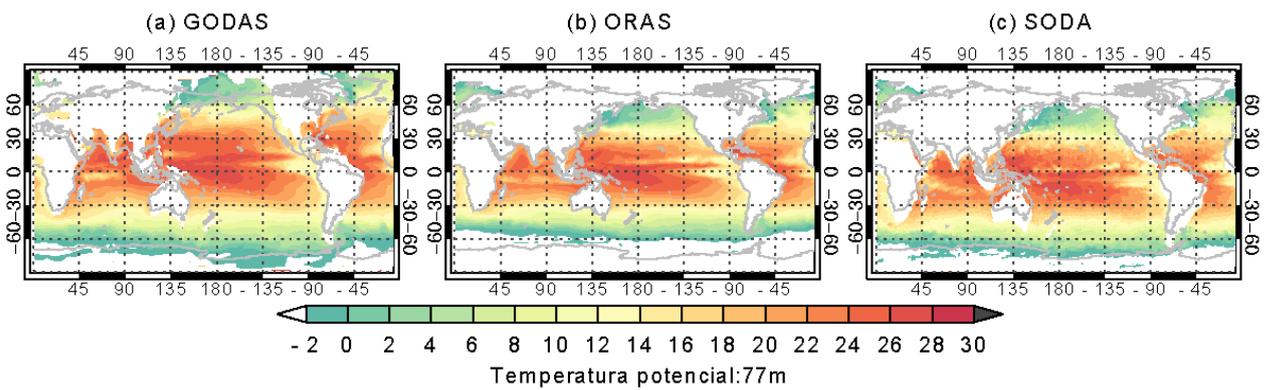


Figura A8. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 77 m.

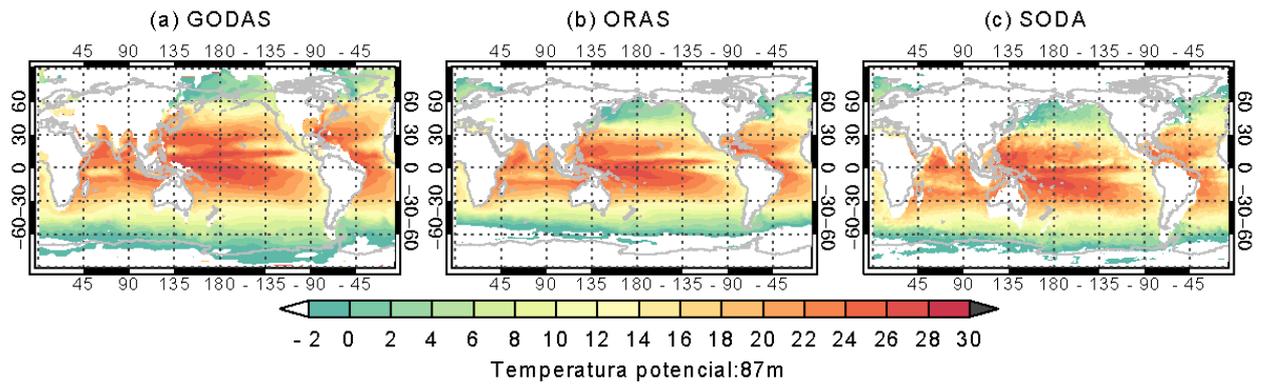


Figura A9. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 87 m.

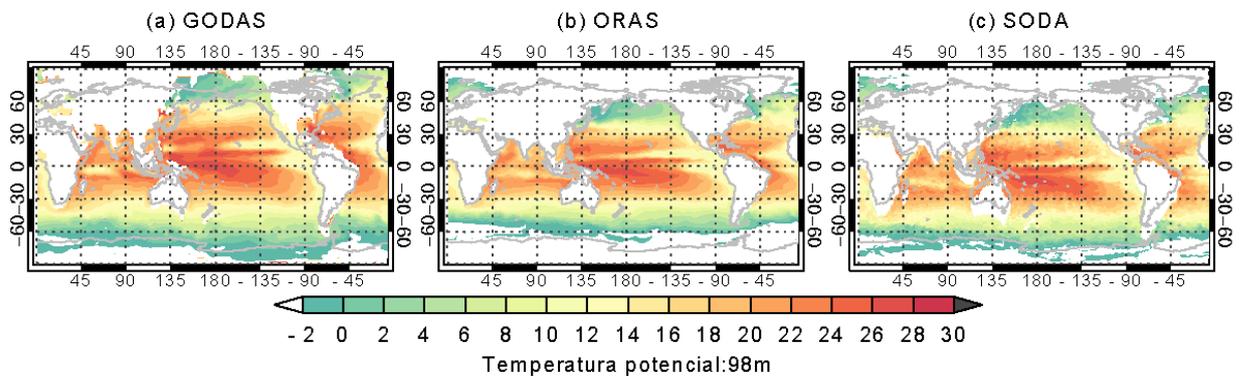


Figura A9. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 98 m.

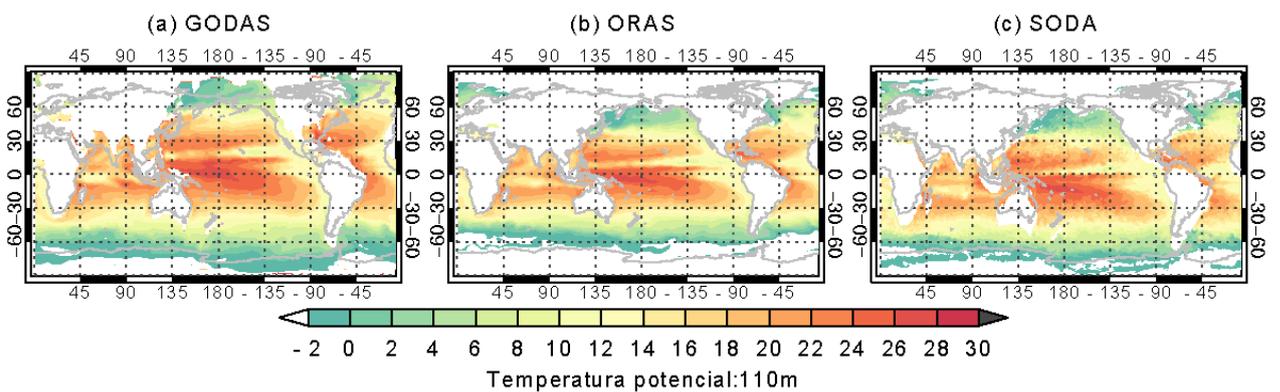


Figura A10. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 110 m.

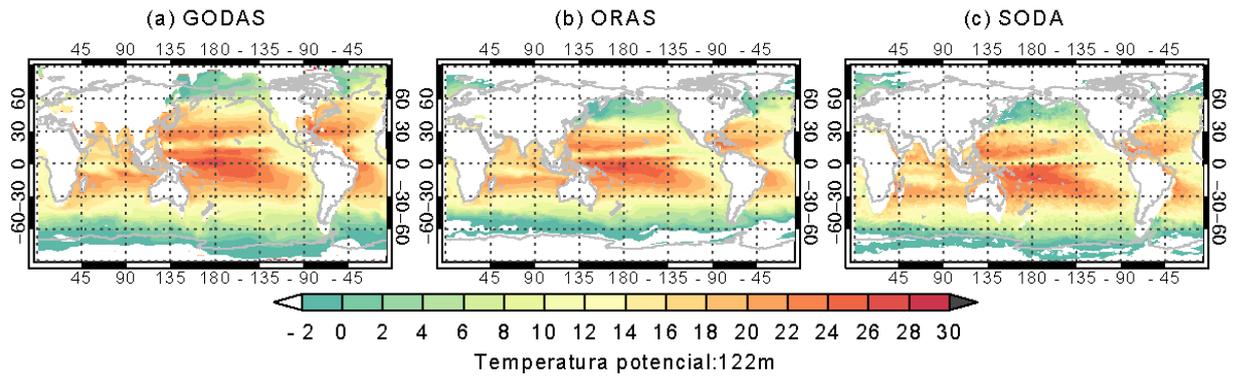


Figura A11. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 122 m.

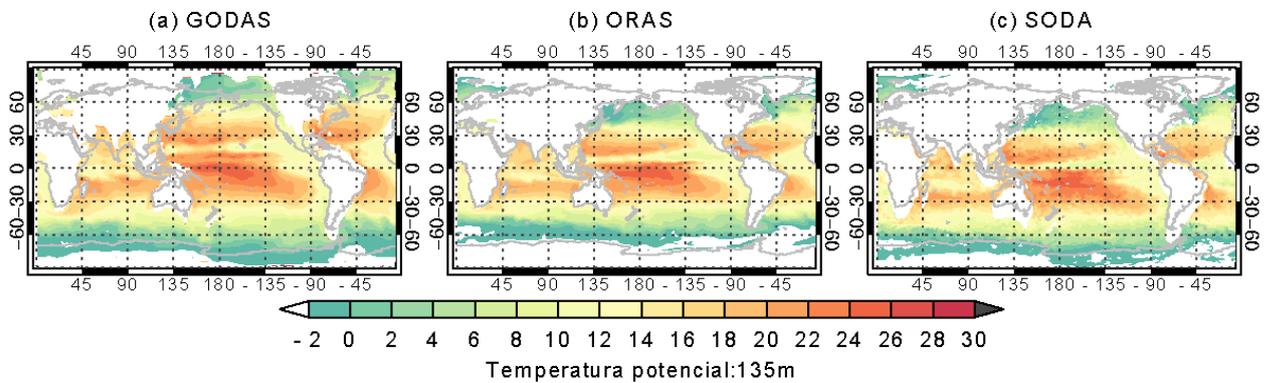


Figura A12. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 135 m.

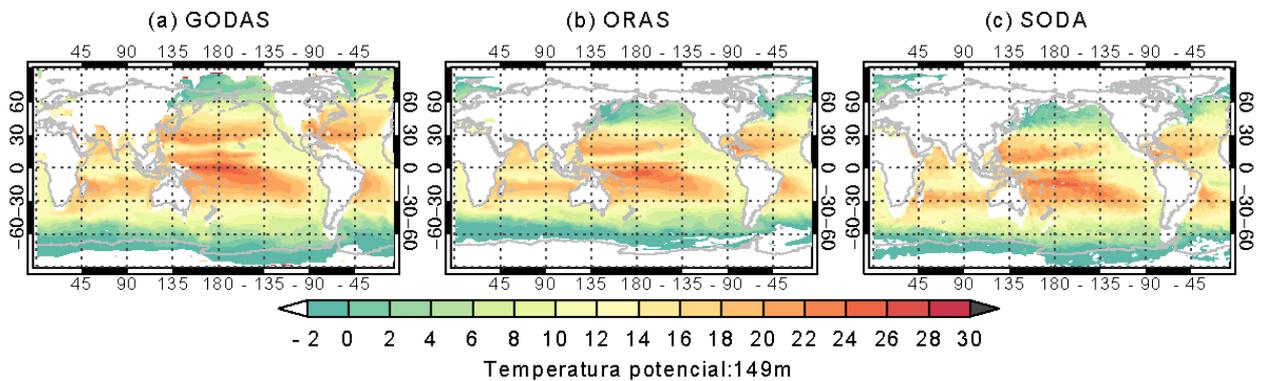


Figura A13. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 149 m.

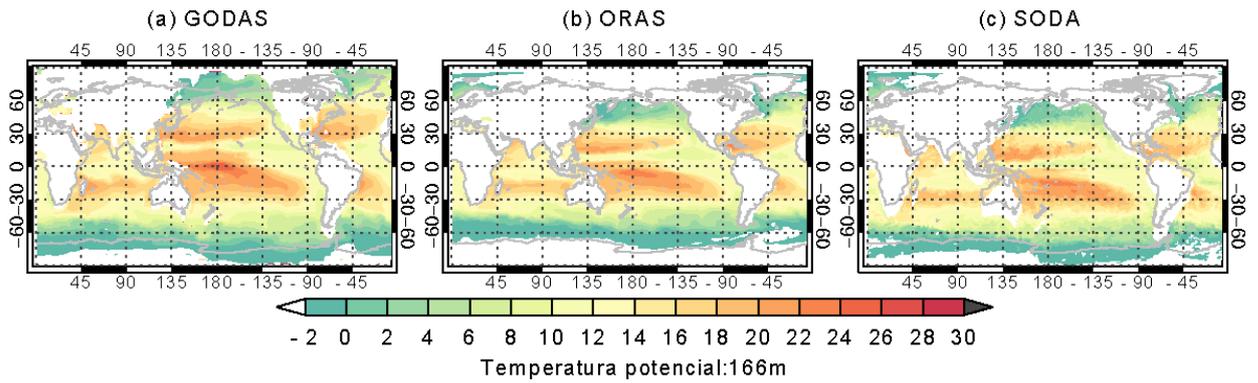


Figura A14. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 166 m.

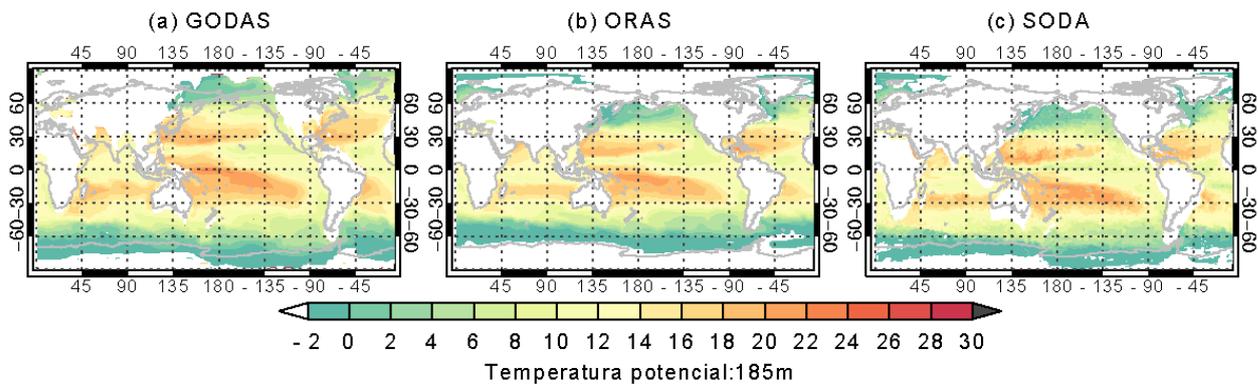


Figura A15. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 185 m.

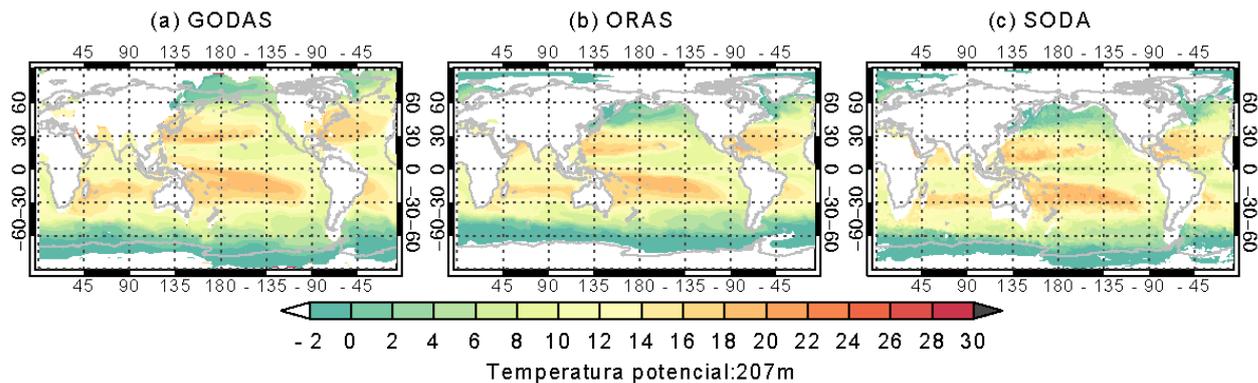


Figura A16. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 207 m.

A partir da figura A17, a escala de temperatura muda vai de -2°C a 14°C , essa mudança ocorreu automaticamente, ou seja, o programa efetuou essa mudança.

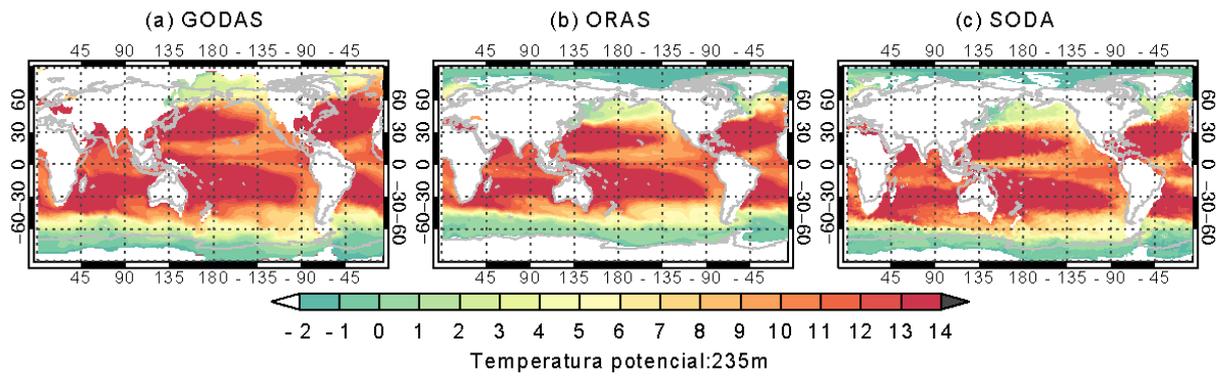


Figura A17. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 235 m.

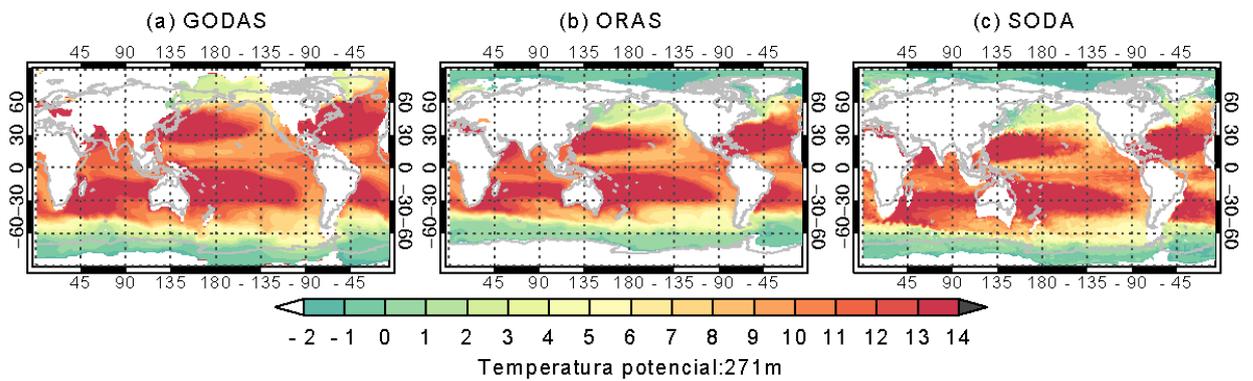


Figura A18. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 271 m.

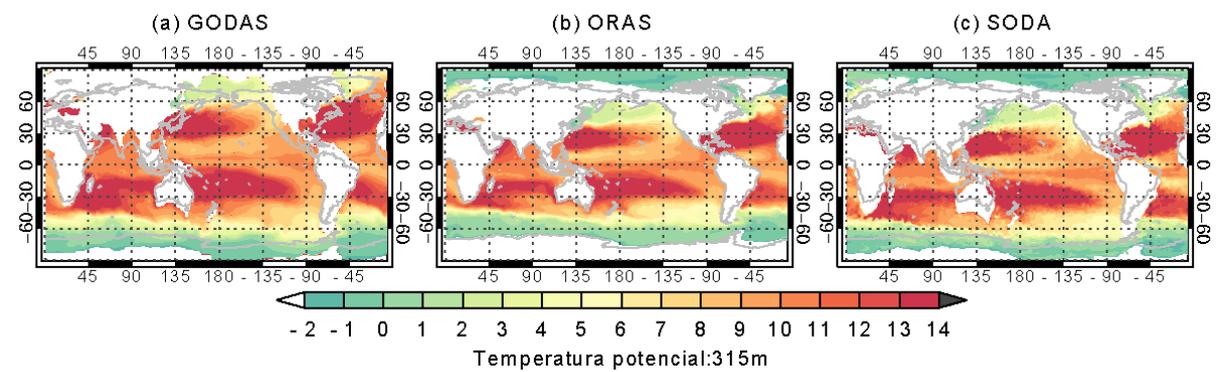


Figura A19. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 315 m.

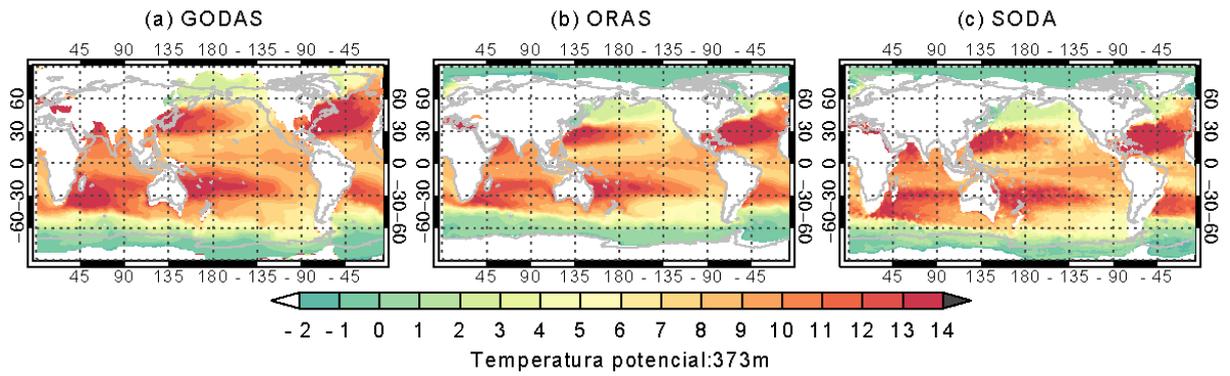


Figura A20. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 373 m.

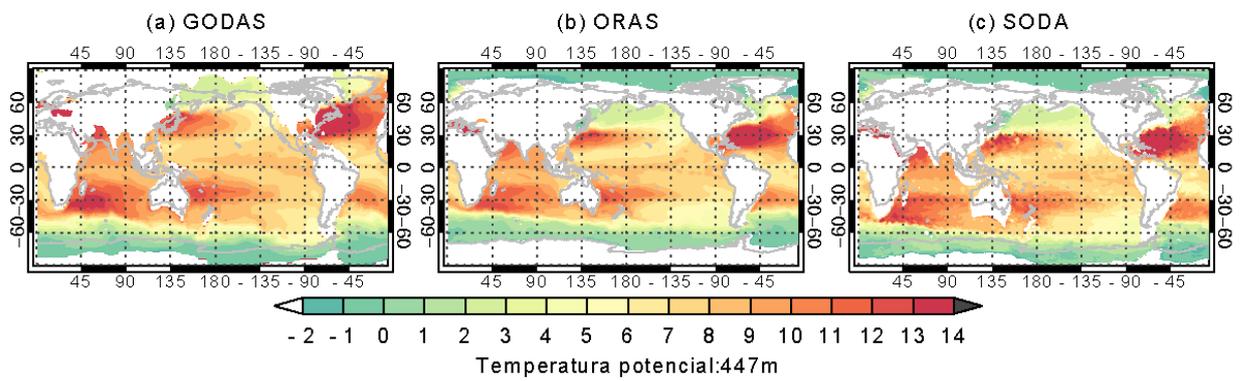


Figura A21. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 447 m.

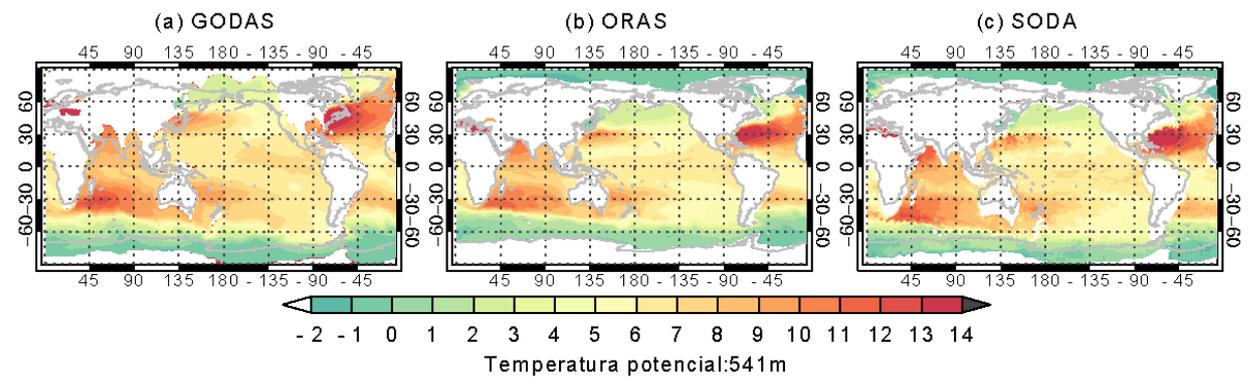


Figura A22. Idem a Figura A1 mas para a profundidade de 541 m.

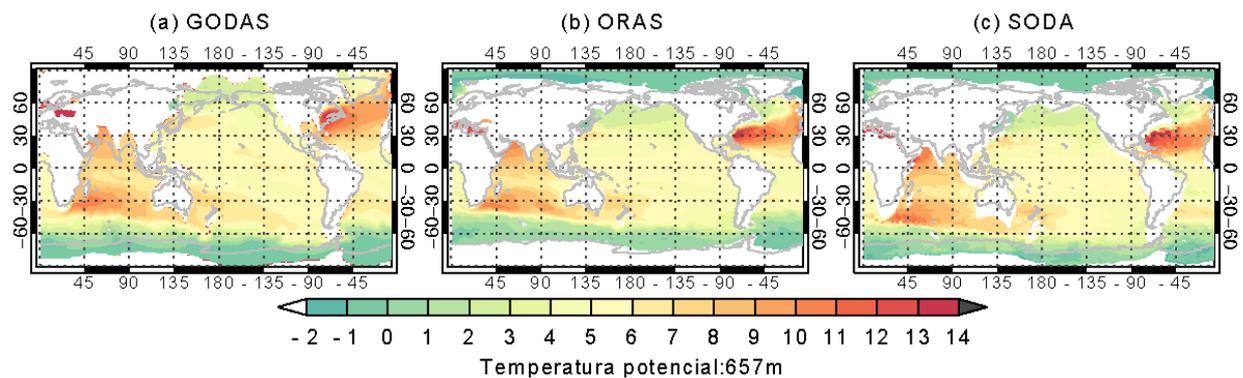


Figura A23. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 657 m.

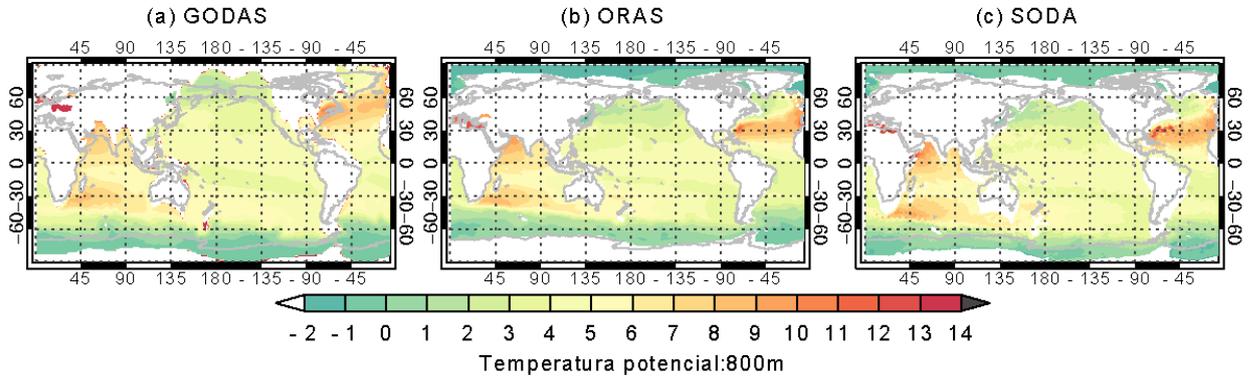


Figura A24. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 800 m.

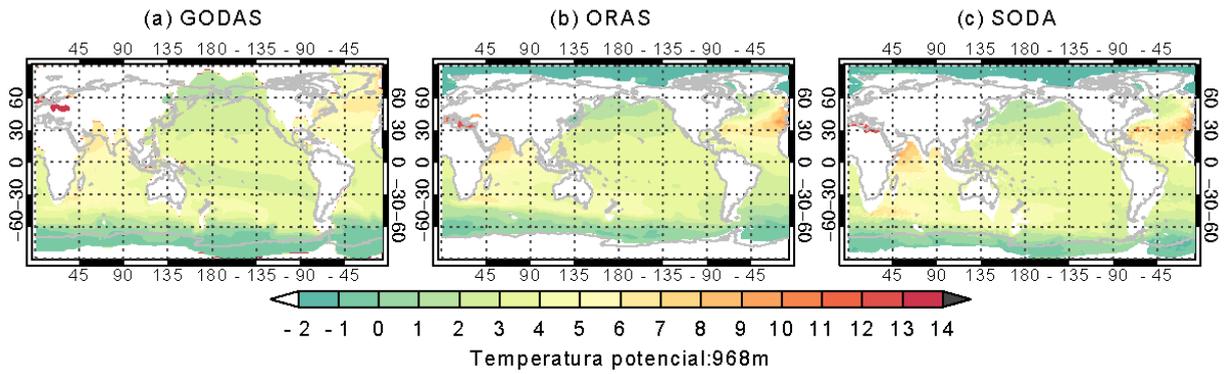


Figura A25. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 968 m.

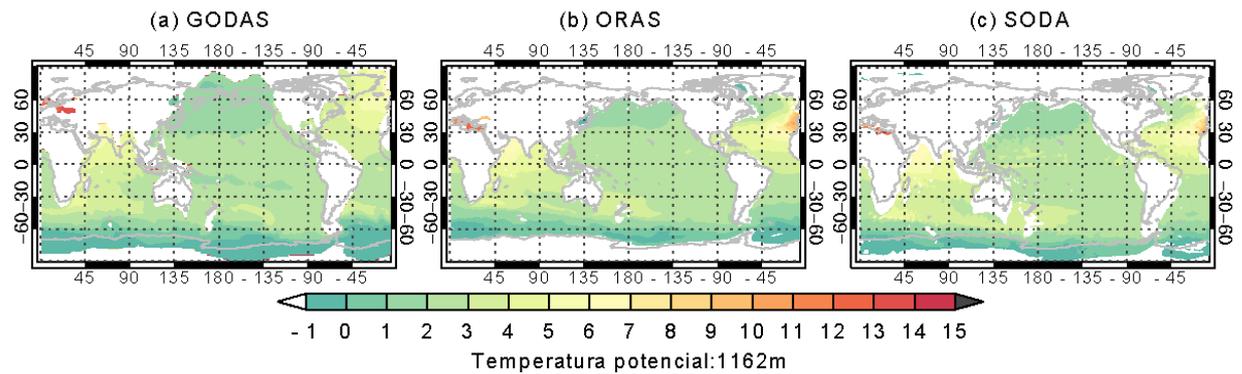


Figura A26. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 1162 m.

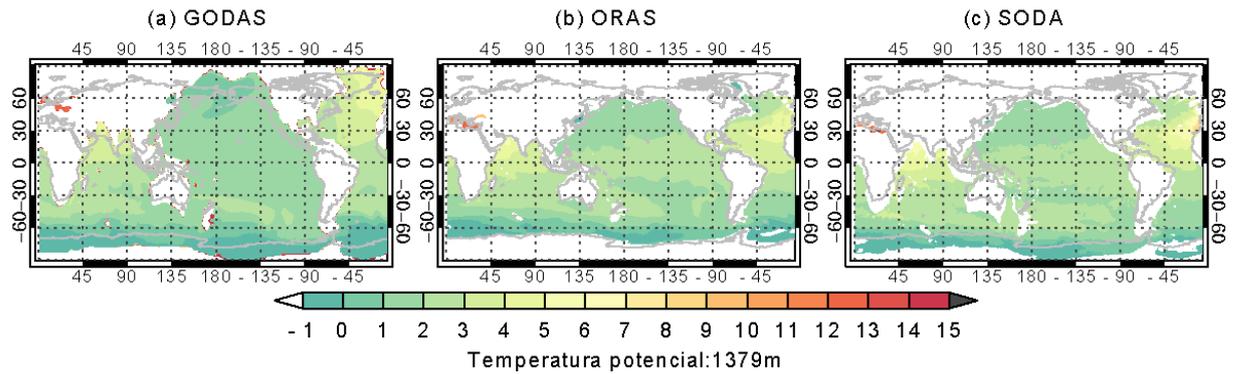


Figura A27. Idem a Figura 1, mas para a profundidade de 1379 m.

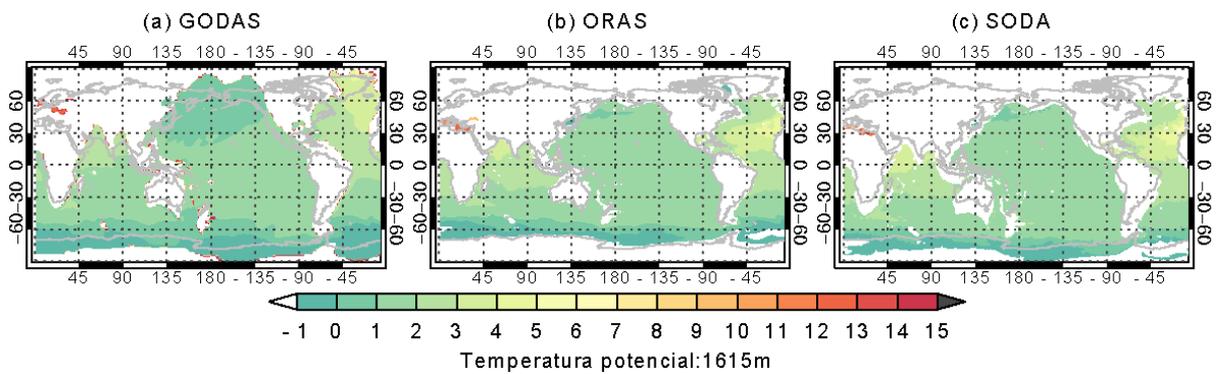


Figura A28. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 1615 m.

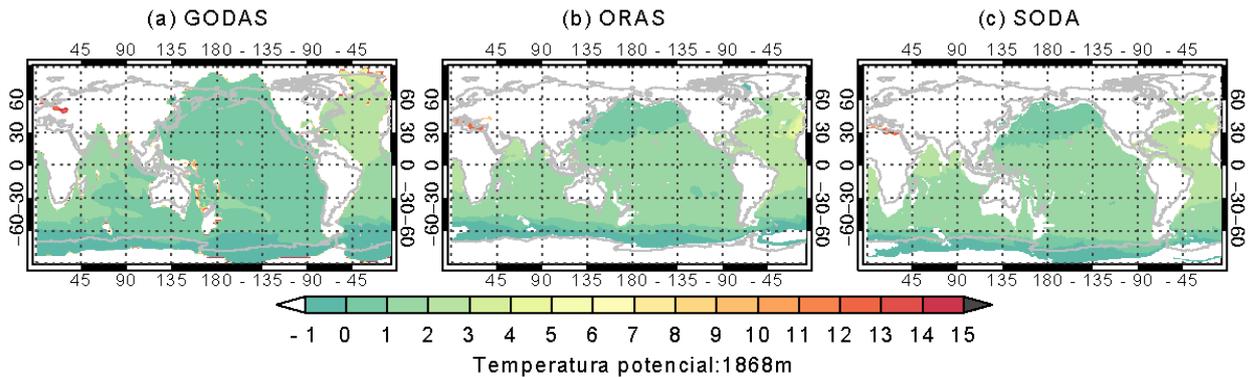


Figura A29. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 1868 m.

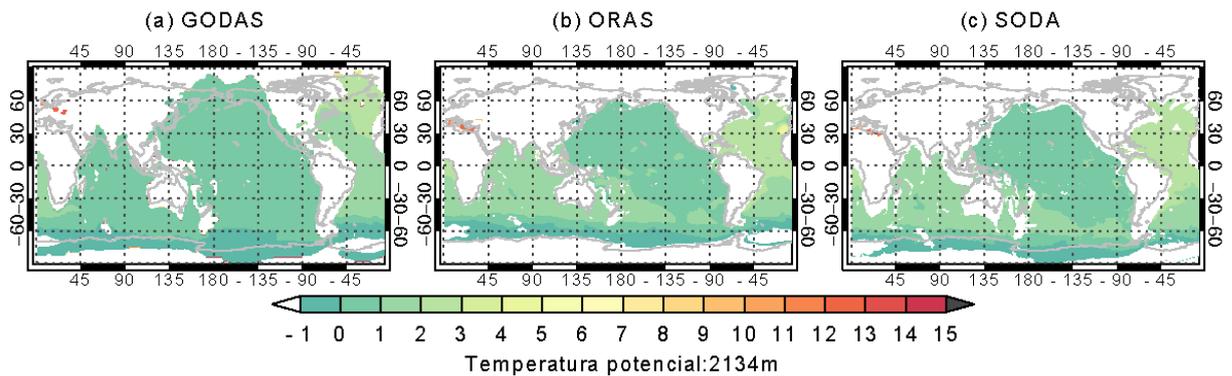


Figura A30. Idem a Figura A1, mas para a profundidade de 2134 m.

Apêndice B - Análise Diferencial entre as Reanálises

➤ ORAS4 – GODAS

Nas camadas de 5 m à 45 m de profundidade nas regiões polares são encontradas as maiores diferenças de temperatura potencial (TP) entre as reanálises. Essas diferenças variam entre (-5°C e -15°C). Na região da costa do Peru até 180° W, há uma diferença de temperatura em torno de 4,5°C à 5°C. Nas demais regiões dos três oceanos não há diferenças de TP significativas, a pouca variação que há é de 0,1°C. A partir da profundidade de 56 m, nota-se que as diferenças de TP nas regiões polares vão diminuindo com a profundidade.

No Oceano Pacífico na região do El Niño, onde havia nas camadas superiores uma diferença de TP positiva, essa diferença por sua vez vai diminuindo e logo abaixo dessa região começa a aparecer uma diferença de TP negativa.

No OI entre 0° e 10° S há uma diferença de temperatura de 5°C. No OA próximo ao Marrocos entre 5° N e 0°, tem-se uma diferença de TP de -5°C.

A partir da profundidade de 77 m observa-se que na região entre 15° N e 10° S no OP há uma alternância de sinais positivos e negativos de diferenças de temperatura. Na faixa de 15° N tem-se 5°C, em 10° N há -7°C, em 0° a diferença é de 5°C e em 10° S a diferença é de -7°C. Essa alternância de diferenças de TP no OP permanece até os 135 m de profundidade.

Em torno dos 98 m de profundidade no OA entre 5° N e 10° N, há uma diferença de TP que varia entre 5°C à 7°C que se estende da costa da África até a costa da América do Sul (AS). Ao longo da costa oeste da AS no OP há uma diferença de temperatura em torno de 3°C.

Da camada de 135 m de profundidade até aproximadamente 300 m, no OA e OP na faixa de 5° N à 10° N as diferenças de temperaturas permanecem variando entre 7°C e 10°C. A partir dos 300 m essas diferenças vão diminuindo. Da profundidade de 447 m não há diferenças de TP significativas. Assim as diferenças entre as reanálises ORAS4 e GODAS vão diminuindo com a profundidade, se tornando nulas a partir dos 600 m de profundidade.

➤ ORAS4 – SODA

Entre as camadas de 5 m à 56 m de profundidade as maiores diferenças de temperatura potencial estão nas regiões polares, sendo que no Polo Sul as diferenças de TP são negativas (-5°C à -12°C) e no Polo Norte as diferenças são positivas (3°C à 6°C). Na região do El Niño (da costa do Peru até 180° W), há uma diferença de temperatura variando entre -3°C e -6,5°C.

Observa-se que no OP na faixa de 10° N à 10° S, há uma alternância de sinais de diferença de TP a partir dos 66 m de profundidade. Sendo em 10° N uma diferença de -5°C, em 5°N a diferença é de 5°C, em 0° volta a -5°C e em 10° S a diferença de TP volta aos 5°C. Essa alternância permanece até os 77 m. Nas demais regiões dos três oceanos praticamente não há diferenças de temperatura.

A partir da profundidade de 77 m, nota-se entre a AS e a África (10° N à 10° S) uma diferença de temperatura de aproximadamente 5°C. Após essa profundidade no OA e no OP na faixa de 5° N à 10° N há uma diferença de TP variando entre -5°C e 10°C e permanece até aproximadamente 271 m. Abaixo de 5° N no OP e OA até 5° S, há uma diferença positiva próxima dos 5°C que também permanece até os 315 m de profundidade.

No OI na faixa que se estende da costa da África até a Oceania, ao norte da ilha de Madagascar há uma diferença de TP próxima do 4°C, essa diferença permanece até a profundidade de 300 m.

A partir da profundidade de 337 m, as diferenças de TP nos três oceanos são muito pequenas, aproximadamente 0,2°C. Na região da Corrente Circumpolar Antártica, as diferenças de TP são próximas dos -8°C e permanecem até a profundidade de 700 m.

De modo geral, as diferenças de temperatura potencial vão diminuindo com a profundidade, ficando praticamente nulas a partir dos 650 m.

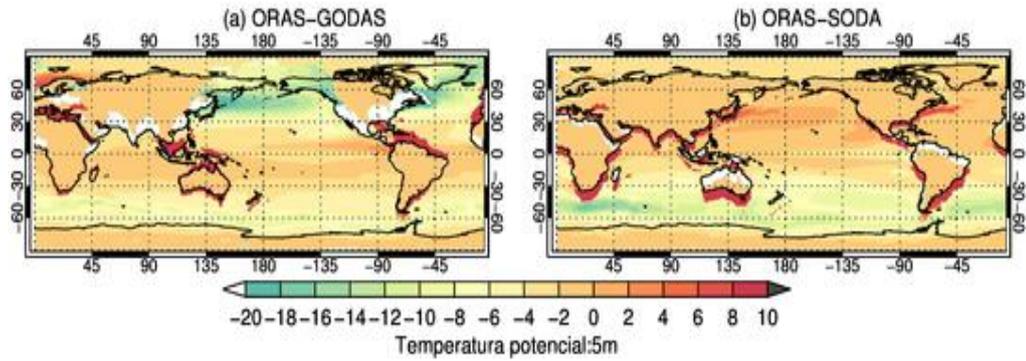


Figura B1. Análise diferencial entre as reanálises (ORAS4 – GODAS e ORAS4 – SODA), para a profundidade de 5 m.

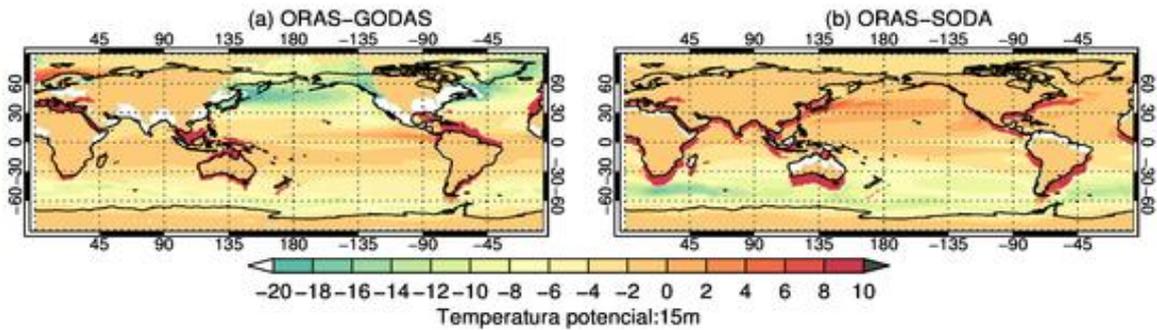


Figura B2. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 15 m.

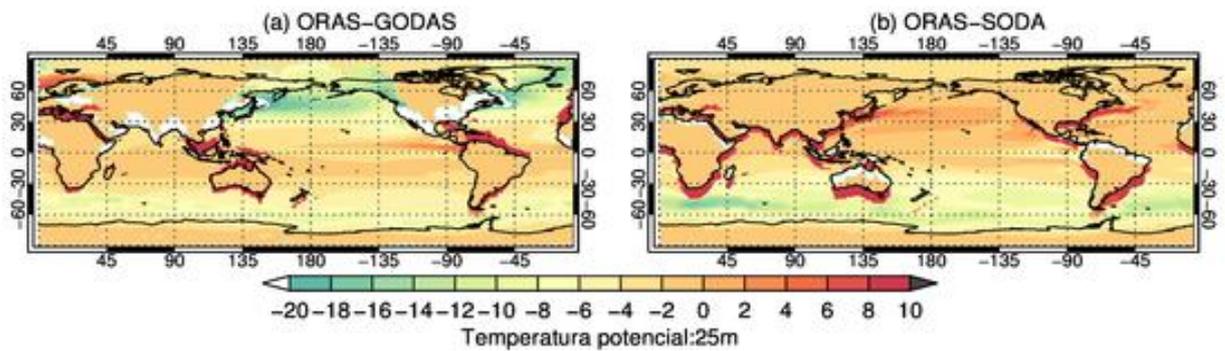


Figura B3. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 25 m.

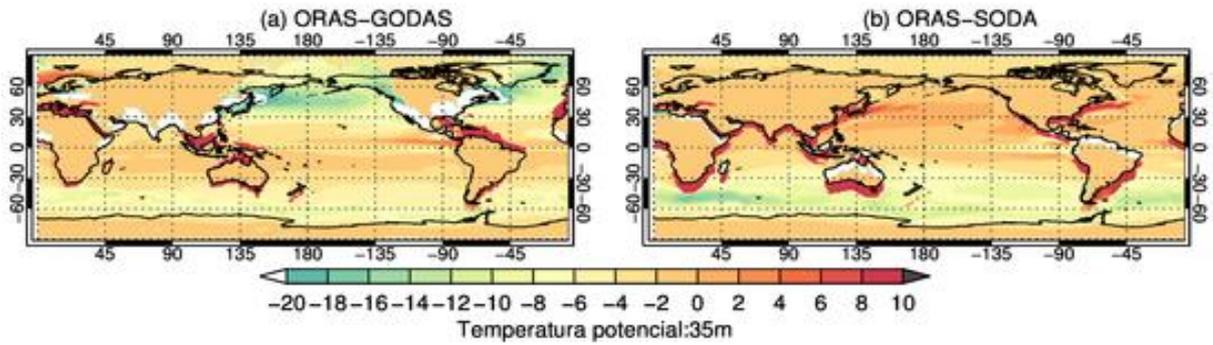


Figura B4. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 35 m.

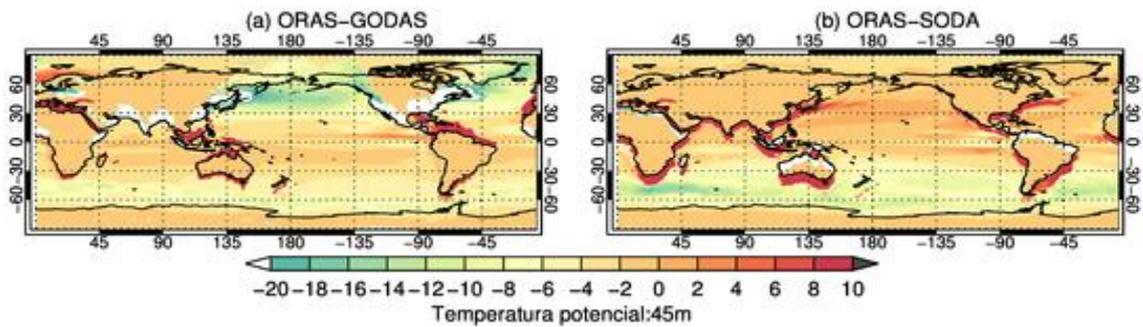


Figura B5. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 45 m.

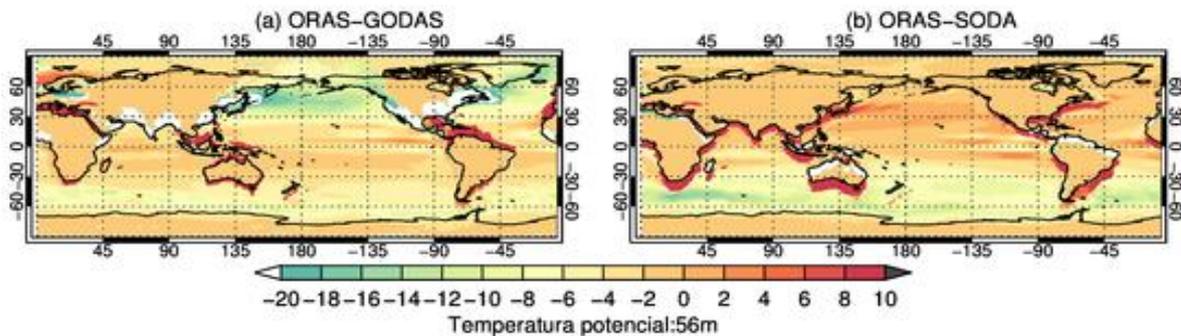


Figura B6. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 56 m.

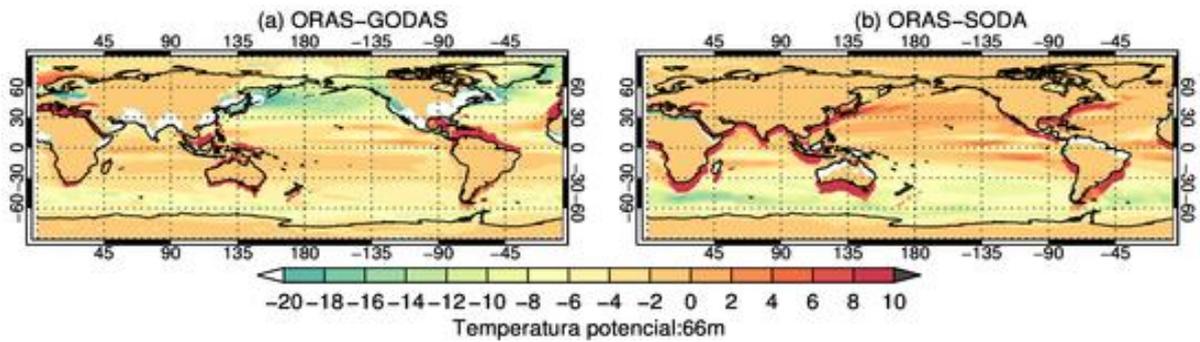


Figura B7. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 66 m.

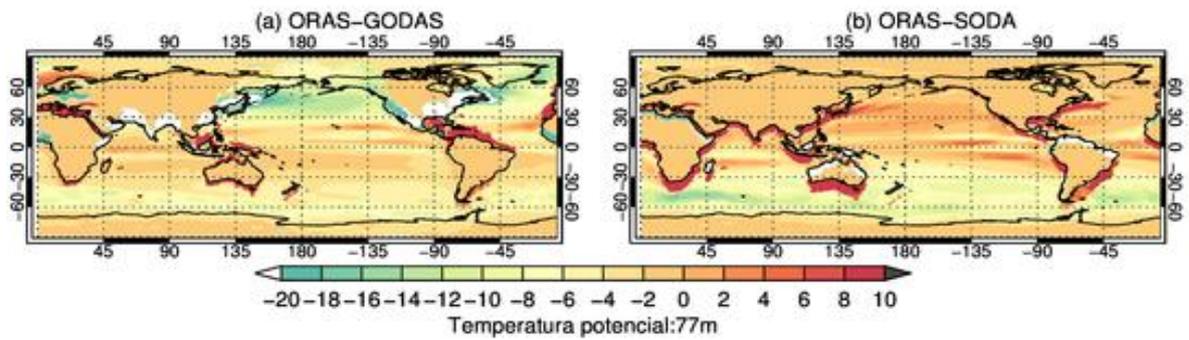


Figura B8. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 77 m.

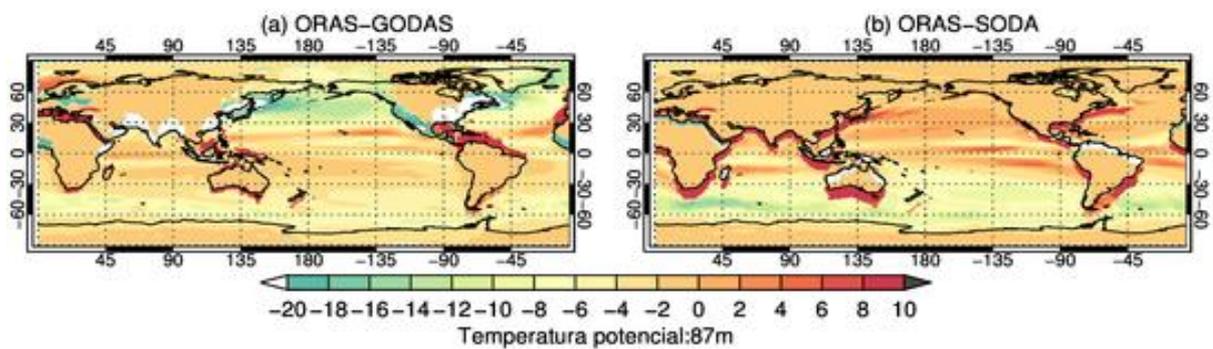


Figura B9. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 87 m.

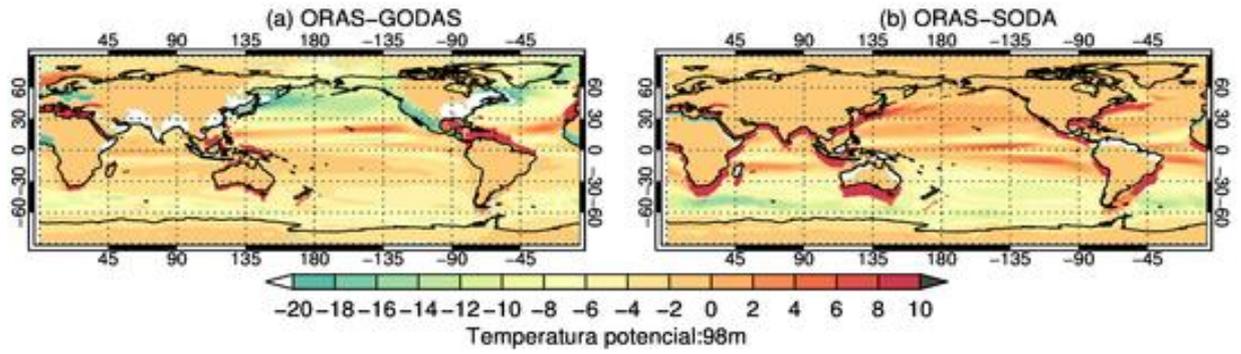


Figura B10. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 98 m.

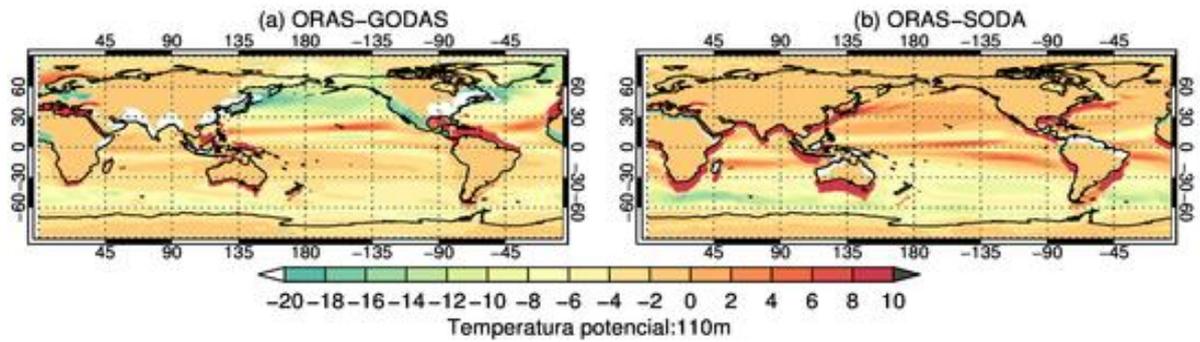


Figura B11. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 110 m.

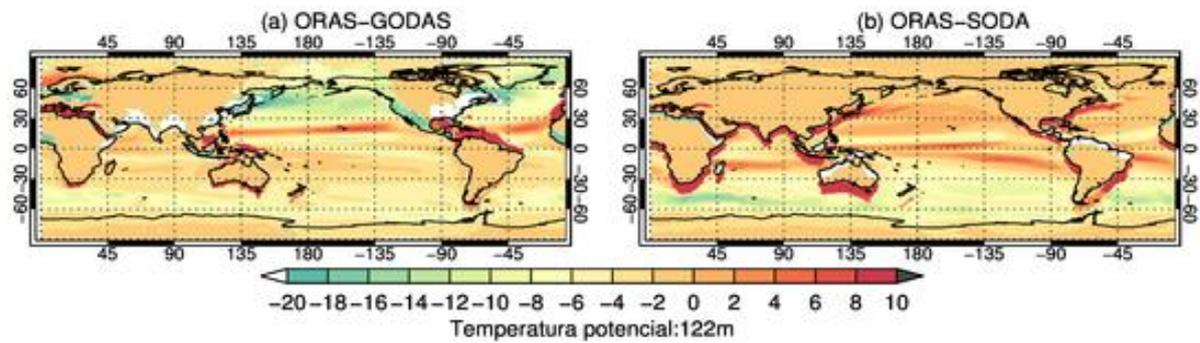


Figura B12. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 122 m.

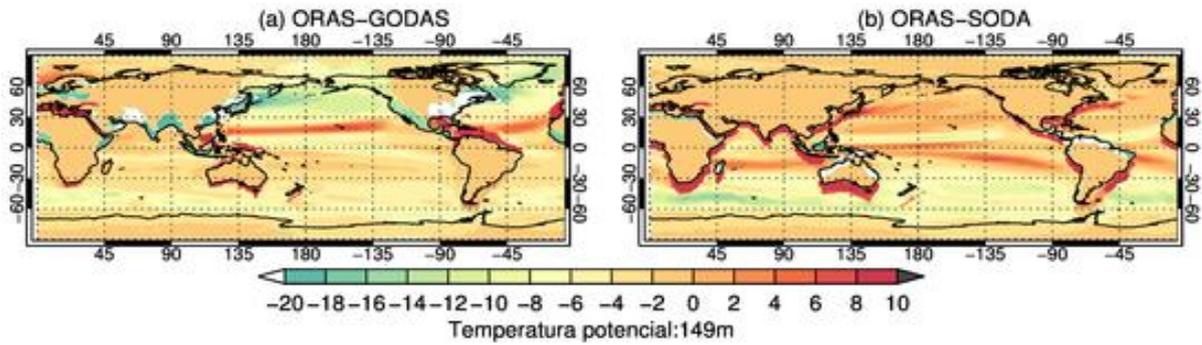


Figura B13. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 149 m.

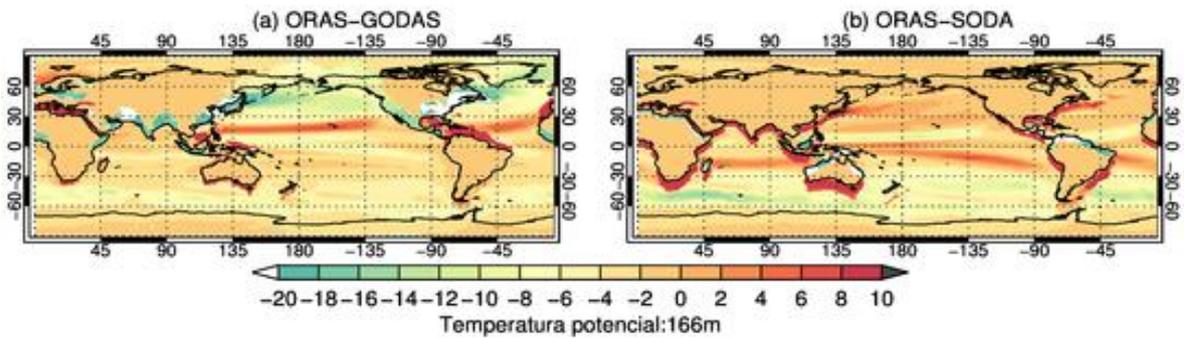


Figura B14. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 166 m.

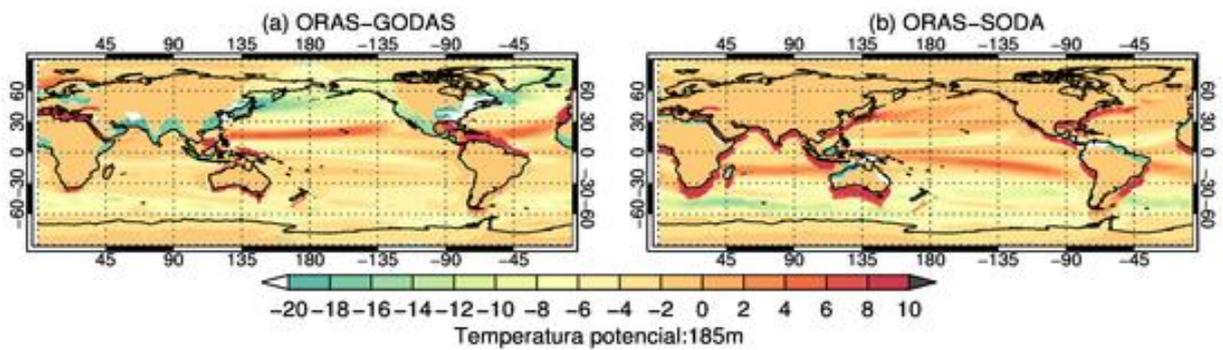


Figura B15. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 185 m.

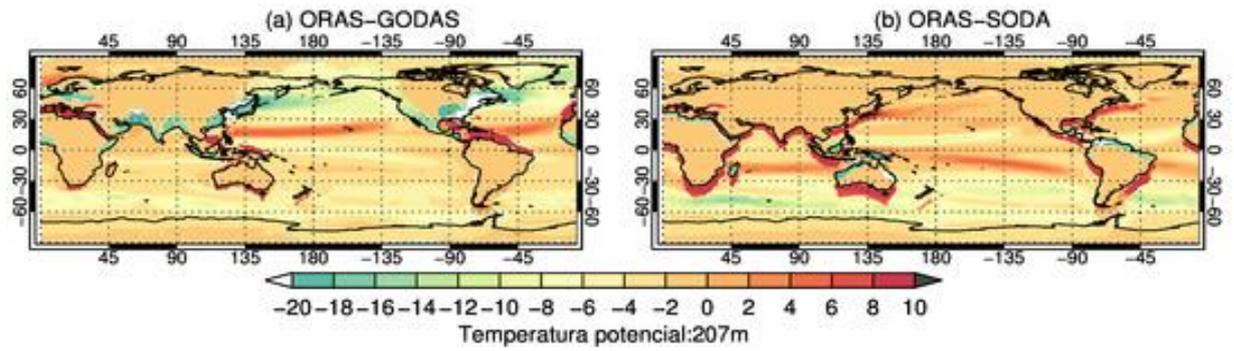


Figura B16. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 207 m.

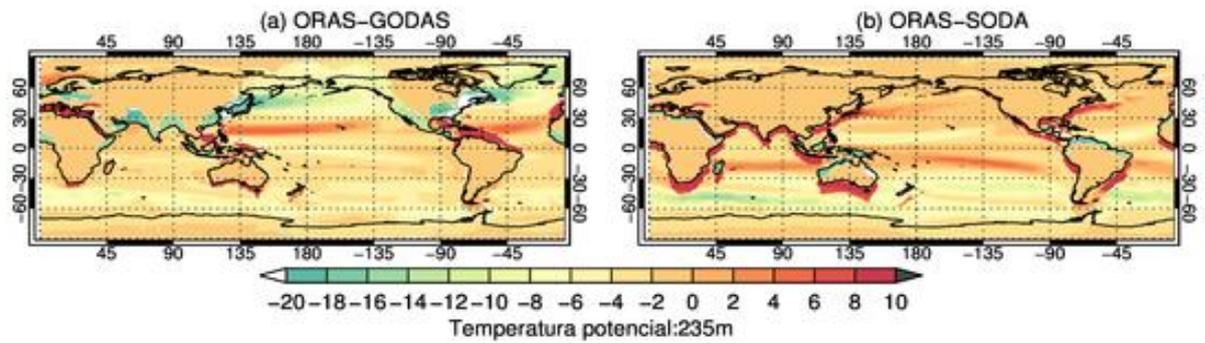


Figura B17. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 235 m.

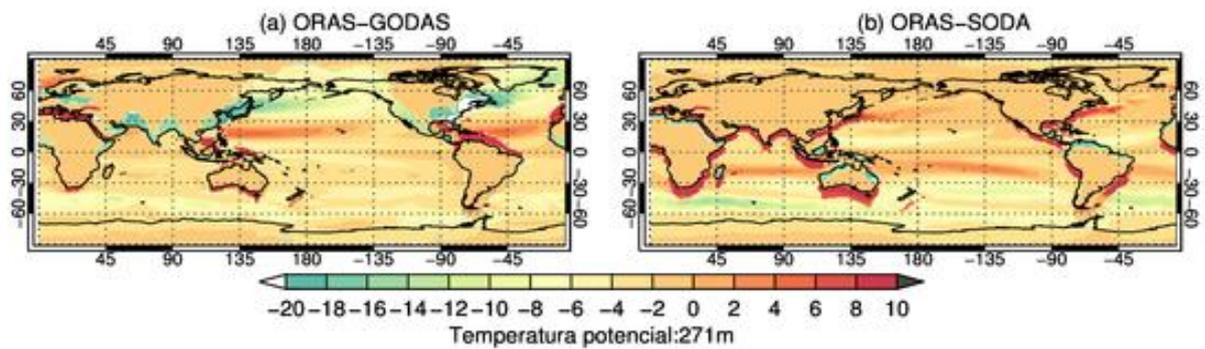


Figura B18. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 271 m.

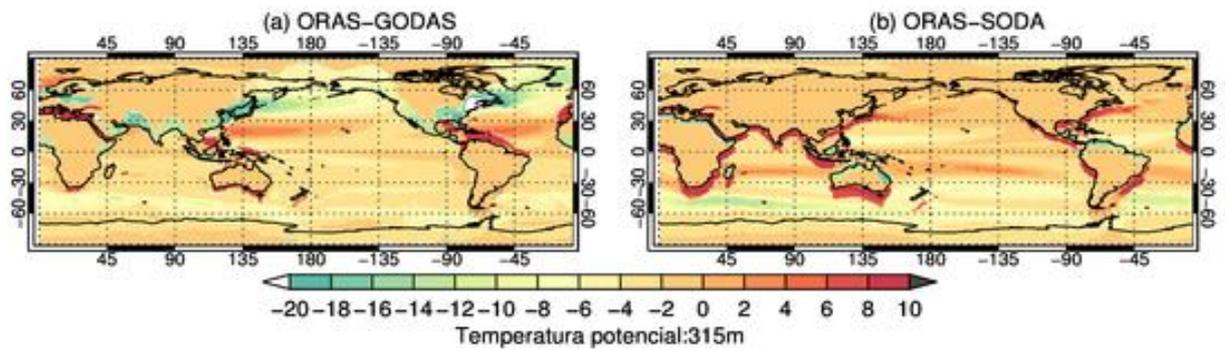


Figura B19. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 315 m.

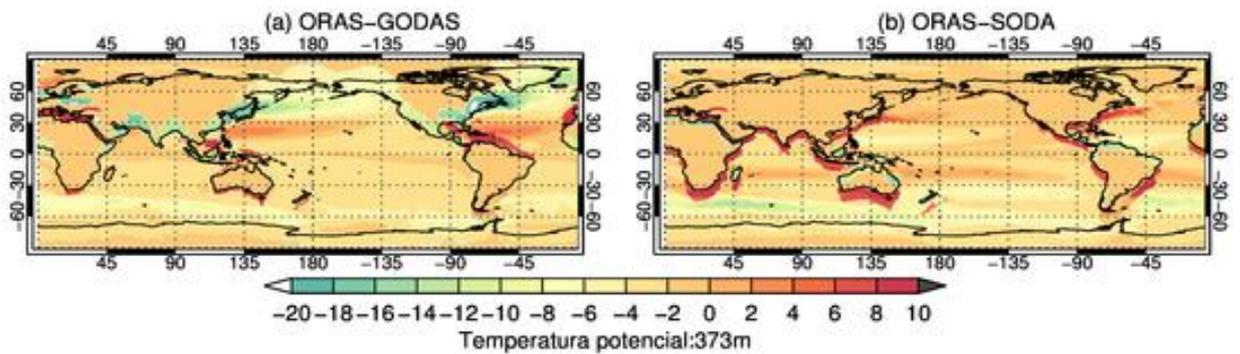


Figura B20. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 373 m.

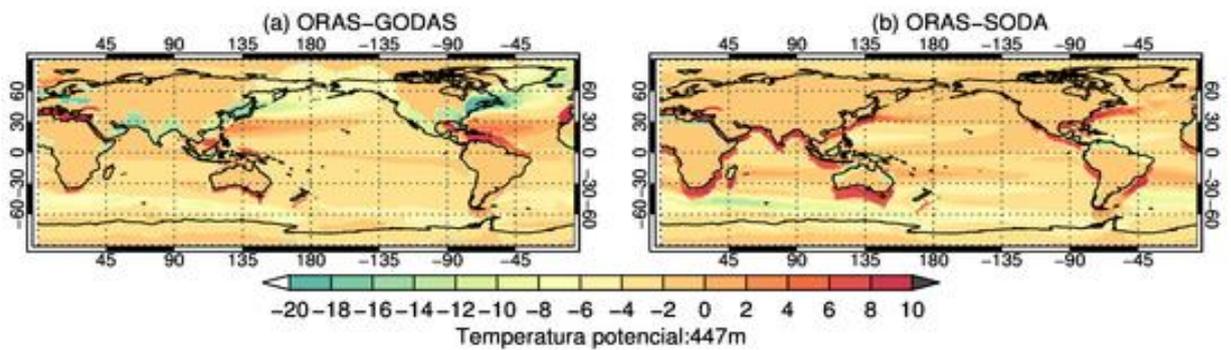


Figura B21. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 447 m.

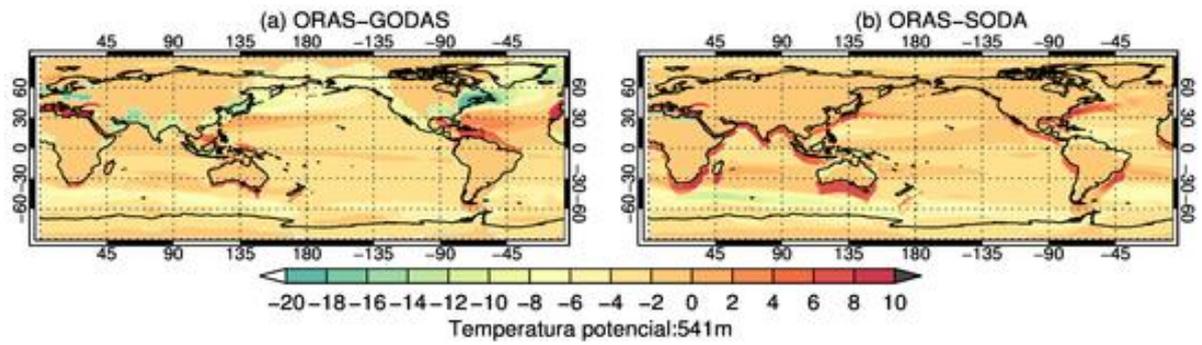


Figura B22. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 541 m.

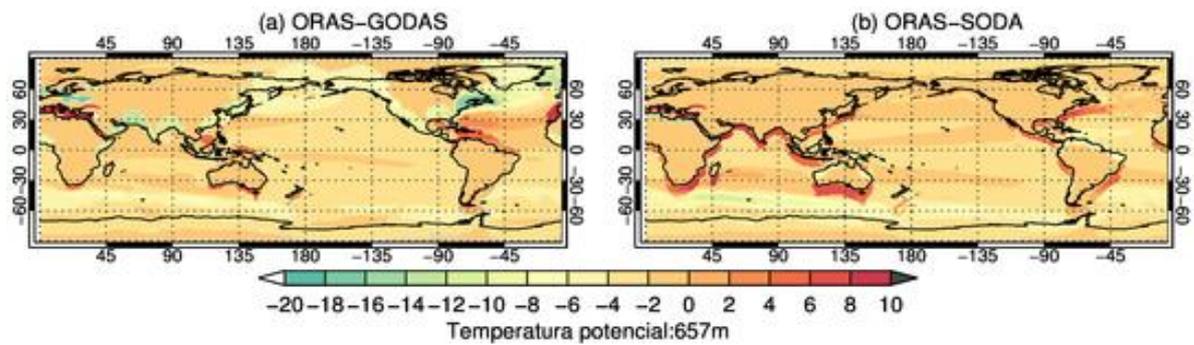


Figura B23. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 657 m.

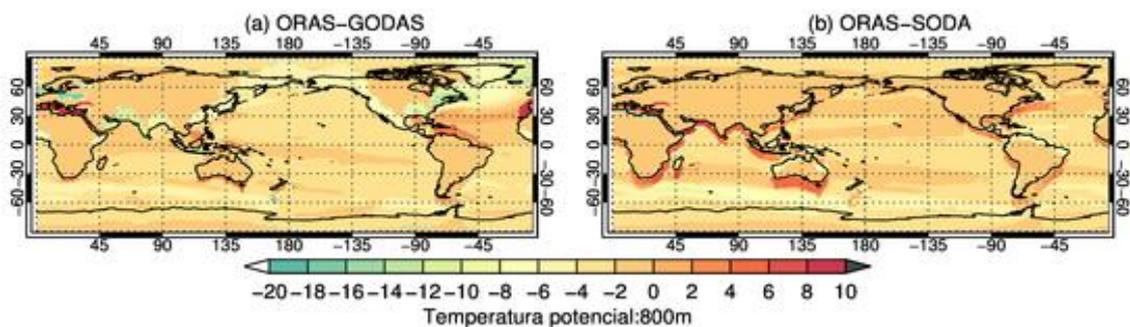


Figura B24. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 800 m.

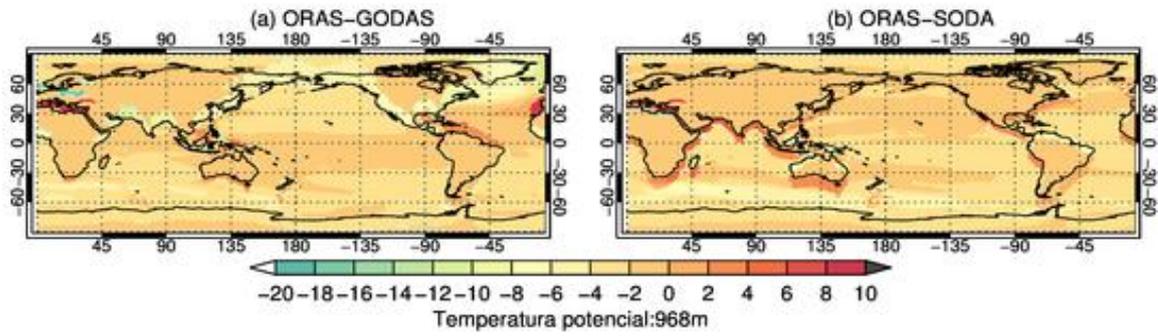


Figura B25. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 968 m.

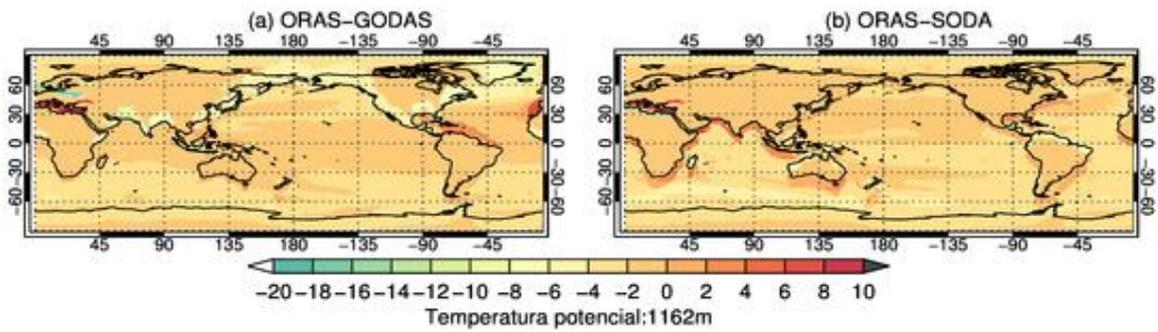


Figura B26. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 1162 m.

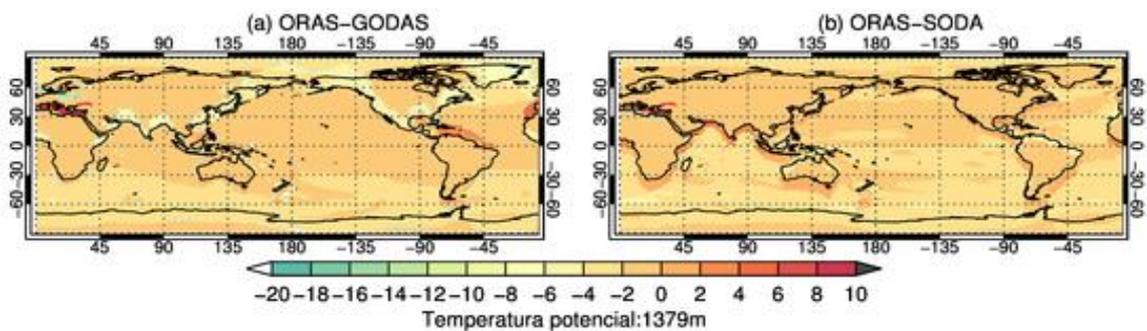


Figura B27. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 1379 m.

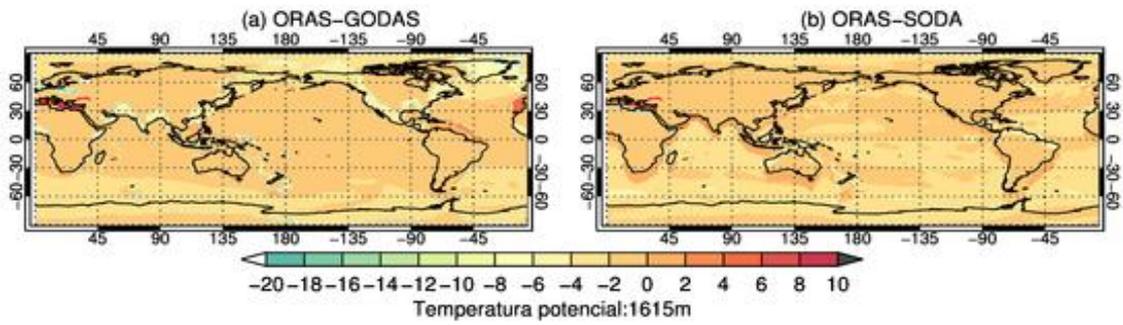


Figura B28. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 1615 m.

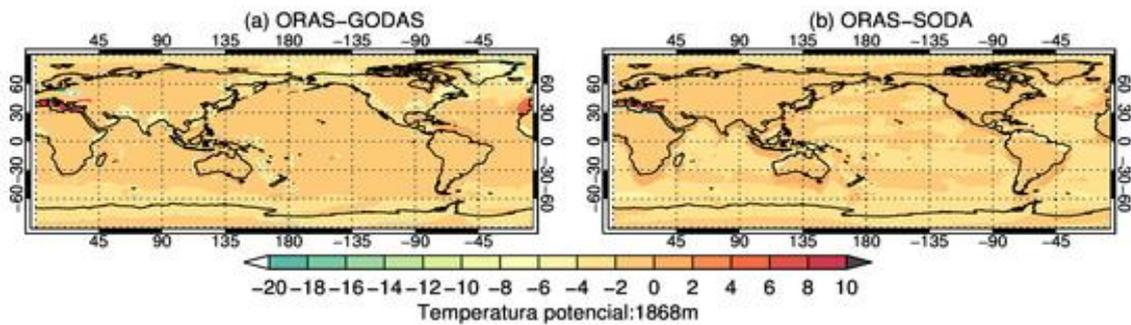


Figura B29. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 1868 m.

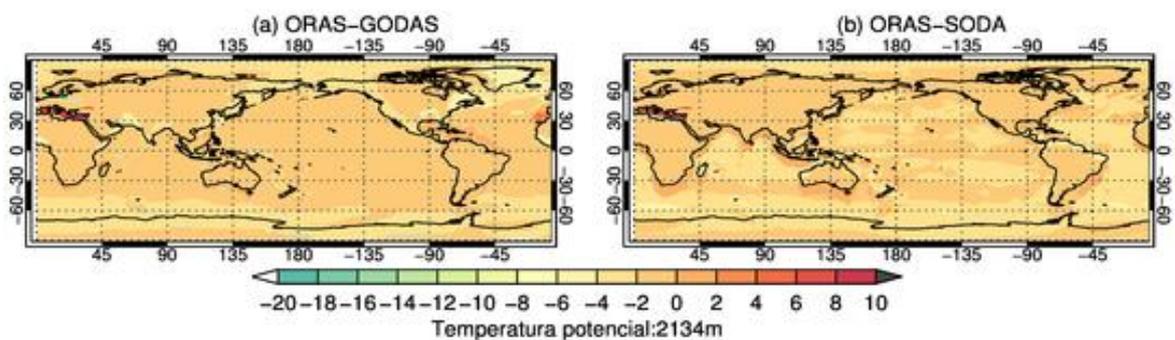


Figura B30. Idem a figura B1, mas para a profundidade de 2134 m.