



Ministério da  
Ciência e Tecnologia



INPE-15274-TDI/1348

## VARIABILIDADE INTERANUAL E DECENAL DO CICLO ANUAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR NO PACÍFICO TROPICAL

Renato Orrú Pedroso Gerólamo

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada  
pela Dr<sup>a</sup> Mary Toshie Kayano, aprovada em 28 de abril de 2008

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/03.28.12.51>>

INPE  
São José dos Campos  
2008

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: [pubtc@sid.inpe.br](mailto:pubtc@sid.inpe.br)

## **CONSELHO DE EDITORAÇÃO:**

### **Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

### **Membros:**

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr<sup>a</sup> Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

## **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Jefferson Andrade Ancelmo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Simone A. Del-Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

## **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Marilúcia Santos Melo Cid - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva e Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

## **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Viveca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da  
Ciência e Tecnologia



INPE-15274-TDI/1348

**VARIABILIDADE INTERANUAL E DECENAL DO  
CICLO ANUAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE  
DO MAR NO PACÍFICO TROPICAL**

Renato Orrú Pedroso Gerólamo

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada  
pela Dr<sup>a</sup> Mary Toshie Kayano, aprovada em 28 de abril de 2008

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/03.28.12.51>>

INPE  
São José dos Campos  
2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

G319v Gerólamo, Renato Orrú Pedroso.

Variabilidade interanual e decenal do ciclo anual da temperatura da superfície do mar no Pacífico Sul/ Renato Orrú Pedroso Gerólamo. – São José dos Campos: INPE, 2008. 139p. ; (INPE-15274-TDI/1348)

1. Ciclo anual da TSM. 2. Pacífico Tropical. 3. Onduletas. 4. El Niño oscilação sul. 5. Oscilação decenal do Pacífico. I. Título.

CDU (551.583(265))

---

Copyright © 2008 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, microfílmico, reprográfico ou outros, sem a permissão escrita da Editora, com exceção de qualquer material fornecido especificamente no propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2008 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, microfilming, recording or otherwise, without written permission from the Publisher, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

**Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de Mestre em  
Meteorologia**

**Dr. Clóvis Angeli Sansigolo**



---

Presidente / INPE / SJCampos - SP

**Dra. Mary Toshie Kayano**



---

Orientadora / INPE / SJCampos - SP

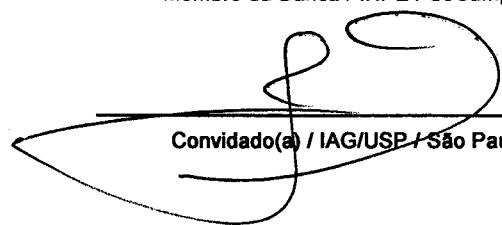
**Dr. Vadlamudi Brahmananda Rao**



---

Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

**Dr. Tércio Ambrizzi**



---

Convidado(a) / IAG/USP / São Paulo - SP

**Aluno (a): Renato Orrú Pedroso Gerólamo**

**São José dos Campos, 28 de Abril de 2008**



"De tropeços, vitórias e quedas se constrói a experiência".





*A meus pais,*  
*ANTONIO CARLOS PEDROSO GERÓLAMO E*  
*MARIA CRISTINA ORRÚ GERÓLAMO*



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus e a meus pais, Antonio Carlos e Maria Cristina, pelo apoio dado em todos os momentos para vencer mais essa etapa da minha vida.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela oportunidade e instalações e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro concedido nesses dois anos.

À Dr<sup>a</sup> Mary Toshie Kayano pelo conhecimento transmitido, apoio e paciência para o desenvolvimento deste trabalho.

À Lílian e ao César que sempre estiveram dispostos a ajudar.

A todos os amigos do INPE pelo apoio, motivação e por ajudarem direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

À minha noiva Taís Dutra dos Santos por estar ao meu lado nos bons momentos e nos difíceis também, motivando e apoiando desde o início até a conclusão deste trabalho.



## RESUMO

Este trabalho teve por objetivo analisar a variabilidade do ciclo anual da temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico Tropical usando dados mensais do período de 1854 a 2006. As relações da variação do ciclo anual com fenômenos de mais baixa frequência como o El Niño/Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Decenal do Pacífico (ODP) foram também analisadas. Séries de TSM médias em duas faixas de latitudes (equador-20°N e equador-20°S) foram obtidas e filtradas na escala do ciclo anual (0,7 a 1,2 anos) usando a ondaleta de Morlet. O ciclo anual de TSM mostra variabilidade interanual e interdecenal. Durante a fase positiva da ODP, o ciclo anual de TSM no hemisfério norte (HN) se intensifica no Pacífico oeste e leste, enquanto no hemisfério sul (HS) este se intensifica no Pacífico oeste e torna-se apenas ligeiramente mais intenso no Pacífico leste. Na fase negativa da ODP, o ciclo anual de TSM se enfraquece no Pacífico oeste e se intensifica no Pacífico leste em ambos os hemisférios. Para os eventos de El Niño (La Niña), houve uma intensificação (enfraquecimento) do ciclo anual de TSM no Pacífico oeste e um enfraquecimento (intensificação) no Pacífico leste. Para os eventos de El Niño na fase positiva da ODP, o ciclo anual de TSM se intensifica no Pacífico oeste em ambos os hemisférios, e no Pacífico leste o ciclo anual de TSM torna-se apenas ligeiramente mais fraco no HN, enquanto no HS não se altera. Para os eventos de El Niño na fase negativa da ODP, o ciclo anual torna-se apenas ligeiramente mais intenso no Pacífico oeste e se enfraquece no Pacífico leste em ambos os hemisférios. Para os eventos de La Niña durante ambas as fases da ODP, ocorre um enfraquecimento do ciclo anual de TSM no Pacífico oeste e uma intensificação do Pacífico leste em ambos os hemisférios. Portanto o ciclo anual de TSM apresenta variações que dependem do ENOS e da ODP.



# **VARIABILITY OF THE ANNUAL CYCLE OF THE SEA SURFACE TEMPERATURE IN THE TROPICAL PACIFIC**

## **ABSTRACT**

This work aimed to analyze the variability of the annual cycle of the sea surface temperature (SST) in the Tropical Pacific using monthly data from the 1854-2006 period. The relationships of the annual cycle variations with lower frequency phenomena, such as the El Niño/Southern Oscillation (ENSO) and the Pacific Decadal Oscillation (PDO) were also analyzed. Series of SST average in two latitudinal bands (equator-20°N and equator-20°S) were obtained and filtered in the annual cycle scale (0.7 to 1.2 years) using the Morlet wavelet. The SST annual cycle shows interannual and interdecadal variability. During the positive PDO phase, the SST annual cycle in the northern hemisphere (NH) intensifies in the western and eastern Pacific, while in the southern hemisphere (SH) it intensifies in the western Pacific and becomes only slightly more intense in the eastern Pacific. In the negative PDO phase, the SST annual cycle weakens in the western Pacific and intensifies in the eastern Pacific, in both hemispheres. For the El Niño (La Niña) events, the SST annual cycle shows intensification (weakening) in the western Pacific and weakening (intensification) in the eastern Pacific. For El Niño events in the positive PDO phase, the SST annual cycle intensifies in the western Pacific in both hemispheres, and becomes only slightly weaker in the NH eastern Pacific while it does not change in the SH eastern Pacific. For El Niño events in the negative PDO phase, the SST annual cycle becomes only slightly more intense in the western Pacific and weakens in the eastern Pacific in both hemispheres. For La Niña events in both PDO phases, the SST annual cycle weakens in the western Pacific and intensifies in the eastern Pacific in both hemispheres. Therefore the SST annual cycle presents variations that depend on the ENSO and the PDO.





# SUMÁRIO

**Pág.**

## **LISTA DE FIGURAS**

## **LISTA DE TABELAS**

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

## **LISTA DE SIMBOLOS**

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>29</b>
1.1 Objetivos .....	33
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>35</b>
2.1 El-Niño/Oscilação Sul (ENOS) .....	35
2.2 Oscilação Decenal do Pacífico (ODP).....	38
2.3 Ciclo anual de TSM no Oceano Pacífico .....	41
<b>3. DADOS E METODOLOGIA .....</b>	<b>47</b>
3.1 Dados.....	47
3.2 Metodologia.....	47
3.2.1 Significância estatística .....	52
3.2.2 Ondaleta.....	53
3.2.2.1 Espectro de Potência da ondaleta.....	56
3.2.2.2 Cone de influência.....	57
3.2.2.3 Espectro da Potência Global (EPG) .....	57
3.2.2.4 Média por Escala da Potência da Ondaleta (MEPO) .....	58
3.2.2.5. Filtro .....	59
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
4.1 Análises de Ondaletas dos 16 índices .....	61
4.2 Variações temporais do ciclo anual para os 16 índices.....	73
4.3 Análises de ondaletas dos índices do Niño-3, Niño-1.2, Niño-4 e Niño-3.4 83	

4.4	Variações temporais do ciclo anual dos índices Niño-3, Niño-1.2, Niño-4, Niño-3.4 .....	87
4.5	Variações espaciais do ciclo anual de TSM. ....	89
4.6	Média Mensal do ciclo anual de TSM.....	94
4.7	Anomalia do ciclo anual de TSM no Pacífico Tropical.....	96
4.8	Ciclo anual para a fase positiva e negativa da ODP .....	100
4.9	Diferença entre o ciclo anual de TSM para a fase positiva e negativa da ODP e o ciclo anual médio.....	104
4.10	Ciclo anual para eventos de El Niño e La Niña .....	108
4.11	Diferença entre o ciclo anual de TSM para eventos de El Niño e La Niña e o ciclo anual médio .....	114
4.12	Ciclo anual de TSM para eventos de El Niño e La Niña durante a fase positiva e negativa da ODP .....	118
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>129</b>
5.1	Conclusões.....	129
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	132
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>133</b>

## LISTA DE FIGURAS

1.1 - TSM média sazonal para DJF e JJA.....	32
2.1 - Índice de Oscilação Sul, período de 1867 a 2008.....	37
2.2 - Série temporal do Índice da Oscilação Decenal do Pacífico para o período de 1900 a 2006. ....	39
2.3 - Série temporal do Índice Multivariado de El Niño-Oscilação Sul para o período de 1947 a 2007. ....	39
2.4 - MEPO do ciclo anual de TSM no Oceano Pacífico ao longo do equador na faixa entre 110°W – 130°W. A unidade do eixo vertical é (°C) <sup>2</sup> .....	42
2.5 - Variância da variabilidade interanual de TSM (linha sólida) e velocidade do vento zonal (linha tracejada) na área entre 110°W e 130°W e entre 4°N e 4°S. As escalas no eixo vertical à esquerda são para a temperatura em (°C) <sup>2</sup> e as escalas no eixo vertical à direita são para a velocidade do vento em (ms <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup> .....	43
2.6 - Composição do ciclo anual de TSM durante 1950-1988. Linha cheia: ciclo anual médio. Linha tracejada nos dois painéis à esquerda: ciclo anual para eventos quentes. Linha tracejada nos dois painéis à direita: ciclo anual para eventos frios. A unidade do eixo vertical é graus Celsius (°C). ....	45
2.7 - Amplitude do ciclo anual (linha sólida) e variação interanual (linha tracejada). A escala do eixo vertical à esquerda com unidade em °C para o ciclo anual e a escala do eixo vertical à direita com unidades em °C para a variação interanual. ....	46
3.1 - Seleção da área para cálculo dos 16 índices de TSM. ....	48
3.2 - Espectro da Ondaleta de TSM em 0°N, 110° - 130°W. A escala do eixo vertical é °C <sup>2</sup> /ano.....	49
3.3 - Ondaleta de Morlet.....	54
4.1 - a) Espectro da Potência local da Ondaleta para o índice de TSM da Área 1; normalizado por $\sigma^2 = 0,3202$ , as áreas sombreadas são de variâncias normalizadas, variando de 0 a 20 com o intervalo de contorno de 2. A curva em forma de U representa o COI. b) Potência Global da Ondaleta. O	

contorno fechado indica áreas em que o espectro da potência da ondaleta é significativo no nível de confiança de 95%. c) MEPO na banda de 0,7 - 1,2 anos. A reta tracejada em (b) e (c) é o nível de confiança de 95%....	63
4.2 - Idem Figura 4.1, para a Área 2 e $\sigma^2 = 0,3176$ .....	64
4.3 - Idem Figura 4.1, para a Área 3 e $\sigma^2 = 0,4525$ .....	64
4.4 - Idem Figura 4.1, para a Área 4 e $\sigma^2 = 0,4602$ .....	65
4.5 - Idem Figura 4.1, para a Área 5 e $\sigma^2 = 0,4351$ .....	65
4.6 - Idem Figura 4.1, para a Área 6 e $\sigma^2 = 0,3767$ .....	66
4.7 - Idem Figura 4.1, para a Área 7 e $\sigma^2 = 0,3339$ .....	66
4.8 - Idem Figura 4.1, para a Área 8 e $\sigma^2 = 0,5188$ .....	67
4.9 - Idem Figura 4.1, para a Área 9 e $\sigma^2 = 0,9160$ .....	69
4.10 - Idem Figura 4.1, para a Área 10 e $\sigma^2 = 0,7950$ .....	69
4.11 - Idem Figura 4.1, para a Área 11 e $\sigma^2 = 0,3304$ .....	70
4.12 - Idem Figura 4.1, para a Área 12 e $\sigma^2 = 0,2463$ .....	70
4.13 - Idem Figura 4.1, para a Área 13 e $\sigma^2 = 0,917$ .....	71
4.14 - Idem Figura 4.1, para a Área 14 e $\sigma^2 = 0,6796$ .....	71
4.15 - Idem Figura 4.1, para a Área 15 e $\sigma^2 = 1,3234$ .....	72
4.16 - Idem Figura 4.1, para a Área 16 e $\sigma^2 = 3,1444$ .....	72
4.17 - Diagrama anos versus meses do ciclo anual de TSM para as Área 1 e 2. O intervalo de contorno é de 0,3°C. Contornos negativos (positivos) estão tracejados (contínuos), as regiões com sombreado escuro (claro) possuem valores positivos (negativos).....	74
4.18 - Idem Figura 4.17, para as Áreas 3 e 4.....	75
4.19 - Idem Figura 4.17, para as Áreas 5 e 6.....	76
4.20 - Idem Figura 4.17, para as Áreas 7 e 8.....	77
4.21 - Idem Figura 4.17, para as Áreas 9 e 10.....	79
4.22 - Idem Figura 4.17, para as Áreas 11 e 12.....	80
4.23 - Idem Figura 4.17, para as Áreas 13 e 14.....	81
4.24 - Idem Figura 4.17, para as Áreas 15 e 16.....	82
4.25 - Idem Figura 4.1, para o índice do Niño 3 e $\sigma^2 = 1,4333$ .....	84

4.26 - Idem Figura 4.1, para o índice do Niño 1.2 e $\sigma^2 = 4,2110$ .....	85
4.27 - Idem Figura 4.1, para o índice do Niño 4 e $\sigma^2 = 0,2979$ .....	86
4.28 - Idem Figura 4.1, para o índice do Niño 3.4 e $\sigma^2 = 0,7827$ .....	87
4.29 - Idem Figura 4.17, para índices do Niño 3 e Niño 1.2. ....	88
4.30 - Idem Figura 4.17, para índices do Niño 4 e Niño 3.4. ....	89
4.31 - Diagrama Hovmöller para o valor mensal do ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para os meses de janeiro e julho. Regiões com degradê do azul claro para o azul escuro possuem intervalo de -0,2 a -1,2. Regiões em branco compreendem o intervalo entre -0,2 e 0,2. Regiões com degradê do amarelo para o vermelho possuem intervalo de 0,2 a 1,2. ....	90
4.32 - Diagrama Hovmöller para o valor mensal do ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para os meses de abril e outubro. Regiões com degradê do azul claro para o azul escuro possuem intervalo de -0,2 a -1,2. Regiões em branco compreendem o intervalo entre -0,2 e 0,2. Regiões com degradê do amarelo para o vermelho possuem intervalo de 0,2 a 1,2. ....	91
4.33 - Diagrama Hovmöller para o valor mensal do ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S para os meses de janeiro e julho. Regiões com degradê do azul claro para o azul escuro possuem intervalo de -0,2 a -1,2. Regiões em branco compreendem o intervalo entre -0,2 e 0,2. Regiões com degradê do amarelo para o vermelho possuem intervalo de 0,2 a 1,2. ....	92
4.34 - Diagrama Hovmöller para o valor mensal do ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S para os meses de abril e outubro. Regiões com degradê do azul claro para o azul escuro possuem intervalo de -0,2 a -1,2. Regiões em branco compreendem o intervalo entre -0,2 e 0,2. Regiões com degradê do amarelo para o vermelho possuem intervalo de 0,2 a 1,2. ....	93
4.35 - Diagrama Hovmöller para a média mensal do ciclo anual de TSM, médio entre equador e 20°N (à esquerda), médio entre equador e 20°S (à	

direita), no Pacífico tropical. Intervalo de contorno de 0,2. Regiões com sombreados claros (escuros) possuem valores menores que -0,8 (maiores que 0,8). .....	95
4.36 – Diagrama Hovmöller para anomalias do mês de janeiro do ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N. Intervalo de contorno de 0,1. Regiões com sombreados claros (escuros) possuem valores menores que -0,1 (maiores que 0,1). .....	97
4.37 - Idem Figura 4.36 para a média entre equador e 20°S. ....	99
4.38 - Ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para a fase positiva (painel à esquerda) e fase negativa (painel à direita) da ODP. Intervalo de contorno é de 0,2. Regiões com sombreados escuros (claros) possuem valores positivos (negativos).....	102
4.39 - Idem Figura 4.38, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S. ....	104
4.40 - Diferença entre ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para a fase positiva (painel à esquerda) e fase negativa (painel à direita) da ODP e o ciclo anual médio. Intervalo de contorno é de 0,01. Regiões com sombreados escuros (claros) possuem valores positivos (negativos) significativos.....	106
4.41 - Idem Figura 4.40, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S. ....	108
4.42 - Ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para eventos de El Niño. Intervalo de contorno de 0,2. Regiões com sombreados claros (escuros) possuem valores negativos (positivos).....	109
4.43 - Idem Figura 4.42, para os eventos de La Niña. ....	110
4.44 - Idem Figura 4.42, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S. ....	112
4.45 - Idem Figura 4.42, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S para eventos de La Niña. ....	113
4.46 - Diferença entre ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para eventos de El Niño (painel à esquerda) e eventos de La Niña (painel à	

direita) e o ciclo anual médio. Intervalo de contorno é de 0,02. Regiões com sombreados escuros (claros) possuem valores positivos (negativos) significativos.	1154.47
4.47 - Idem Figura 4.46, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S.....	118
4.48 - Ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para eventos de El Niño durante a fase positiva da ODP. Intervalo de contorno de 0,2. Regiões com sombreados claros (escuros) possuem valores negativos (positivos). .....	119
4.49 - Idem Figura 4.48, para a fase negativa da ODP.....	120
4.50 - Ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para eventos de La Niña durante a fase positiva da ODP. Intervalo de contorno de 0,2. Regiões com sombreados claros (escuros) possuem valores negativos (positivos),.....	122
4.51 - Idem Figura 4.50, para a fase negativa da ODP.....	123
4.52 - Idem Figura 4.48, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S. ....	124
4.53 - Idem Figura 4.48, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S para a fase negativa da ODP. ....	126
4.54 - Idem Figura 4.50, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S .....	127
4.55 - Idem Figura 4.50, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S para a fase negativa da ODP. ....	128





## LISTA DE TABELAS

4.1 - Meses de ocorrência de máximos e mínimos do ciclo anual de TSM no Hemisfério Norte.....	77
4.2 - Meses de ocorrência de máximos e mínimos do ciclo anual de TSM no Hemisfério Sul.....	83
5.1 – Influência dos fenômenos de mais baixa frequência sobre o ciclo anual de TSM no Pacífico tropical. I = Intensifica, E = Enfraquece, N = Neutro, ± I = Ligeira intensificação, ± E = Ligeiro enfraquecimento, Oeste = 120°E a 170°E e Leste = 120°W a 80°W.....	131



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- COI - Cone de Influência
- DJF - Dezembro – Janeiro – Fevereiro
- ENOS - El Niño/Oscilação Sul
- EPO - Espectro de Potência da Ondaleta
- EPG - Espectro da Potência Global da ondaleta
- HN - Hemisfério Norte
- HS - Hemisfério Sul
- IODP - Índice da Oscilação Decenal do Pacífico
- IOS - Índice da Oscilação Sul
- JJA - Junho – Julho – Agosto
- MEPO - Média por Escalas da Potência da Ondaleta
- ODP - Oscilação Decenal do Pacífico
- OS - Oscilação Sul
- PNM - Pressão ao Nível do Mar
- TCO - Transformada Contínua de Ondaleta
- TDF - Transformada Discreta de Fourier
- TO - Transformada de Ondaleta
- TSM - Temperatura da Superfície do Mar



## LISTA DE SÍMBOLOS

$X_n$	-	Seqüência discreta
$\psi_0(\eta)$	-	Função ondaleta.
$W_n(S)$	-	Transformada Contínua de ondaleta
$\hat{X}_k$	-	Transformada Discreta de Fourier
$\omega_k$	-	Freqüência angular
$\hat{\psi}(s\omega_k)$	-	Função ondaleta normalizada
$\chi_n$	-	Série temporal reconstruída
$\overline{W_n^2}(s)$	-	Média-temporal do espectro da ondaleta por um certo período de tempo
$\sigma^2$	-	Variância
$\sigma$	-	Desvio padrão



# 1. INTRODUÇÃO

O oceano tem um papel importante na modulação da variabilidade climática através de processos dinâmicos e termodinâmicos envolvidos na complexa interação entre este e a atmosfera. Isso se deve ao fato dos oceanos servir de forçante para a atmosfera bem como por ocupar um terço da superfície terrestre e também por controlar as trocas de calor latente e sensível (KAYANO et al., 2005). Assim a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos oceanos tem um papel preponderante na variabilidade climática interanual a interdecenal, já que é a principal variável física associada às condições climáticas anômalas em várias áreas do globo. Na escala interanual, um exemplo típico é o padrão de variabilidade de TSM no Pacífico leste equatorial que se caracteriza nos eventos quentes (frios), denominados de El Niño (La Niña), pela presença de anomalias positivas (negativas) de TSM. Estes eventos causam anomalias climáticas em várias áreas do globo (BJERKNES, 1969; RASMUSSEN e CARPENTER, 1982; ROPELEWISK e HALPERT, 1987 e 1996).

No entanto, nos estudos da variabilidade do clima, um procedimento comum consiste em remover das variáveis utilizadas a variância associada ao ciclo anual, definido pelas médias mensais de longo prazo, embora uma parte substancial da variância total encontra-se nessa escala de tempo. Isso decorre do fato da análise da variabilidade ser seriamente dificultada pela presença do ciclo anual. A remoção do ciclo anual permite que outras flutuações presentes na série temporal se tornem mais evidentes e estatisticamente significativas, porém um aspecto importante que se perde na remoção do ciclo anual é sua modulação por freqüências mais baixas (GUEDES et al., 2006).

Estudos recentes de séries temporais de TSM do Pacífico Equatorial mostraram a importância em se estudar o ciclo anual, bem como sua variação

em mais baixa frequência, ou seja, em escala interanual (GU e PHILANDER, 1995; SETOH et al., 1999; KIM e CHUNG, 2001) e interdecenal (SETOH et al., 1999; XUE et al., 2003). Gu e Philander (1995) inferiram que a amplitude do ciclo anual de TSM do Oceano Pacífico tropical varia muito mais em uma escala temporal interanual do que decenal. Concluíram também que no Pacífico equatorial leste, o ciclo anual de TSM é fraco em anos de El Niño e forte em anos de La Niña, ou seja, a modulação interanual do ciclo anual parece estar associada à própria variabilidade interanual de TSM. Porém alguns autores mostraram que esta relação (chamada relação de Gu e Philander – relação de GP) varia com o tempo e localização espacial. Setoh et al. (1999) mostraram que a relação de GP se manteve na região do Pacífico leste, onde o sinal do El Niño/Oscilação Sul (ENOS) é forte, antes do final dos anos 70, particularmente durante o período de 1968 – 1976 a relação foi bastante clara. Por outro lado, a amplitude do ciclo anual foi pequena durante o evento de La Niña de 1964-1966, o que é oposto à relação de GP. Esses autores também mostraram que, antes de 1970, tal relação manteve-se não somente no Pacífico leste mas também no Pacífico central (leste de 180°), e durante o período todo (1950-97), esta relação esteve presente na região equatorial entre 150-160°W. Eles concluíram também que nas décadas de 80 e 90, a mudança da amplitude dos ciclos anuais não está sistematicamente relacionada com o ciclo do ENOS.

Consistentemente, Wang e Wang (1996) observaram que a relação de GP não estava muito clara após os anos 80 e que o impacto do ENOS no ciclo anual esteve muito claro antes dos fins dos anos 70. Eles se basearam no fato de que os eventos quentes de 1982-83 e 1986-87 não causaram enfraquecimento do ciclo anual, enquanto o forte evento frio de 1988-89 fortaleceu moderadamente o ciclo anual. Além disso, Wang e Wang (1996) mostraram que fortes fases frias do ENOS aumentam a variação anual da TSM. Em menor grau, a fase quente do ENOS tende a enfraquecer o ciclo anual. Eles notaram que o impacto do ENOS no ciclo anual foi robusto durante 1950-1976, suave



depois de 1977 e sugeriram que a regulação do ENOS no ciclo anual pode ter experimentado mudanças interdecenais. Isto é possível devido à influência na variação interdecenal do estado de “background”, que mudou a característica evolução do El Niño desde o final dos anos 70 (WANG, 1995).

Ainda, Wang e Wang (1996) sugeriram que a mudança de fase entre o ENOS e o aquecimento anual pode ter resultado em mudanças no grau de influência do ENOS no ciclo anual. Assim, os autores concluíram que a variação da média mensal de TSM no Pacífico equatorial leste é dominada pelo ciclo anual, que é, porém, modulado pelo ciclo do ENOS. Além disso, eles notaram que a amplitude do ciclo anual e a amplitude e frequência do ciclo do ENOS mudam com o tempo, indicando sua não-estacionaridade e que no Pacífico equatorial central, as variações interanuais são tão dominantes que o ciclo anual é dificilmente visto, porém que este mostra um pico quente ocorrendo em maio e um pico frio em janeiro.

Um outro aspecto anteriormente observado e confirmado por Wang e Wang (1996) é que tanto o aquecimento (El Niño) quanto o resfriamento (La Niña) no Pacífico equatorial leste preferem alcançar o máximo na estação fria deste setor do Pacífico, de setembro a janeiro, inverno no HN (verão no HS). Portanto, o ciclo do ENOS e o ciclo anual de TSM do Pacífico estão em fase.

Além da variabilidade temporal, um outro aspecto importante do ciclo anual de TSM no Oceano Pacífico é a assimetria do padrão de TSM entre o Hemisfério Sul (HS) e o Hemisfério Norte (HN). Esta assimetria está ilustrada na Figura 1.1 para Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF) e Junho-Julho-Agosto (JJA). É possível observar que a região de águas mais quentes está centrada ao sul do Equador, em torno de 10°S, no norte da Austrália, durante o verão do HS (DJF). Neste mesmo período do lado leste, próximo à costa da América do Sul, nota-se valores de TSMs ligeiramente mais elevados do que no inverno. No verão do HN (JJA), essa piscina de água quente se desloca para o norte do

Equador, centrando-se em torno de 10°N, próxima à costa da Ásia. Essas águas quentes se estendem por todo o Pacífico equatorial e um outro máximo se forma na região do Pacífico equatorial leste próximo à costa da América central. Na costa próxima a América do Sul observa-se valores de TSMs menores do que no verão. Esse deslocamento latitudinal das águas quentes no Pacífico oeste entre o verão e inverno é que gera a assimetria existente nesta região.

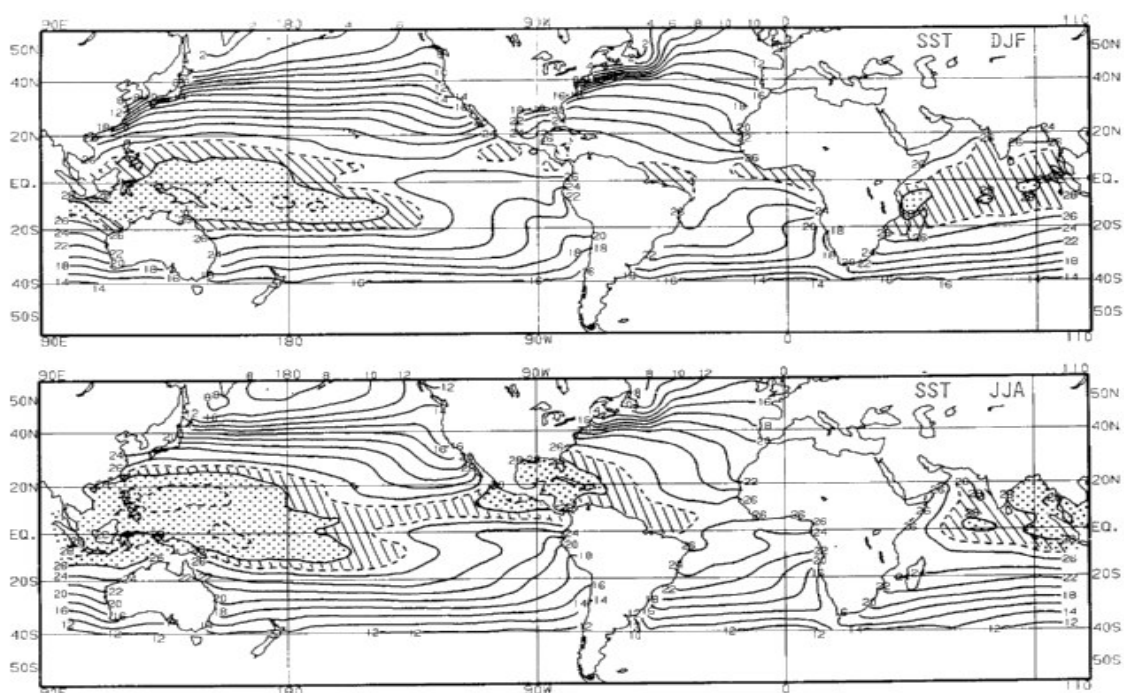


Figura 1.1 - TSM média sazonal para DJF e JJA.

Fonte: Rasmusson e Arkin (1985).

Os estudos anteriores sugerem que a relação entre o ciclo anual e variabilidade de TSM no Pacífico é dependente do período analisado e da localização dos centros de anomalias. Nesse sentido, um melhor entendimento do ciclo anual faz-se necessário uma vez que variações interanuais podem ser quantificadas e algumas vezes interpretadas como amplificações, enfraquecimentos ou deslocamento de fases do ciclo anual. Uma vez tendo o entendimento do ciclo

anual de TSM, tem-se um melhor entendimento da ocorrência de extremos do ENOS.

No Capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica, descrevendo os fenômenos que possuem relação com a variabilidade do ciclo anual de TSM no Oceano Pacífico. O capítulo seguinte descreve os dados que serão utilizados e a metodologia adotada para realização deste trabalho. Os resultados e as discussões correspondentes encontram-se no capítulo 4. No capítulo 5, serão explicitadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros e, por último, será mostrada a bibliografia referenciada no trabalho.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo geral do presente trabalho é estudar a variabilidade do ciclo anual de TSM no Oceano Pacífico tropical. Os aspectos a serem tratados são: variação na amplitude do ciclo anual no período de 1854-2006, variação espacial de seus máximos e mínimos e relação das variações do ciclo anual com fenômenos de mais baixa frequência, como por exemplo, ENOS e ODP. Esse trabalho é uma extensão de estudos anteriores por tratar da variação espacial e temporal da amplitude do ciclo anual de TSM para toda a região entre equador e 20°N e equador e 20°S da faixa entre 120°E a 80°W, e não limitada a áreas menores deste setor como em Gu e Philander (1995), Wang e Wang (1996) e Setoh et al. (1999).



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 El-Niño/Oscilação Sul (ENOS)**

Correlações estatísticas de longo prazo foram estabelecidas entre diversas variáveis atmosféricas em todo o globo por Walker (1923, 1924, 1928) e Walker e Bliss (1930, 1932, 1937). Usando as relações em fase e fora de fase da pressão ao nível do mar (PNM) eles definiram um regime oscilatório de grande escala. Este regime foi chamado de Oscilação Sul (OS), que se caracteriza por um balanço leste-oeste de anomalia de PNM entre o Pacífico central (Tahiti) e o Pacífico oeste (Darwin/Austrália).

Por outro lado, um fenômeno oceânico foi identificado séculos atrás por pescadores peruanos, que o denominaram de El Niño (menino, em espanhol) ao notarem que em certos anos ocorria uma enorme diminuição na quantidade de peixes, sempre próxima ao Natal (nascimento do menino Jesus). Eles notaram nestes anos um aquecimento anormal das águas superficiais do Pacífico leste. Atualmente sabe-se que no estágio maduro do El Niño, as águas quentes ocupam uma região estreita e alongada zonalmente na faixa do equador que se estende desde a costa do Peru, com anomalias positivas de temperatura de 3° a 5°C próximas à costa da América do Sul, reduzindo gradualmente para 1° ou 2°C próximas de 160°W, enquanto as águas superficiais do Pacífico oeste encontram-se mais frias do que o normal (PHILANDER, 1990). Se as condições são contrárias, tem-se a La Niña.

Bjerknes (1966,1969) foi o primeiro a propor uma conexão entre o El Niño e a Oscilação do Sul. Atualmente, este fenômeno acoplado oceânico/atmosférico é conhecido como o El Niño/Oscilação do Sul (ENOS) que inclui duas fases extremas. Nas fases extremas do ENOS, ocorrem alterações das circulações

atmosféricas, impondo perturbações climáticas de caráter global que interferem nas atividades humanas.

As componentes oceânicas do ENOS, El Niño e La Niña, representam as fases extremas da Oscilação Sul (RASMUSSEN e CARPENTER, 1982). Durante um episódio de El Niño: a pressão do ar sobre a Indonésia é superior à média enquanto valores abaixo da média são notados sobre o Pacífico tropical ocidental; as anomalias de TSM são positivas e os ventos alísios estão enfraquecidos no Pacífico equatorial central e leste; a termoclina fica mais rasa no lado oeste e mais profunda no lado leste do Pacífico tropical; a convecção enfraquece no lado oeste e aumenta no Pacífico equatorial central e leste. Durante um episódio de La Niña a diferença de pressão inverte-se, com pressão do ar inferior à média sobre a Indonésia e acima da média sobre o Pacífico tropical ocidental e as características anômalas de TSM, ventos, convecção e profundidade da termoclina são inversas daquelas para o episódio de El Niño. Termoclina é a região onde há uma rápida mudança na temperatura do oceano que separa as águas mais quentes próximas a superfície das águas mais frias e mais profundas, ou seja, possui um alto gradiente de temperatura.

O índice da Oscilação Sul (IOS) mede a intensidade e fase da Oscilação Sul, sendo definido pela diferença entre a PNM entre duas estações pertencentes aos centros de ações do ENOS, Tahiti e Darwin. Durante os episódios de El Niño (La Niña) o IOS assume um valor absoluto elevado, mas negativo (positivo) devido à pressão inferior (superior) à média em Tahiti e superior (inferior) à média em Darwin. O IOS está ilustrado na Figura 2.1 para o período de 1867 a 2008, no qual se destacam os picos negativos em 1896-97, 1905-06, 1940-41, 1982-83 e 1986-87, 1992-94, que foram ocorrências de fortes eventos de El Niño. Nesta figura podem também ser identificadas as ocorrências de eventos de La Niña, com destaque para os picos positivos em 1916-18, 1951, 1955-56 e 1973-76, 1988-89 entre outros. É importante notar

também que de 1976 em diante ocorreram diversos eventos quentes do ENOS. Tais ocorrências foram acompanhadas por mudanças no clima médio da região do Pacífico.

É conhecido que a periodicidade dos episódios de El Niño pode ser completamente irregular, variando de 2 a 7 anos (RASMUSSON e ARKIN, 1985; RASMUSSON e WALLACE, 1983; WANG e WANG, 1996). Um exemplo disto é apresentado por Setoh et al. (1999) que mostra uma escala de tempo do ENOS estimada em torno de 40 meses antes dos anos 70 e entre 48-52 meses, isto é, a escala de tempo aumentou em torno de 10 meses.

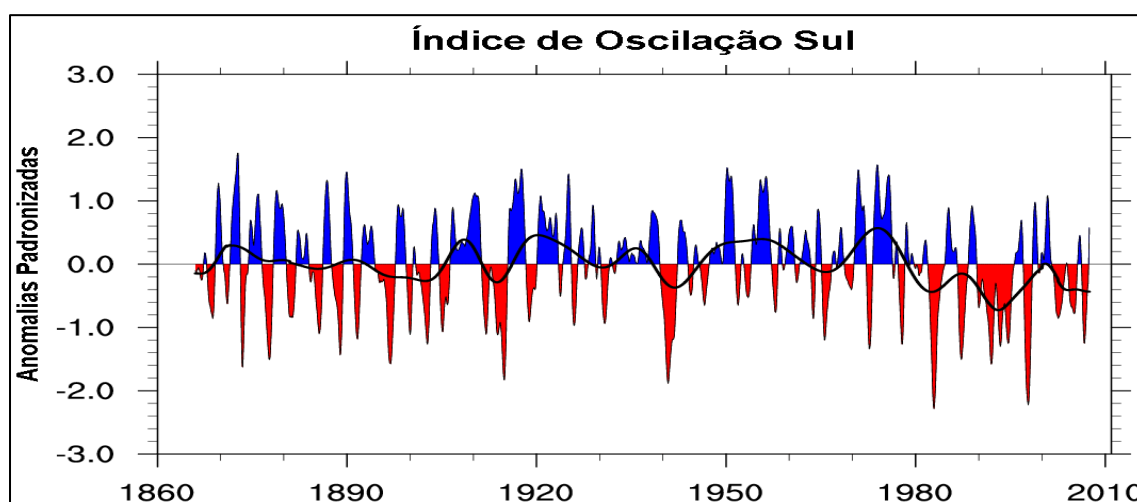


Figura 2.1 - Índice de Oscilação Sul, período de 1867 a 2008.

Fonte: Adaptado de: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/soi.html>

Em relação à amplitude do ciclo do ENOS, Gu e Philander (1995) mostraram que a amplitude do ENOS foi grande de 1885 até 1910 e pequena durante o período de 1915 a 1950, aumentando rapidamente depois dos anos 60. Isso pode ser também notado na Figura 2.1. Eles notaram também que as variações decenais na amplitude do ENOS não tiveram correspondência com a variação na amplitude do ciclo anual.

## 2.2 Oscilação Decenal do Pacífico (ODP)

Estudos recentes têm mostrado um padrão de anomalias de TSMs do Oceano Pacífico com uma configuração semelhante ao fenômeno ENOS, porém com variações de mais longo prazo denominada Oscilação Decenal do Pacífico (ODP) (MANTUA et al., 1997). Da mesma forma que o El Niño, a ODP apresenta duas fases. A fase quente da ODP está associada com ar seco e inverno mais quente na região noroeste do Pacífico, com menos precipitação e neve nas montanhas a oeste dos Estados Unidos e do Canadá, com águas aquecidas no Pacífico tropical leste e na estreita banda ao longo da costa do Alasca e do oeste dos Estados Unidos e do Canadá, e com águas mais frias que o normal em uma grande área do Pacífico norte. Nesta fase ocorre uma configuração com anomalias de TSM positivas no Pacífico tropical e negativas no Pacífico extratropical norte e sul. A fase fria apresenta uma configuração invertida, com anomalias de TSM negativas no Pacífico tropical leste e positivas no Pacífico extratropical norte e sul (ZHANG et al., 1997).

Mantua et al. (1997) definiu um índice para se medir a fase e a intensidade da ODP, chamado IODP, ilustrado na Figura 2.2. Este índice baseia-se na componente principal do primeiro modo da análise de Funções Ortogonais Empíricas das anomalias TSMs ao norte de 20°N no Pacífico. Quando se tem um regime quente, isto é, o IODP é positivo, têm-se águas mais quentes que o normal no Pacífico tropical e leste, e águas mais frias que o normal no Pacífico norte. Para o regime frio, IODP negativo, o padrão de TSM apresenta configuração inversa. Comparando o IODP com o inverso do IOS, durante o período de 1900 a 2000, esses autores notaram que durante a fase positiva da ODP (1925-1946 e 1977-2000) houve uma maior ocorrência de El Niños, enquanto na fase negativa da ODP (1910-1924 e 1947-1976), observaram um maior número de La Niñas. Isso está ilustrado na Figura 2.3 com o índice multivariado de ENOS para o período de 1950 a 2006. Assim a fase positiva da ODP pode atuar de forma construtiva para a ocorrência de El Niños.



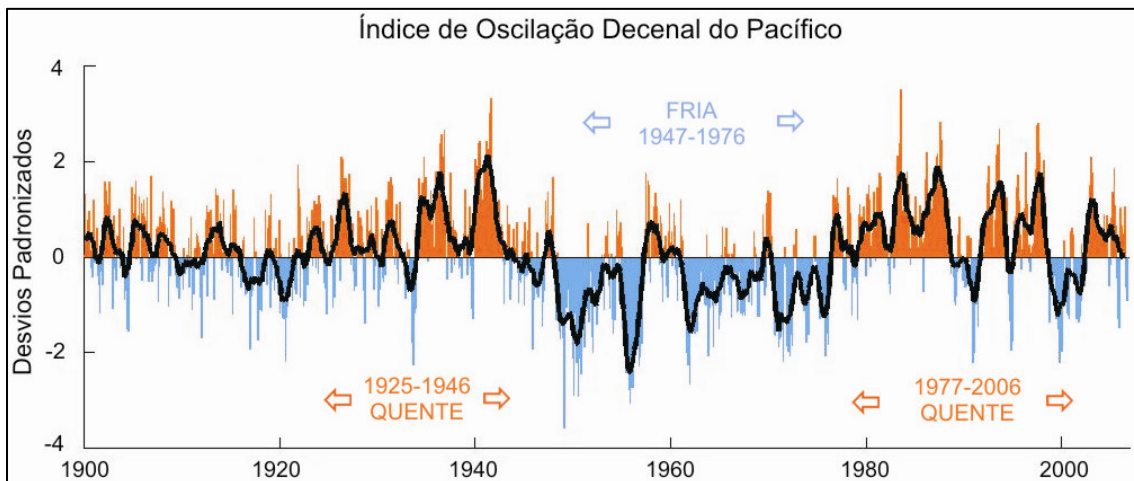


Figura 2.2 - Série temporal do Índice da Oscilação Decadal do Pacífico para o período de 1900 a 2006.

Fonte: Adaptado de: <http://img235.imageshack.us/img235/2899/pdo1bk7.jpg>

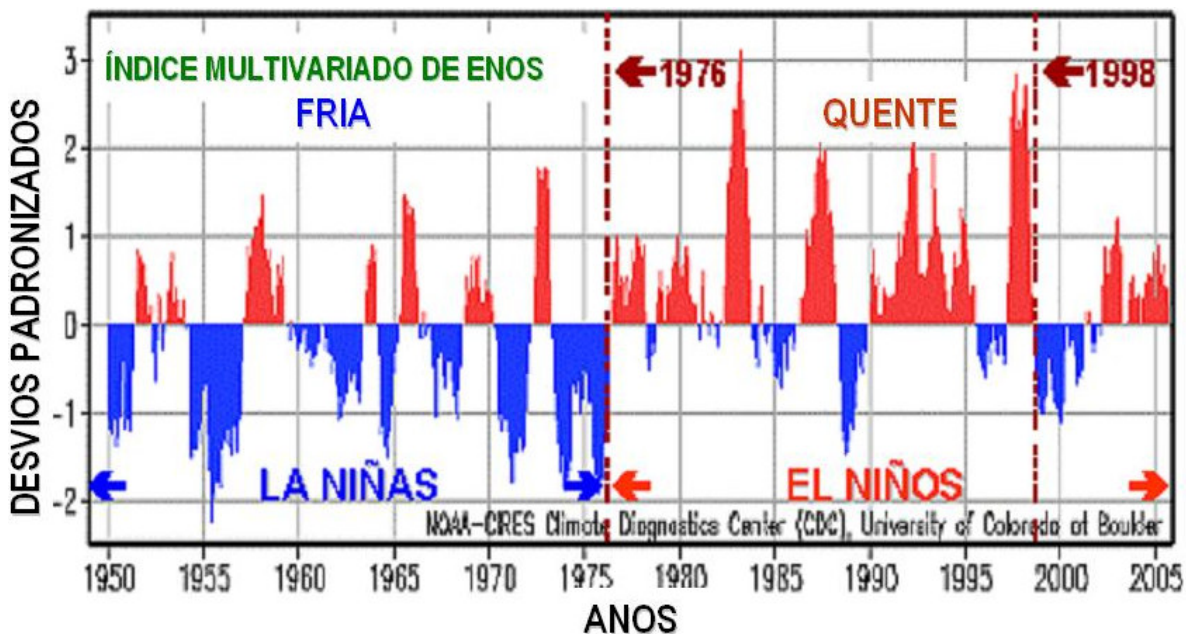


Figura 2.3 - Série temporal do Índice Multivariado de El Niño-Oscilação Sul para o período de 1947 a 2007.

Fonte: Wolter e Timlin (1998).

Wang e Picaut (2004) mostraram através de composições, calculadas pela média de anomalias de TSMs durante o período março-maio do ano de El Niño, um comportamento distinto entre os El Niños durante as fases positiva e negativa da ODP. El Niños que ocorreram na fase negativa começaram com o

aquecimento próximo às costas do Peru e Equador, e a área aquecida se expandiu para oeste. El Niños que ocorreram na fase positiva começaram com o aquecimento no lado oeste do Pacífico tropical, e a área aquecida se expandiu para leste (WANG e PICAUT, 2004).

Andreoli e Kayano (2005) mostraram a relação entre o ENOS e a precipitação para a fase positiva e negativa da ODP. Elas observaram que os sinais do El Niño na precipitação na América do Sul, para Novembro/Dezembro e Janeiro/Fevereiro do ano seguinte, são mais visíveis para a fase positiva do que para a fase negativa da ODP. As diferenças sazonais encontradas foram mais pronunciadas para a fase positiva da ODP. As grandes anomalias positivas de precipitação foram encontradas no sul da América do Sul durante Novembro/Dezembro e negativas no norte da América do Sul durante Janeiro e Fevereiro.

A relação da variabilidade da precipitação sobre a América do Sul com o ENOS, levando em conta as 3 fases da ODP (positiva, negativa e neutra), foi estudada por Kayano e Andreoli (2007). Neste estudo elas observaram que as teleconexões do ENOS para a precipitação na América do sul são consideravelmente fortes (fracas) quando o ENOS e a ODP estão na mesma fase (fase oposta). Por outro lado, os sinais opostos das anomalias de precipitação relacionadas ao El Niño e a La Niña para a fase neutra da ODP, mostram magnitudes comparáveis.

A conclusão destes trabalhos foi que a ODP e a força das teleconexões do ENOS possuem efeitos combinados na distribuição anômala da precipitação na América do Sul, o que cria um “background” para essas teleconexões agirem construtivamente (destrutivamente) quando o ENOS e a ODP estão na mesma fase (fases opostas).

## 2.3 Ciclo anual de TSM no Oceano Pacífico

O ciclo anual de TSM no Oceano Pacífico é caracterizado por águas mais quentes na região do Pacífico equatorial oeste próximo ao norte da costa australiana, com um máximo em 10°S, durante o verão do HS (DJF) (Figura 1.1). Neste período nota-se que as TSMs próximas à costa da América do Sul possuem valores ligeiramente mais elevados do que no inverno. Em JJA, inverno do HS, essa piscina de água quente no Pacífico equatorial oeste se desloca mais para o norte do equador, alcançando a costa leste da Ásia, com um máximo em torno de 10°N. Essas águas quentes se estendem por todo o Pacífico equatorial e um outro máximo se forma na região do Pacífico equatorial leste próximo à costa da América central, como mostrado na introdução (Figura 1.1).

A relação entre o ciclo anual de TSM no Pacífico e o ciclo do ENOS foi notada por Rasmusson e Arkin (1985). Eles observaram que sobre algumas regiões do Pacífico equatorial o sinal do El Niño se iguala ou excede a amplitude do ciclo anual médio, de modo que o El Niño representa uma pequena perturbação do ciclo anual médio. Eles notaram mesmo nas regiões onde o sinal do El Niño é relativamente forte, que a evolução das anomalias em um tempo de vida de 18 a 24 meses para um episódio típico mostra uma forte tendência para estar em fase com o ciclo anual. Uma maneira de interpretar o aparecimento, evolução e enfraquecimento das anomalias do clima causadas pelo ENOS sobre várias regiões do mundo está em termos do deslocamento de fase ou modulação da amplitude de algumas características do ciclo anual.

Num estudo mais recente, Setoh et al. (1999) notaram que a amplitude do ciclo anual de TSM no oceano Pacífico cresce de oeste para leste com um máximo em 100°W. Em relação a sua variabilidade, Gu e Philander (1995) usando a análise de ondaletas mostraram através da Média por Escala da Potência da

Ondaleta (MEPO) na escala de 0,7 e 1,2 anos (escala do ciclo anual), que o ciclo anual de TSM possui uma variação muito mais interanual do que decenal. Isso está ilustrado na Figura 2.4 para a faixa entre 110°W – 130°W ao longo do equador. Pode-se observar também dois períodos distintos, um de 1895 a 1935 quando se tem pouca variância do ciclo anual e o período de 1935 a 1975 quando se tem maior variância. A MEPO pode ser usada para examinar a modulação de uma série por outra e de uma frequência por outra dentro da mesma série (TORRENCE e COMPO, 1998).



Figura 2.4 - MEPO do ciclo anual de TSM no Oceano Pacífico ao longo do equador na faixa entre 110°W – 130°W. A unidade do eixo vertical é  $(^{\circ}\text{C})^2$ .

Fonte: Adaptado de Gu e Philander (1995).

A Figura 2.5 mostra a MEPO do ciclo do ENOS identificada na TSM e na velocidade do vento zonal, na escala de 1,7 a 5 anos (escala interanual), na área entre 110°W - 130°W, 4°N - 4°S, para o período de 1885 a 1975. Esta figura mostra que a TSM teve uma grande variabilidade interanual no Pacífico tropical leste nas décadas antes de 1915 e depois de 1960, enquanto que as amplitudes entre 1915 e 1950 foram geralmente pequenas, o que indica pouca variabilidade interanual. Com relação ao vento zonal, pode-se observar uma pequena variabilidade interanual entre 1905 e 1940, um pico dominante em 1945 seguido de pouca variabilidade interanual nos anos seguintes na área entre 110°W - 130°W, 4°N – 4°S.

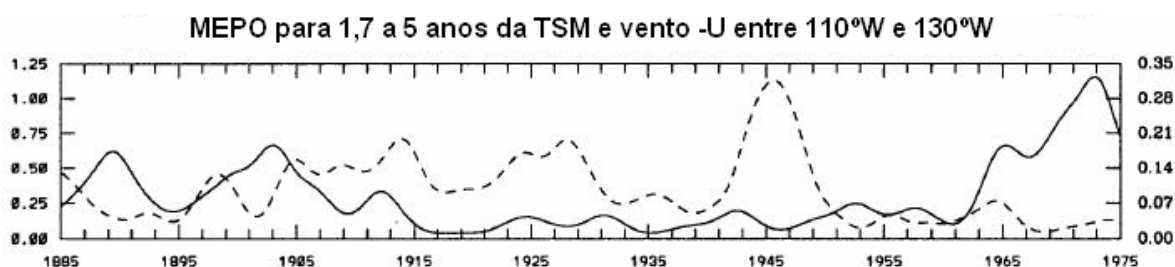


Figura 2.5 - Variância da variabilidade interanual de TSM (linha sólida) e velocidade do vento zonal (linha tracejada) na área entre 110°W e 130°W e entre 4°N e 4°S. As escalas no eixo vertical à esquerda são para a temperatura em  $(^{\circ}\text{C})^2$  e as escalas no eixo vertical à direita são para a velocidade do vento em  $(\text{ms}^{-1})^2$ .

Fonte: Adaptado de Gu e Philander (1995).

Na escala decenal não há indícios de relação entre a variância do ciclo anual e a variância do ciclo do ENOS, uma vez que está evidente que no Pacífico há flutuações em curta escala de tempo em torno de 3-5 anos, escala do ENOS. Entre 1915 e 1950, a variância do ciclo do ENOS é relativamente pequena (Figura 2.5). Neste período, a variância do ciclo anual no equador próximo a 120°W (Figura 2.4) é mais ou menos como a de décadas precedentes e subseqüentes quando a variância do ciclo do ENOS é relativamente grande (GU e PHILANDER, 1995).

Gu e Philander (1995) compararam o ciclo anual médio do período de 1950-1989 com o ciclo anual médio para eventos quentes e frios do mesmo período. Em relação ao ciclo anual climatológico, Gu e Philander (1995) mostraram uma diminuição da amplitude do ciclo anual durante anos de eventos quentes (El Niño) e um aumento durante anos de eventos frios (La Niña), como mostrado na Figura 2.6 (onde Mês 1 é igual a Março). Ainda, a diferença entre o ciclo anual médio e ciclo anual para os eventos de La Niña é mínima em março, como pode ser visto nos painéis à direita da Figura 2.6, enquanto que para eventos de El Niño, a diferença é mínima em fevereiro e março para a longitude 103°W e em maio em 125°W. Isto ocorre porque durante o El Niño, a termoclina se aprofunda no Pacífico leste e os alísios se enfraquecem de modo

que a profundidade da termoclina aumenta e a velocidade vertical diminui (GU e PHILANDER, 1995).

O ciclo anual médio atinge seu máximo entre fevereiro e março, enquanto que seu mínimo ocorre entre setembro e novembro, o mesmo ocorrendo para o ciclo anual para os eventos de El Niño e La Niña. Observa-se nos painéis à direita, que há uma diferença de  $0,3^{\circ}\text{C}$  no mês de março para a longitude de  $125^{\circ}\text{W}$  enquanto que em  $103^{\circ}\text{W}$  esta diferença é mínima. Entre os meses de setembro e novembro, ocorre a maior diferença entre o ciclo anual médio e o ciclo anual para eventos de El Niño, essa diferença chega a  $0,75^{\circ}\text{C}$  para a longitude de  $125^{\circ}\text{W}$  e de  $0,9^{\circ}\text{C}$  em  $103^{\circ}\text{W}$ , neste caso a amplitude do ciclo anual para eventos de El Niño é menor do que a do ciclo anual médio. Para o ciclo anual para eventos de La Niña (painéis à direita), há uma diferença entre os ciclos anuais de  $0,1^{\circ}\text{C}$  entre fevereiro e março (máximo dos ciclos) e de  $0,3^{\circ}\text{C}$  em setembro e outubro (mínimo dos ciclos), no caso dos painéis à direita a amplitude do ciclo anual para eventos de La Niña é maior do que a do ciclo anual médio.

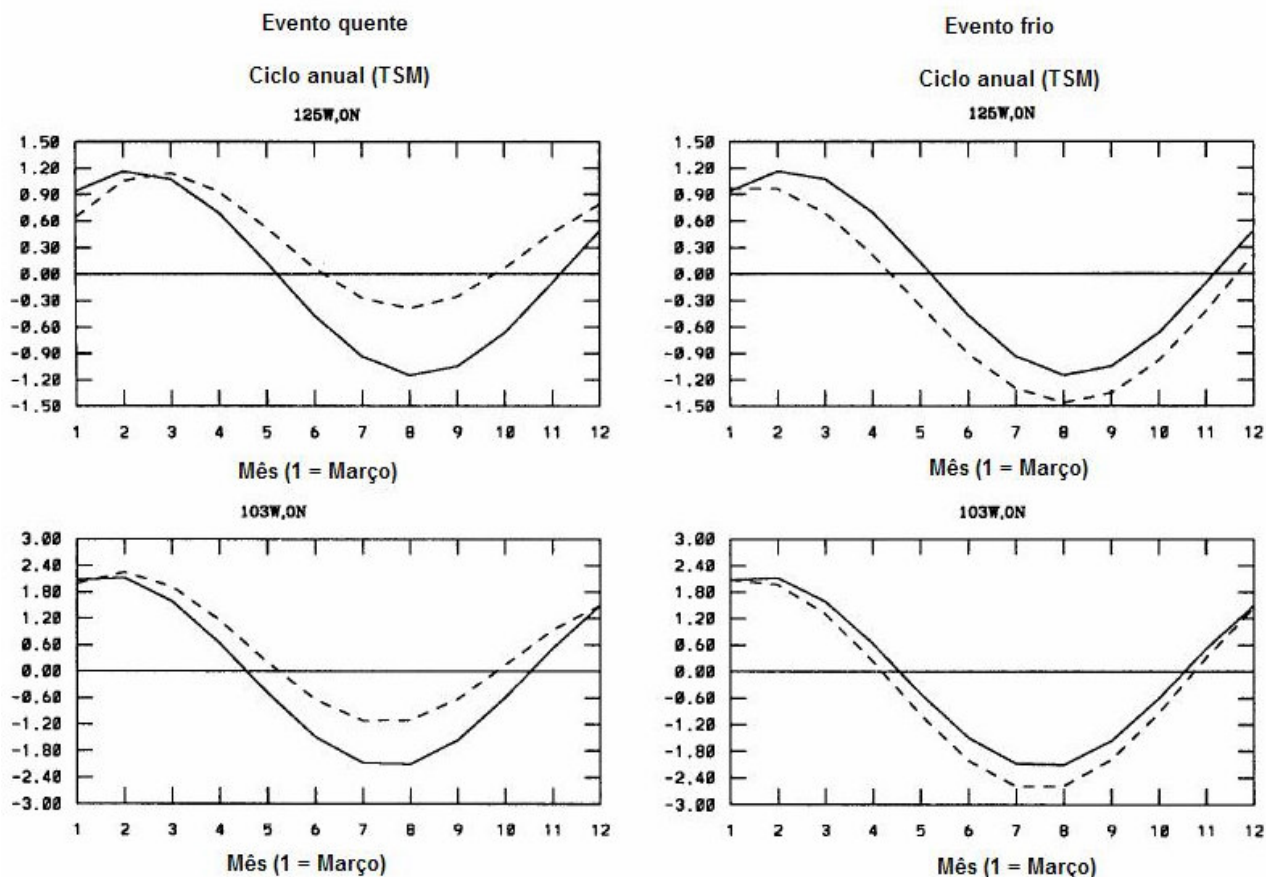


Figura 2.6 - Composição do ciclo anual de TSM durante 1950-1988. Linha cheia: ciclo anual médio. Linha tracejada nos dois painéis à esquerda: ciclo anual para eventos quentes. Linha tracejada nos dois painéis à direita: ciclo anual para eventos frios. A unidade do eixo vertical é grau Celsius (°C).

Fonte: Adaptado de Gu e Philander (1995).

Assim, Gu e Philander (1995) concluíram que a amplitude do ciclo anual está negativamente correlacionada com as variações interanuais da TSM em 125°W e 103°W. Isso está ilustrado na Figura 2.7. Fica evidente que o ciclo anual torna-se fraco durante eventos de El Niño e forte durante eventos de La Niña (relação de GP). Isso parece claro nas Figuras 2.6 e 2.7.

### Amplitude do ciclo anual e variação interanual de TSM

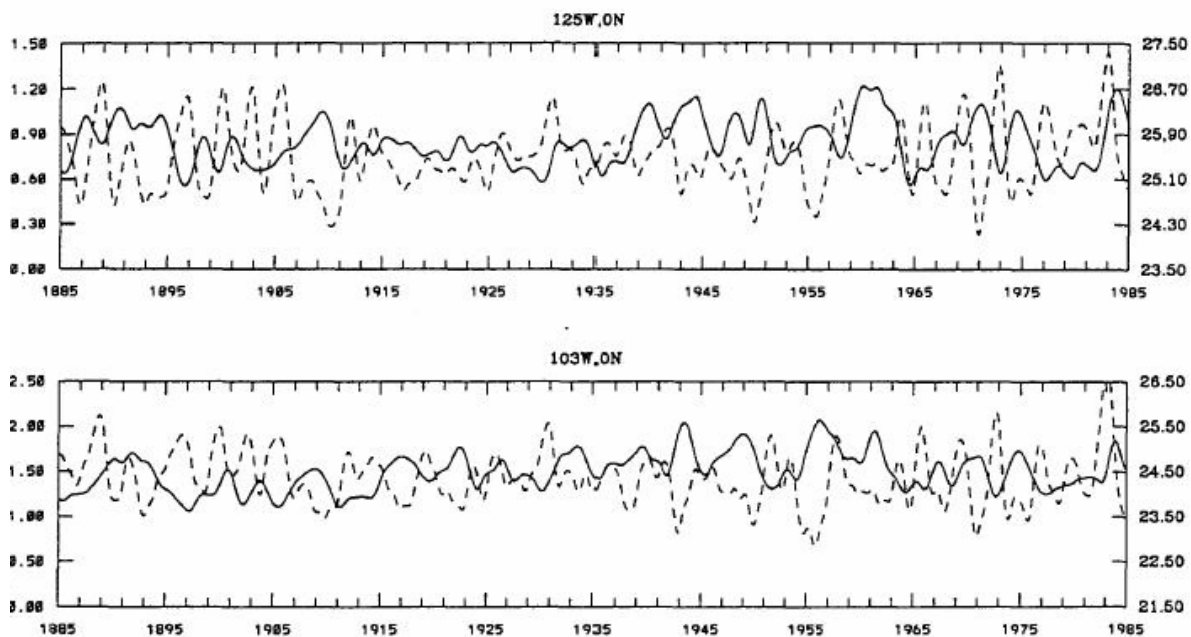


Figura 2.7 - Amplitude do ciclo anual (linha sólida) e variação interanual (linha tracejada). A escala do eixo vertical à esquerda com unidade em °C para o ciclo anual e a escala do eixo vertical à direita com unidades em °C para a variação interanual.

Fonte: Adaptado de Gu e Philander (1995).

A partir dessa revisão bibliográfica, observou-se que há uma relação entre o ciclo anual de TSM no Pacífico tropical e fenômenos de mais baixa frequência. Um aspecto importante é que o ciclo do ENOS no Pacífico equatorial leste alcança o máximo no verão do HS, estando assim em fase com o ciclo anual de TSM no Pacífico. Um outro aspecto relevante é a relação GP na qual o ciclo anual de TSM no Pacífico tropical é fraco (forte) em anos de El Niño (La Niña). O estudo de Gu e Philander (1995) se baseou no período de 1870-1988 e se restringiu às longitudes do Pacífico equatorial leste. Por outro lado não foram encontrados na literatura estudos que relacionam a variabilidade do ciclo anual de TSM no Pacífico tropical com a ODP. Portanto, é importante reavaliar o ciclo anual de TSM no Pacífico tropical usando um período longo de dados, o que possivelmente permitirá analisar a relação deste ciclo com a ODP.



## **3. DADOS E METODOLOGIA**

### **3.1 Dados**

Os dados usados neste trabalho consistem de campos mensais de TSM globais em pontos de grade obtidos (do sítio <http://www.jisao.washington.edu/data/ersst/#data>) para o período de 1854 até 2006. Os dados de TSM consistem de séries temporais reconstruídas por Smith e Reynolds (2004) em cada ponto de grade, com uma resolução espacial de 2° por 2° em latitude e longitude. A região selecionada para este trabalho está delimitada entre as latitudes 20°S e 20°N e longitudes 120°E e 80°W.

### **3.2 Metodologia**

Inicialmente foram obtidos 16 índices de TSM no Pacífico para o período de 1854 até 2006 para caixas de 20° em longitude por 20° em latitude, sendo a primeira entre o equador e 20°N, 80°W e 100°W. As caixas subseqüentes são obtidas a cada 20° em longitude. Caixas também são obtidas entre equador e 20°S. A separação entre o HN e o HS será feita devido à assimetria relativa ao equador existente na TSM média do Oceano Pacífico tropical como mostrada na introdução.

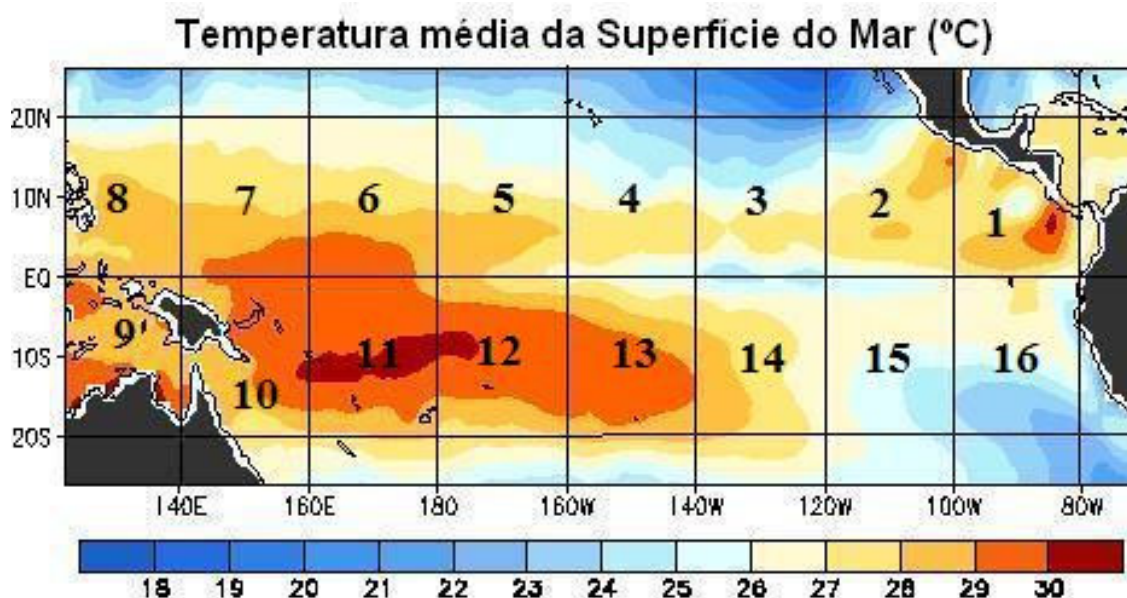


Figura 3.1 - Seleção da área para cálculo dos 16 índices de TSM.

Fonte: Adaptado de: [http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_update/sstweek\\_c.gif](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_update/sstweek_c.gif)

Esses 16 índices foram obtidos fazendo-se a média de TSM dos pontos de grade em cada área selecionada. Posteriormente ao cálculo dos índices, calculou-se o espectro de potência global de cada um dos 16 índices. Este espectro de potência global é a média da potência de ondaleta no tempo e é similar ao espectro de potência de Fourier (TORRENCE e COMPO,1998). Os resultados destes cálculos serviram de base para a filtragem de todos os índices na banda do ciclo anual através da Ondaleta de Morlet, que é foco deste trabalho. Este procedimento também foi utilizado para os índices do Niño-3 (5°N – 5°S; 150°W – 90°W), Niño-1.2 (Eq. – 10°S; 90°W – 80°W), Niño-4 (5°N – 5°S; 160°E – 150°W) e Niño-3.4 (5°N – 5°S; 170°W – 120°W). A formulação matemática sobre ondaleta de Morlet está no item 3.2.2. No espectro de ondaleta da série de TSM no equador entre 110°W e 130°W, obtido por Gu e Philander (1995), um mínimo ocorre ao redor do período de 0,6 anos, que separa o ciclo anual do ciclo semianual (Figura 3.2), e ao redor de 1,7 anos, que separa o ciclo anual da variabilidade interanual. Segundo Gu e Philander (1995) a variância no limite de  $0,7 \leq a \leq 1,2$  anos pode ser

considerada como a banda do ciclo anual. Esta escala foi considerada no presente estudo.

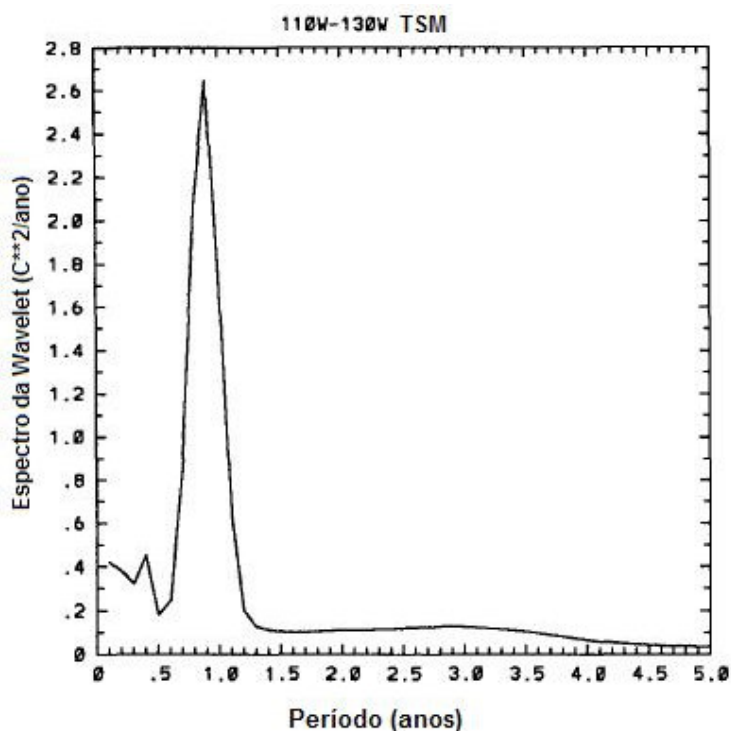


Figura 3.2 - Espectro da Ondaleta de TSM em 0°N, 110° - 130°W. A escala do eixo vertical é °C<sup>2</sup>/ano.

Fonte: Adaptado de Gu e Philander (1995).

A variabilidade temporal do ciclo anual de cada índice foi estudada através da MEPO para a escala de 0,7 a 1,2 anos e é definida como a soma ponderada do espectro de potência da ondaleta da escala  $s_1=0,7$  a  $s_2=1,2$ . Essa média em escala pode ser usada para examinar a modulação de uma série por outra e de uma frequência por outra dentro da mesma série (TORRENCE e COMPO, 1998).

A análise da variação temporal do ciclo anual também foi feita através de um diagrama anos versus meses para cada um dos 16 índices e dos índices do Niño-3, Niño-1.2, Niño-4, Niño-3.4 filtrados na banda do ciclo anual.

Após a filtragem dos 16 índices usando ondaleta de Morlet para a escala anual, (0,7 a 1,2 anos), determinaram-se os meses de ocorrência de máximo e mínimo durante o período estudado. Desta maneira foram construídos gráficos meses versus áreas para os 16 índices filtrados.

Para se analisar a variação espacial do ciclo anual de TSM, para cada longitude entre 80°W e 120°E, foram obtidas as séries médias entre equador e 20°N e equador e 20°S e estas foram filtradas na banda do ciclo anual. Essas séries foram utilizadas na construção de diagramas Hovmöller de anos versus longitudes. Esta análise foi feita para os meses centrais das estações do ano, ou seja, para janeiro, abril, julho e outubro.

Essas séries médias filtradas para cada longitude, também foram utilizadas no cálculo da média mensal para cada longitude e em seguida construiu-se um diagrama Hovmöller de meses versus longitude para a análise da média mensal do ciclo anual de TSM no Pacífico tropical.

Analisou-se também a anomalia do ciclo anual para o mês de janeiro. Esta foi feita através da análise de diagramas Hovmöller de anos versus longitude, obtida pelo cálculo da diferença entre a média mensal de janeiro e a variação espacial deste mês.

Para o estudo da relação entre o ciclo anual médio e o ciclo anual de TSM para as duas fases da ODP, calculou-se a média mensal separadamente para fase positiva (1925-1946; 1977-1998) e para a fase negativa da ODP (1910-1924; 1947-1976), resultando assim em um ciclo anual para a fase positiva e um para fase negativa da ODP. Esta análise possibilitou investigar a relação existente entre esse fenômeno e o ciclo anual médio. Para uma melhor análise dessa relação, obteve-se a diferença entre o ciclo anual de TSM para as duas fases

da ODP e o ciclo anual médio. A significância das diferenças foi obtida através do teste t de Student.

Analisou-se também a relação do ciclo anual com o ENOS. Para esta análise foi necessário identificar anos de ocorrência de El Niño e de La Niña. Para isso utilizou-se o índice de anomalia de TSM para a região do Niño 3.4. De acordo com Trenberth (1997), se a média móvel de 5 meses para a anomalia de TSM na região do Niño 3.4 exceder  $0,4^{\circ}\text{C}$  por 6 meses consecutivos ou mais tem-se ocorrência de El Niño, e o oposto para o caso de La Niña (menores que  $-0,4^{\circ}\text{C}$ ). Com base no estudo de Trenberth (1997) foram encontrados os meses de ocorrência dos eventos de El Niño e La Niña para todo o período de estudo.

Uma vez identificados os meses de ocorrência de El Niño e de La Niña, calculou-se a média mensal para esses eventos das séries médias de cada longitude filtradas na banda do ciclo anual. Assim foram obtidas composições das médias mensais para eventos de El Niño e La Niña. Dessa forma foi possível analisar as relações do ciclo anual com o ENOS. Para uma melhor análise dessa relação, obteve-se a diferença entre o ciclo anual de TSM para eventos de El Niño e de La Niña e o ciclo anual médio, aplicando o teste de significância para os valores obtidos dessa diferença.

Uma outra análise que se fez, foi a do ciclo anual de TSM para eventos de El Niño e La Niña durante a fase positiva e negativa da ODP. Assim obteve-se o ciclo anual de TSM médio para eventos de El Niño e de La Niña que ocorreram durante essas duas fases da ODP. Dessa maneira foi possível observar se esses dois fenômenos atuam de forma construtiva, destrutiva ou neutra no ciclo anual médio, quando estão em fase ou fases diferentes.

Nos itens abaixo serão feitas discussões da significância estatística das médias, das diferenças das médias e sobre ondas, já que esta técnica será utilizada para a filtragem das séries de TSM do Oceano Pacífico.

### 3.2.1 Significância estatística

As significâncias estatísticas das médias e das diferenças das médias foram obtidas considerando-se o número graus de liberdade como sendo o número de anos. Seja uma variável  $X$  com  $n$  valores e desvio padrão  $S$ , com uma distribuição normal, a média absoluta,  $\bar{X}$ , é estatisticamente significativa se exceder o valor limiar de (PANOFKY e BRIER, 1968):

$$t_{\alpha(n-1)} S / \sqrt{(n-1)} \quad (3.1)$$

onde  $t_{\alpha(n-1)}$  é o valor da distribuição *t de Student* para  $(n-1)$  graus de liberdade e probabilidade  $\alpha$ .

Para as diferenças das médias, entre duas variáveis  $X_1$  e  $X_2$ , com  $n_1$  e  $n_2$  valores, desvios padrão  $S_1$  e  $S_2$ , e suas médias indicadas por  $\bar{X}_1$  e  $\bar{X}_2$ , respectivamente, assume-se que a diferença  $X_1 - X_2$  tem uma distribuição *t de Student*. A diferença absoluta,  $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$ , é estatisticamente significativa se exceder o valor limiar de (PRESS et al., 1986):

$$t_{\alpha(n_1+n_2-2)} \sqrt{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2} \times \sqrt{\frac{n_1+n_2}{n_1n_2(n_1+n_2-2)}} \quad (3.2)$$

Em ambos casos o nível de confiança considerado foi de 95%, que corresponde a  $\alpha=0,05$ .

### 3.2.2 Ondaleta

O uso da Transformada de ondaleta (TO) aumentou rapidamente como uma alternativa à Transformada Fourier para analisar fenômenos locais, não-periódicos e multiescalares. Tem vantagens sobre a análise espectral clássica, porque permite analisar escalas diferentes de variabilidade temporal e não necessita de uma série estacionária. Assim, é apropriada para analisar eventos irregularmente distribuídos e séries temporais que contêm potência não-estacionária em várias frequências diferentes (TORRENCE e COMPO, 1998).

A TO é uma técnica que permite decompor uma série temporal em espaço tempo-frequência, de modo a ser possível determinar os modos dominantes de variabilidade e como estes variam no tempo, mantendo simultaneamente a localização temporal dos principais eventos. Em outras palavras, é possível obter informações da amplitude de quaisquer sinais dentro da série, bem como de que forma esta amplitude varia com o tempo. Enquanto que a análise espectral é essencialmente utilizada para a detecção de ciclos ou periodicidades.

Seja  $x_n$ , uma série com espaçamento igual,  $\delta t$ , e  $n=0, \dots, N-1$ . Supor que temos uma função ondaleta  $\Psi_0(\eta)$ , que depende de um parâmetro temporal não-dimensional  $\eta$ . Para ser admissível como uma ondaleta, esta função precisa ter média zero e ser localizada no tempo e no espaço de frequência. Um exemplo é a ondaleta de Morlet que consiste de uma onda plana modulada por uma Gaussiana:

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0\eta} e^{-\eta^2/2} \quad (3.3)$$

onde  $\omega_0$  é a frequência não-dimensional, cujo valor é 6 para satisfazer a condição de admissibilidade.

A ondaleta de Morlet está ilustrada na Figura 3.3.

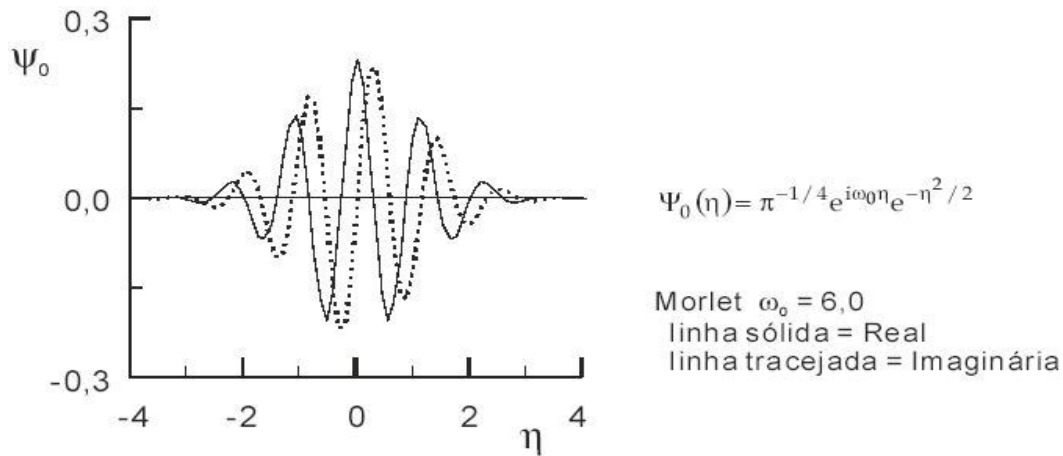


Figura 3.3 - Ondaleta de Morlet.

Fonte: Santos et al. (2002).

A transformada contínua de ondaleta (TCO) para uma seqüência discreta  $x_n$  é definida pela convolução de  $x_n$  com uma versão de  $\psi_0(\eta)$  escalada e transladada, ou seja:

$$W_n(S) = \sum_{n'=0}^{N-1} x_{n'} \psi^* \left[ \frac{(n' - n)\delta t}{S} \right] \quad (3.4)$$

onde  $(^*)$  é o complexo conjugado. Variando  $S$  (escala da ondaleta) e  $n$  (índice localizado no tempo) pode ser construída uma imagem mostrando a amplitude de qualquer característica versus a escala e como esta amplitude varia com o tempo.

As TCO podem ser calculadas usando (3.4), porém estas são calculadas no espaço de Fourier. A transformada discreta de Fourier (TDF) de  $x_n$  é:

$$\hat{x}_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-2\pi i k n / N} \quad (3.5)$$



onde,  $k=0, \dots, N-1$  é o índice de frequência.

A TCO é a transformada de Fourier inversa do produto, dada por:

$$W_n(s) = \sum_{k=0}^{N-1} \hat{\chi}_k \hat{\psi}(s\omega_k) e^{i\omega_k n \delta t} \quad (3.6)$$

onde, a frequência angular  $\omega_k$  é definida por:

$$\omega_k = \begin{cases} \frac{2\pi k}{N\delta t} & : k \leq \frac{N}{2} \\ -\frac{2\pi k}{N\delta t} & : k > \frac{N}{2} \end{cases} \quad (3.7)$$

Para que as TCOs de cada escala  $\mathbf{S}$  sejam comparáveis entre si e com as TCO de outras séries temporais, a função da ondaleta em cada escala  $\mathbf{S}$  é normalizada para se ter energia (potência) unitária:

$$\hat{\psi}(s\omega_k) = \left( \frac{2\pi s}{\delta t} \right)^{1/2} \hat{\psi}_0(s\omega_k) \quad (3.8)$$

Em cada uma das funções de ondaleta, o  $\hat{\psi}_0$  é normalizado para ter energia unitária, ou seja:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\hat{\psi}_0(\omega')|^2 d\omega' = 1$$

Usando esta normalização em cada escala tem-se:

$$\sum_{k=0}^{N-1} |\hat{\psi}(s\omega_k)|^2 = N \quad (3.9)$$

onde  $N$  é o número de pontos.

A TCO é um filtro passa banda com uma função resposta conhecida (a função ondaleta). Assim é possível reconstruir a série original usando filtro inverso. Para isso usa a função delta ( $\delta$ ). A série temporal reconstruída é a soma para todas as escalas da parte real da TCO:

$$x_n = \frac{\delta_j \delta_t^{1/2}}{C_\delta \psi_0(0)} \sum_{j=0}^j \frac{\Re\{W_n(s_j)\}}{s_j^{1/2}} \quad (3.10)$$

onde, o fator  $\psi_0(0)$  remove a escala de energia,  $s_j^{1/2}$  converte a TCO para uma densidade de energia (TORRENCE e COMPO, 1998).

### 3.2.2.1 Espectro de Potência da ondaleta

Como  $\psi(\eta)$  é complexa, a  $W_n(s)$  também é complexa, e pode ser dividida em: parte real  $\Re\{W_n(s)\}$  e parte imaginária,  $\Im\{W_n(s)\}$  ou em amplitude,  $|W_n(s)|$  e fase,  $\tan^{-1} [\Im\{W_n(s)\} / \Re\{W_n(s)\}]$ . O espectro de potência da ondaleta é definido como  $|W_n(s)|^2$ .

Usando a normalização em (3.8), e aplicar em (3.6), o valor esperado de  $|W_n(s)|^2$  é igual a N vezes o valor esperado de  $|\hat{X}_k|^2$ . Para uma série temporal de ruído branco (sem dominância de uma certa freqüência) o valor esperado de  $|\hat{X}_k|^2$  é  $\sigma^2 / N$ , onde  $\sigma^2$  é a variância da série. Portanto para um processo de ruído branco, o valor esperado da TCO é  $|W_n(s)|^2 = \sigma^2$  para todos os n e s (TORRENCE e COMPO, 1998).

A normalização do espectro de potência da ondaleta por  $1/\sigma^2$ , ou seja,  $|W_n(s)|^2/\sigma^2$ , espectro de potência da ondaleta normalizada, dá uma medida da potência relativa ao ruído branco (todas as frequências têm mesma potência).

### 3.2.2.2 Cone de influência

Como as séries temporais são finitas, erros poderão ocorrer no início e fim do espectro de potência da ondaleta. Isso se deve ao fato de que em

$W_n(S) = \sum_{k=0}^{N-1} \hat{\chi}_k \hat{\psi}(S\omega_k) e^{i\omega_k n \hat{\alpha}}$  está se supondo dados cíclicos. A série deve ser

preenchida com zeros até que seu comprimento atinja a próxima potência de 2. Em conseqüência, há descontinuidades no final da série e os valores do espectro de potência da ondaleta para as escalas grandes não são confiáveis. Define-se o Cone de Influência (COI), região do espectro de potência (curva em forma de U) sob a qual o efeito de borda é importante, como o tempo de decaimento (e-folding time) para a autocorrelação da potência da ondaleta em cada escala. Este tempo é escolhido de modo que a potência da ondaleta para uma descontinuidade no final da série caia por um fator de  $e^{-2}$  de modo que além daquele ponto os efeitos de borda são desprezíveis. Valores do espectro de potência da ondaleta que caírem dentro COI não devem ser analisados (TORRENCE e COMPO, 1998).

### 3.2.2.3 Espectro da Potência Global (EPG)

Se uma medida do espectro local é uma fatia vertical através de um gráfico de ondaleta então a média-temporal do espectro da ondaleta por certo período de tempo é:

$$\overline{W}_n^2(s) = \frac{1}{n_a} \sum_{n=n_1}^{n_2} |W_n(s)|^2 \quad (3.11)$$

onde, o novo índice  $n$  é designado arbitrariamente como sendo o ponto médio entre  $n_1$  e  $n_2$ ,  $n_a = n_2 - n_1 + 1$  é o número de pontos  $n$  no qual é feita a média.

Se a média é feita para todos os espectros locais de ondaleta, resulta o espectro da potência global da ondaleta, que fornece uma estimativa consistente do verdadeiro espectro de potência de uma série temporal.

$$\overline{W}^2(s) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |W_n(s)|^2 \quad (3.12)$$

### 3.2.2.4 Média por Escala da Potência da Ondaleta (MEPO)

A MEPO é definida como a soma ponderada do espectro de potência da ondaleta da escala  $s_1$  a  $s_2$ :

$$\overline{W}_n^2 = \frac{\delta_j \delta_t}{C_\delta} \sum_{j=j_1}^{j_2} \frac{|W_n(s_j)|^2}{s_j} \quad (3.13)$$

A MEPO pode ser usada para examinar a modulação de uma série por outra e de uma frequência por outra dentro da mesma série. É conveniente normalizar a potência da ondaleta pelo valor esperado para uma série temporal de ruído

branco. De (3.13), este valor esperado é:  $\frac{\delta_j \delta_t \sigma^2}{C_\delta S_{avg}}$ , onde  $\sigma^2$  é a variância da

série temporal, e  $S_{avg}$  é definido por:

$$S_{\text{avg}} = \left( \sum_{j=j_1}^{j_2} \frac{1}{s_j} \right)^{-1} \quad (3.14)$$

### 3.2.2.5. Filtro

Como discutido anteriormente, a TO (equação 3.4) é essencialmente um filtro passa banda de forma uniforme e variando na localização e tempo de decaimento da amplitude da ondaleta. Somando por um subconjunto de escala em (3.8) pode ser construída uma série temporal filtrada dada por:

$$x'_n = \frac{\delta_j \delta_t^{1/2}}{C_\delta \psi_0(0)} \sum_{j=j_1}^{j_2} \frac{\Re\{W_n(s_j)\}}{s_j^{1/2}} \quad (3.15)$$

onde,  $\psi_0(0) = \pi^{-1/4}$ . O filtro tem resposta dada pela soma das funções ondaletas entre as escalas  $j_1$  e  $j_2$  (TORRENCE e COMPO, 1998).



## 4. RESULTADOS

### 4.1 Análises de Ondaletas dos 16 índices

As Figuras 4.1 - 4.16 mostram as análises de ondaletas para os índices de TSM da região do Pacífico tropical cujas localizações estão indicadas na Figura 3.1, respectivamente. Nos painéis (a), são apresentados os espectros de potência local da ondaleta (EPO). Valores significativos de EPO correspondem a variâncias significativas da TSM ao nível de confiança de 95%, para uma dada escala e tempo. Os painéis (b) apresentam os espectros da potência global da ondaleta (EPG). Os gráficos em (c) apresentam a MEPO para a escala de 0,7 a 1,2 anos, que corresponde à escala do ciclo anual.

O EPG de todas as Figuras do HN (Figuras 4.1 a 4.8), mostra um pico dominante na escala de aproximadamente 1 ano. Esse pico concorda com o obtido anteriormente por Gu e Philander (1995) e resulta de EPO significativo de 1854-2006 para a escala do ciclo anual (0,7-1,2 anos). O EPG nas Figuras 4.1, 4.2, 4.8 e 4.9 apresentam uma pequena variabilidade semianual (escala de 0,5 anos). Observa-se nas Figuras de 4.1 a 4.5 a presença de picos secundários (não-significativos) para a escala interanual (5,05 anos), resultantes de EPO relativamente altos, mas não significativos nos períodos de 1890-1920, 1950-2000 para a escala de 3 - 7 anos. É importante observar que este pico se reduz a partir da Figura 4.5 a 4.8, o que significa que a variabilidade interanual diminui para oeste na região do Pacífico central norte.

A MEPO para a escala de 0,7 – 1,2 anos mostradas no painel (c) em todas as figuras indicam que praticamente não há sinal da variabilidade interanual para o período anterior a 1880. Observa-se nas variações da MEPO da Figura 4.1 uma variabilidade com uma escala de 20-40 anos, com os picos ocorrendo nos

anos de 1880, 1918, 1942, 1958, 1976, 1993 e 2000. A estes picos estão superimpostos picos na escala interanual. Para a Figura 4.2 destacam-se dois picos, um por volta de 1888 e o segundo em 1942, também neste caso, ocorrem picos na escala interanual. As MEPOs das Figuras 4.3 e 4.4 apresentam de forma semelhante, vários picos na escala interanual, mas sem picos maiores que  $1\sigma$ , exceto um ocorrendo próximo a 2000. Na Figura 4.4 além dos picos na escala interanual destacam-se também os picos maiores que  $1\sigma$  em 1917, 1920 e de 2000.

Os painéis (c) das Figuras 4.5 a 4.7 apresentam maior variabilidade do que os das figuras anteriores, indicada por MEPOs acima de  $1\sigma$ . Por exemplo, na Figura 4.5 há picos em 1911, 1920, 1992, anos de ocorrência de El Niño, e 2000 com valores superiores a  $1\sigma$ . Nas Áreas 6 e 7 ocorrem as maiores variabilidades para todo período, com os picos superiores a  $1\sigma$ , chegando a  $1.4\sigma$  em 1911 na Figura 4.6 e por volta de  $1.2\sigma$  em 1918, 1969 e 1992 na Figura 4.7, que são anos de ocorrência de El Niño. Na Figura 4.6 observam-se ainda, picos superiores a  $1\sigma$  como em 1907, 1920, 1931, 1937, 1960, 1968, 1970, 1988 e 1992. De forma semelhante, a Figura 4.7 também apresenta diversos picos com valores superiores a  $1\sigma$ , como em 1908, 1913, 1918, 1930, 1938, 1955, 1960, 1969, 1992 e 1996. Essa variabilidade diminui para a Figura 4.8, mas os picos em 1969 e 1996 se mantêm em torno  $1.2\sigma$ .



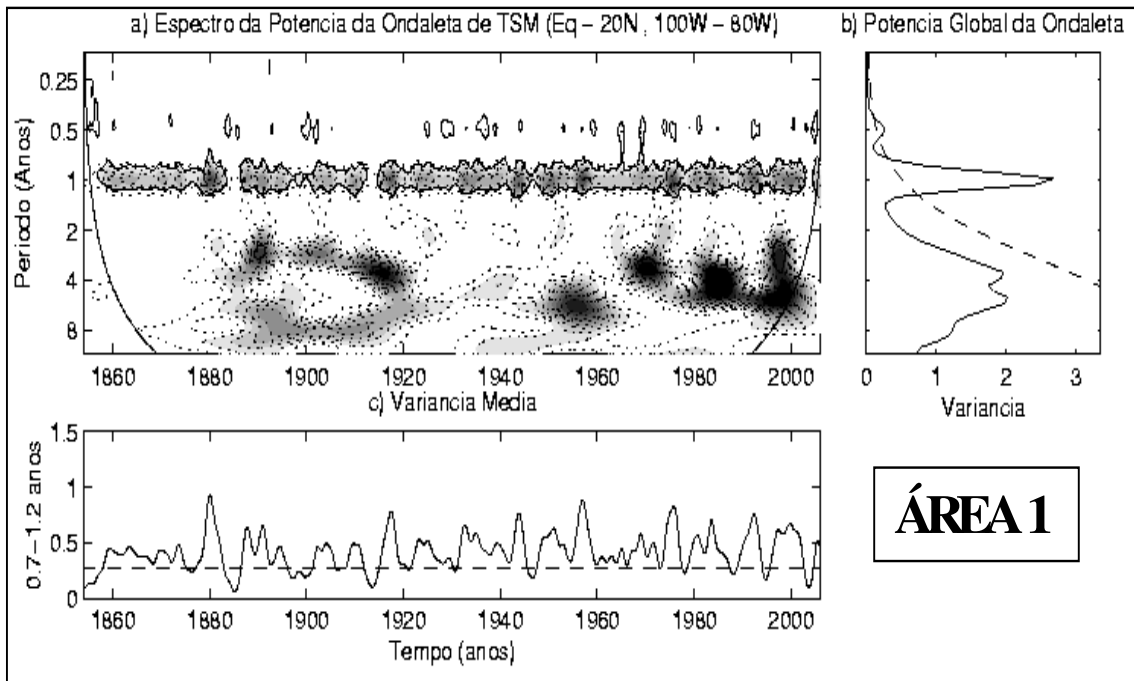


Figura 4.1 - a) Espectro da Potência local da Ondaleta para o índice de TSM da Área 1; normalizado por  $\sigma^2 = 0,3202$ , as áreas sombreadas são de variâncias normalizadas, variando de 0 a 20 com o intervalo de contorno de 2. A curva em forma de U representa o COI. b) Potência Global da Ondaleta. O contorno fechado indica áreas em que o espectro da potência da ondaleta é significativo no nível de confiança de 95%. c) MEPO na banda de 0,7 - 1,2 anos. A reta tracejada em (b) e (c) é o nível de confiança de 95%.

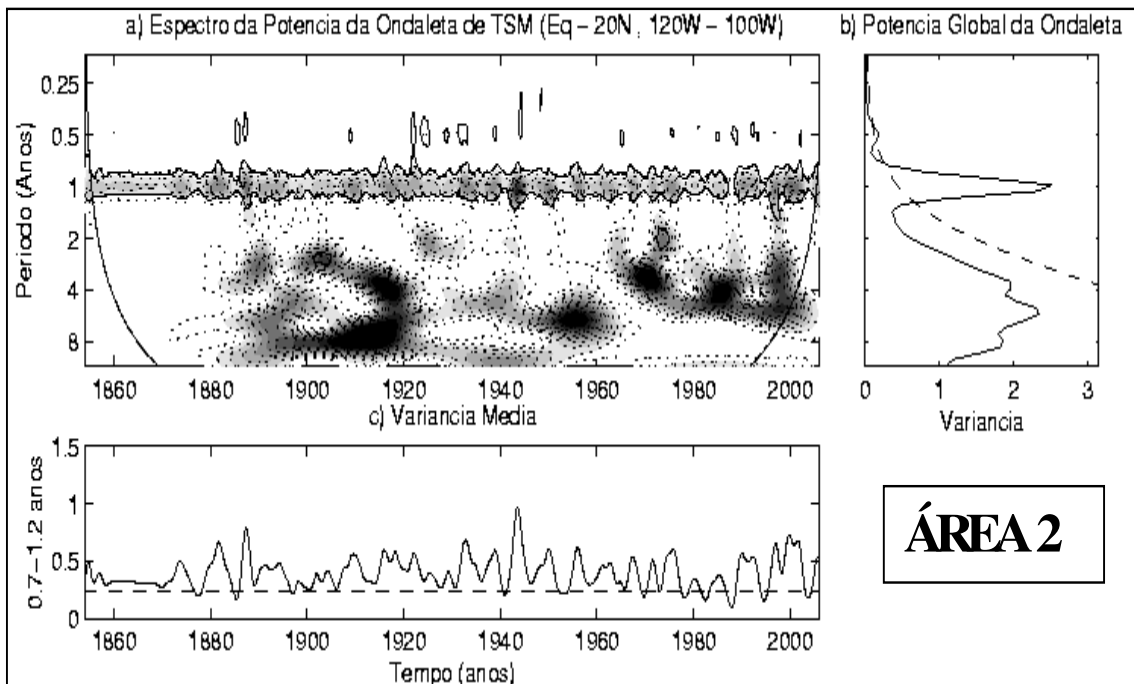


Figura 4.2 - Idem Figura 4.1, para a Área 2 e  $\sigma^2 = 0,3176$ .

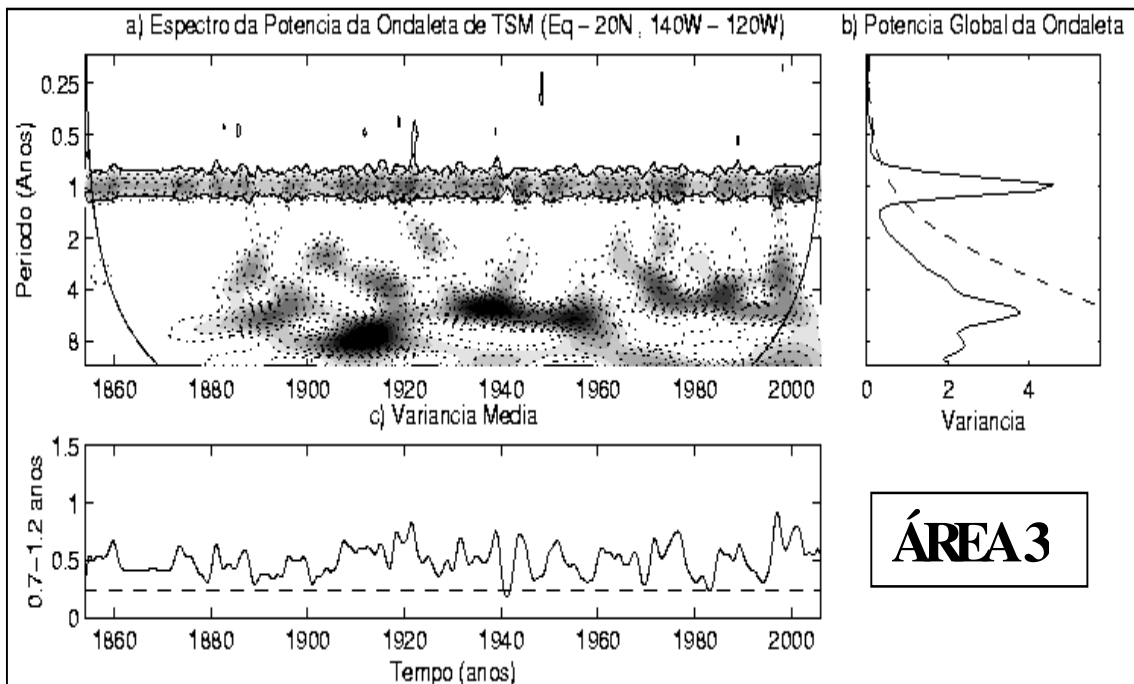


Figura 4.3 - Idem Figura 4.1, para a Área 3 e  $\sigma^2 = 0,4525$ .

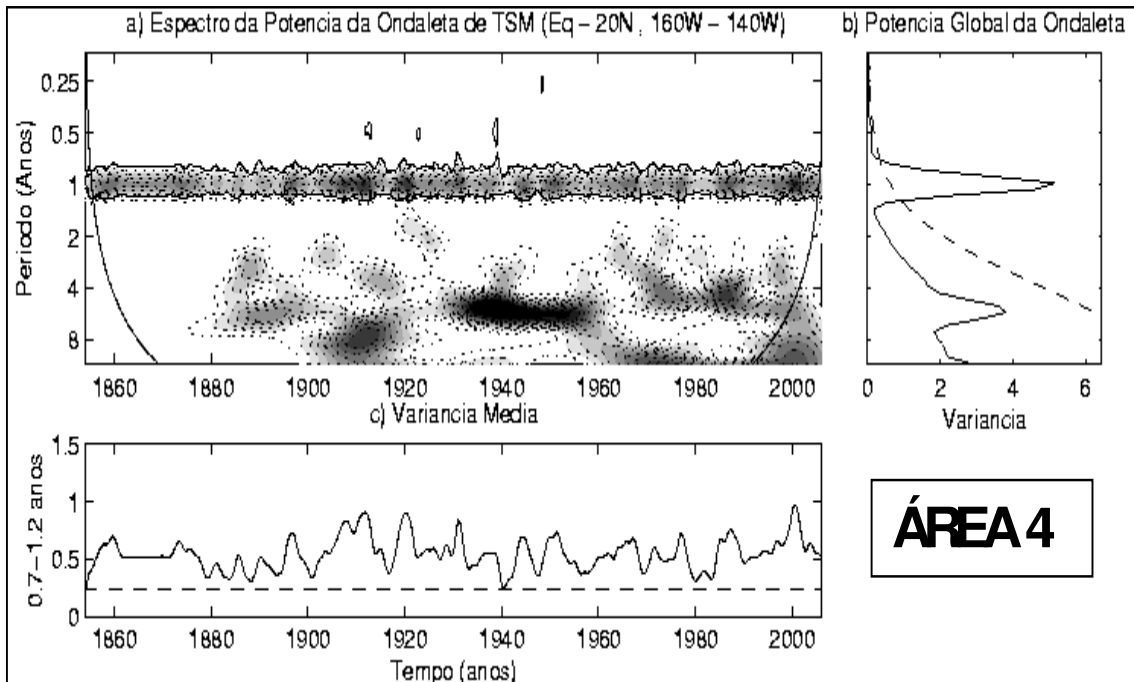


Figura 4.4 - Idem Figura 4.1, para a Área 4 e  $\sigma^2 = 0,4602$ .

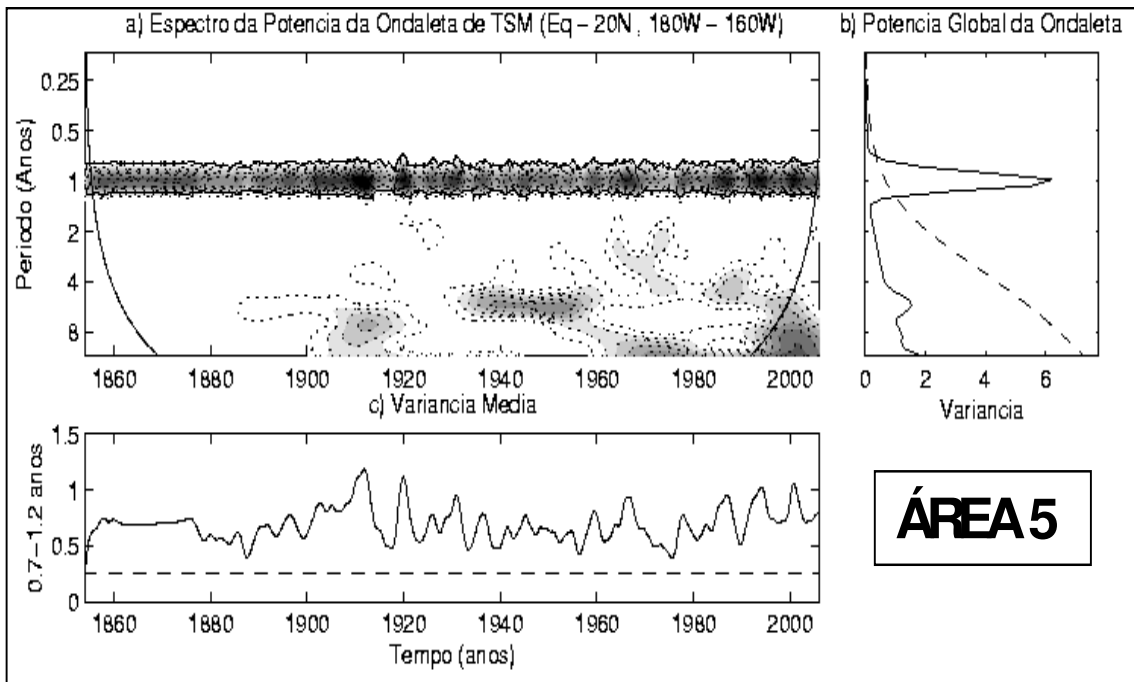


Figura 4.5 - Idem Figura 4.1, para a Área 5 e  $\sigma^2 = 0,4351$ .

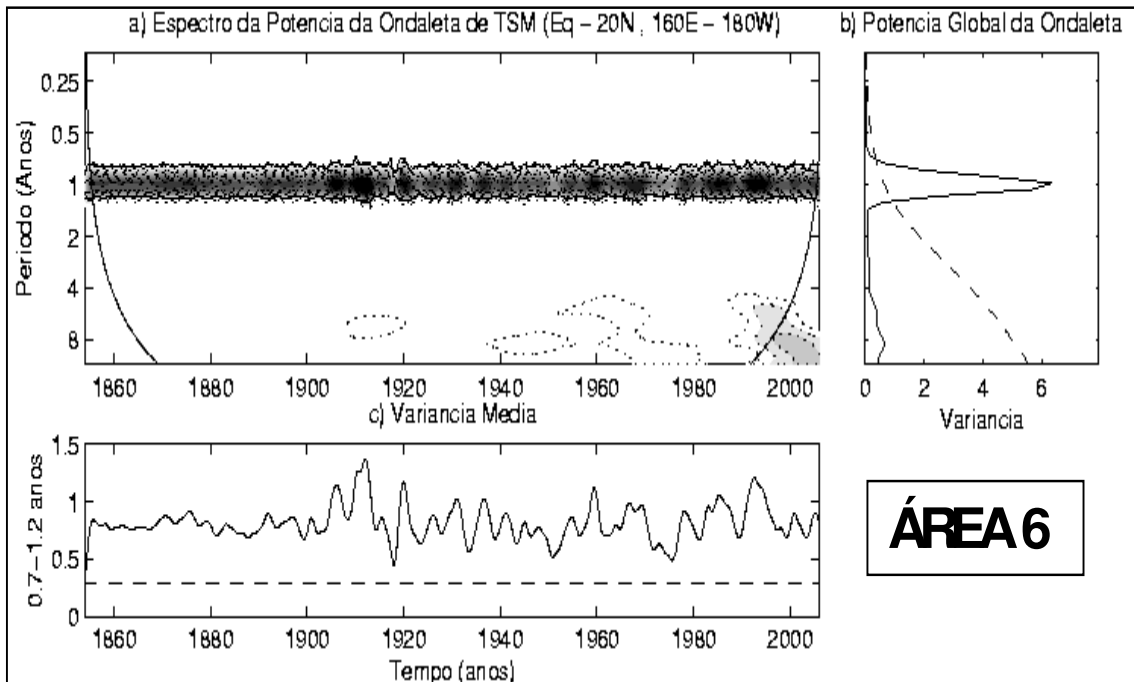


Figura 4.6 - Idem Figura 4.1, para a Área 6 e  $\sigma^2 = 0,3767$ .

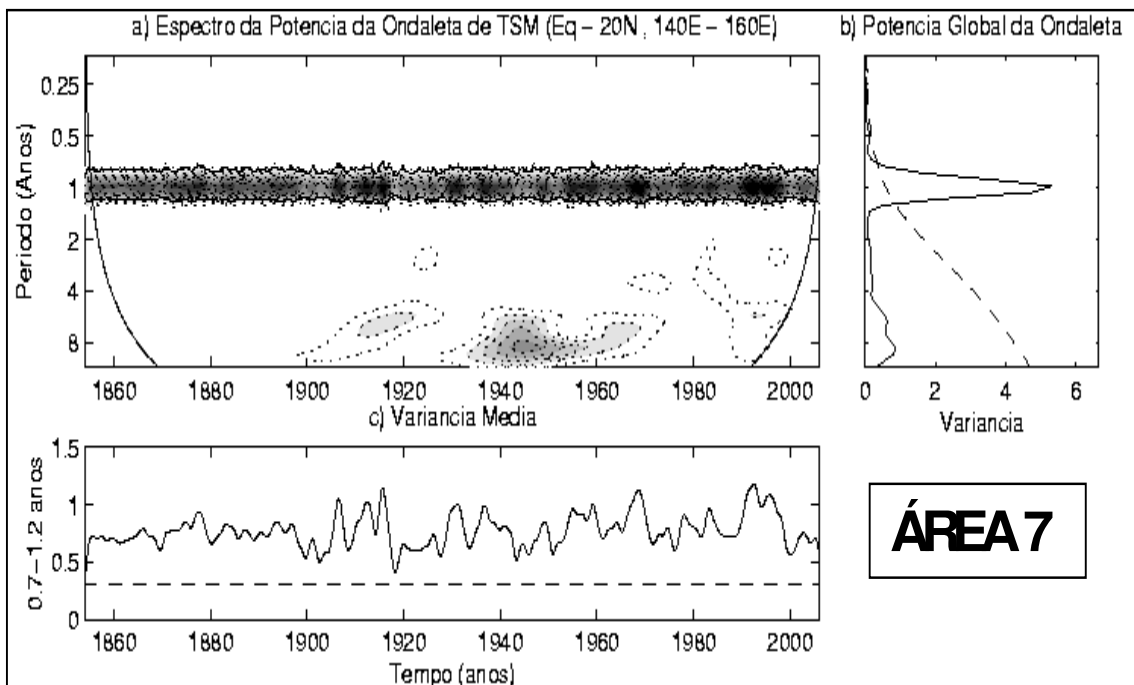


Figura 4.7 - Idem Figura 4.1, para a Área 7 e  $\sigma^2 = 0,3339$ .

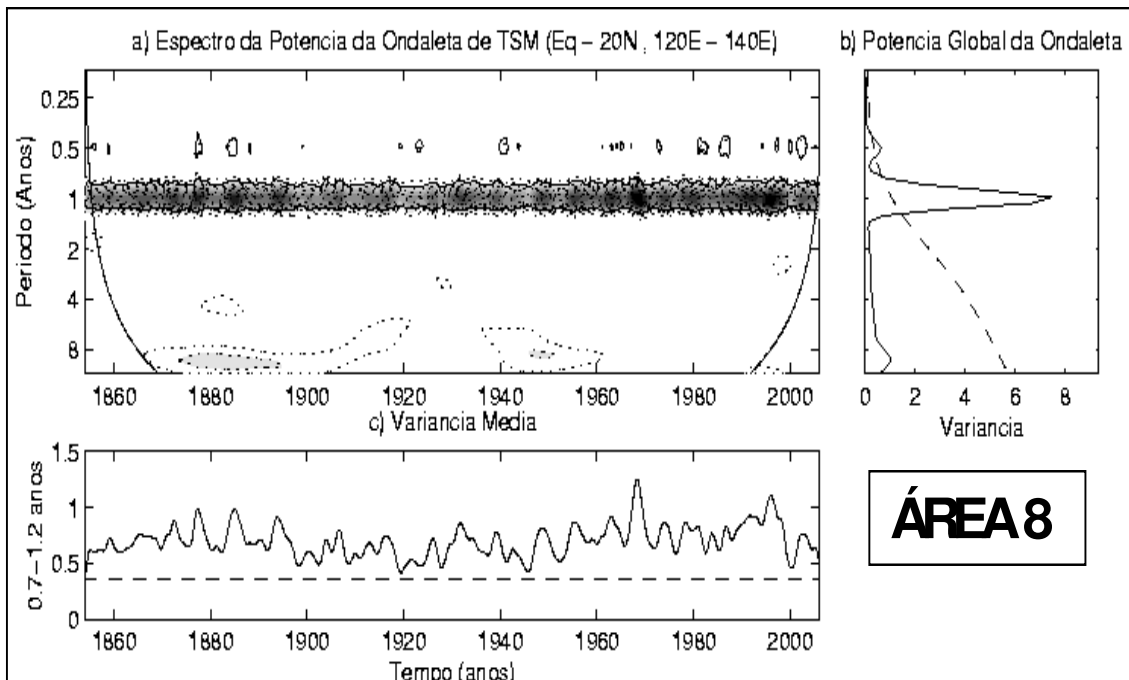


Figura 4.8 - Idem Figura 4.1, para a Área 8 e  $\sigma^2 = 0,5188$ .

Os EPGs das Figuras de 4.9 a 4.16, mostram um pico dominante na escala de aproximadamente 1 ano. Porém, nas Áreas 9 e 10 e de 14 a 16 os valores de variância são maiores do que nas Figuras 4.1 a 4.8. Essa variância é crescente da linha da data para leste com um máximo entre  $100^{\circ}\text{W}$  e  $80^{\circ}\text{W}$  o que concorda com o estudo feito anteriormente por Setoh et al. (1999). Esse pico é resultante de EPO significativo em todo o período de estudo. Observa-se também uma pequena variabilidade semianual no EPG na Figura 4.9 (b). Nota-se a partir da Figura 4.12 até a 4.16, picos secundários (não-significativos) de variabilidade interanual (escala de 5 anos) que vão reduzindo para índices mais a leste.

As MEPOs para a escala de 0,7 – 1,2 anos mostradas no painel (c) das Figuras 4.10 a 4.16 indicam que praticamente não há sinal da variabilidade interanual para o período anterior a 1880. Este fato foi ressaltado por Smith e Reynolds (2004). Nas variações da MEPO da Figura 4.9 é possível observar grande

variabilidade interanual em todo o período de estudo, com picos similares. Para a Figura 4.10 esta variabilidade é notável, porém com um número maior de picos superiores a  $1\sigma$  se destacando, como em 1886, 1917, 1919, 1940 e 1982. Na Figura 4.11 um pico por volta de 1888 se destaca com aproximadamente  $1,3\sigma$  e para o restante do período de estudo os picos superiores a  $1\sigma$  que se destacam ocorrem por volta de 1900, 1917, 1930, 1952, 1981 e 1984. As variações da MEPO para as Figuras 4.12 e 4.13 apresentam menor variabilidade, com dois picos superiores a  $1\sigma$  na Figura 4.13, em 1941 e 1945.

O painel (c) das Figuras de 4.14 a 4.16 apresenta maior variabilidade, com picos superiores a  $1\sigma$ . Destacando-se nas Figuras 4.14 e 4.15 os picos ocorrendo por volta de 1941 e 1945. Na Figura 4.16 destacam-se os picos em 1890, 1950 e 2000.

Através dessas análises foi possível observar que o ciclo anual de TSM no Pacífico possui uma maior variância mais a oeste entre equador e  $20^{\circ}\text{N}$  e  $120^{\circ}\text{E}$  e  $160^{\circ}\text{E}$  (Áreas 7 e 8), enquanto que para a região entre equador e  $20^{\circ}\text{S}$  essa variância é crescente da linha da data para leste com um máximo entre  $100^{\circ}\text{W}$  e  $80^{\circ}\text{W}$ . Com relação à variabilidade interanual, observa-se que esta é maior mais a leste para a faixa entre equador e  $20^{\circ}\text{N}$  e no Pacífico central para a faixa entre equador e  $20^{\circ}\text{S}$ , porém nesta escala não ocorrem picos significativos nas correspondentes EPGs.

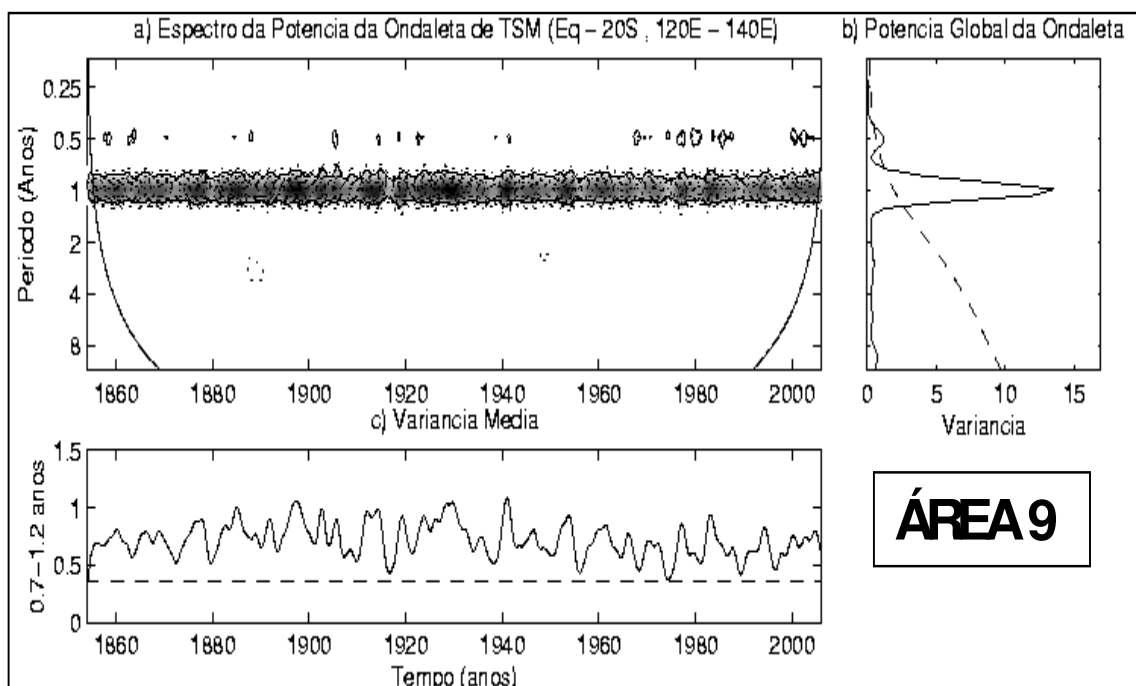


Figura 4.9 - Idem Figura 4.1, para a Área 9 e  $\sigma^2 = 0,9160$ .

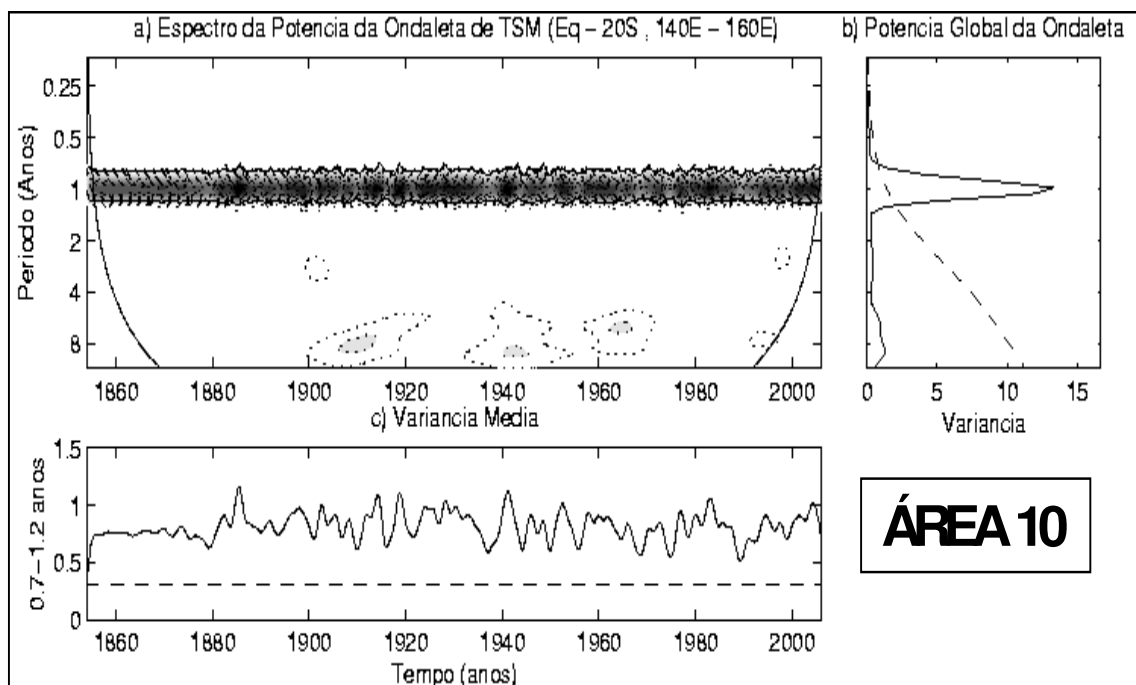


Figura 4.10 - Idem Figura 4.1, para a Área 10 e  $\sigma^2 = 0,7950$ .

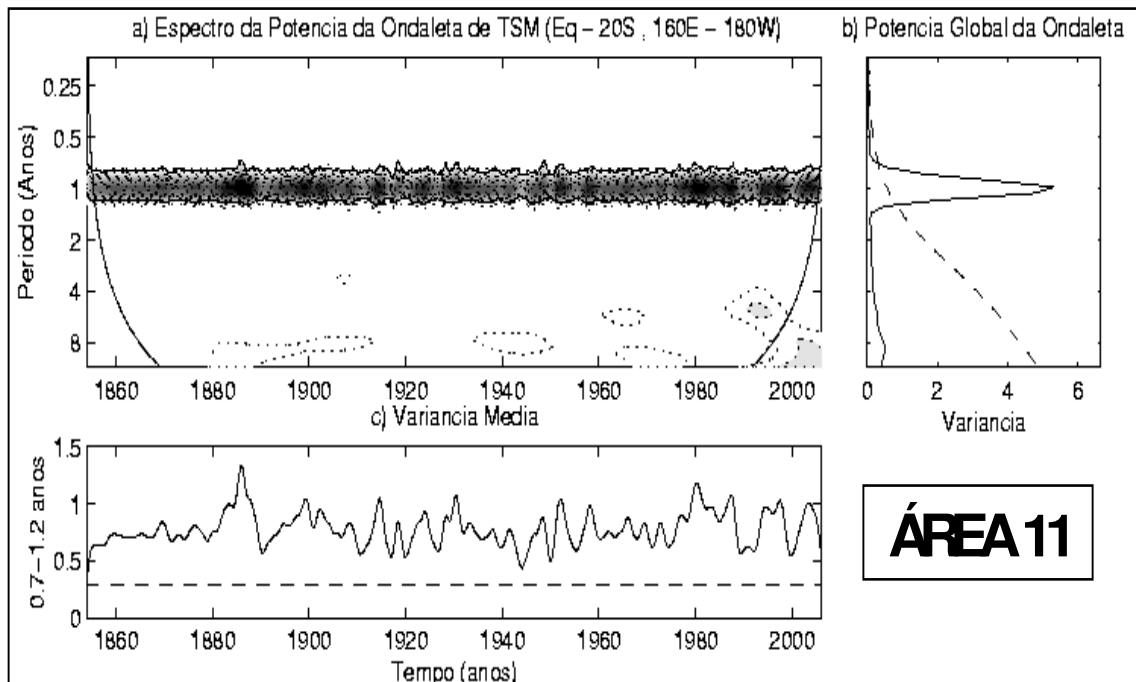


Figura 4.11 - Idem Figura 4.1, para a Área 11 e  $\sigma^2 = 0,3304$ .

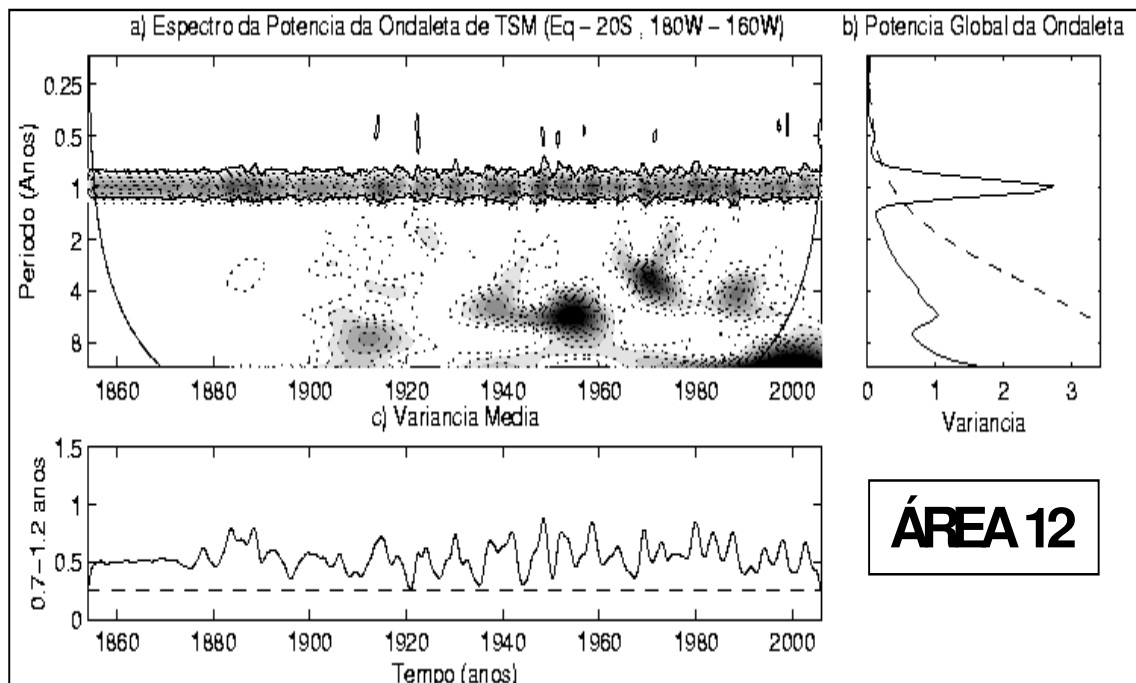


Figura 4.12 - Idem Figura 4.1, para a Área 12 e  $\sigma^2 = 0,2463$ .



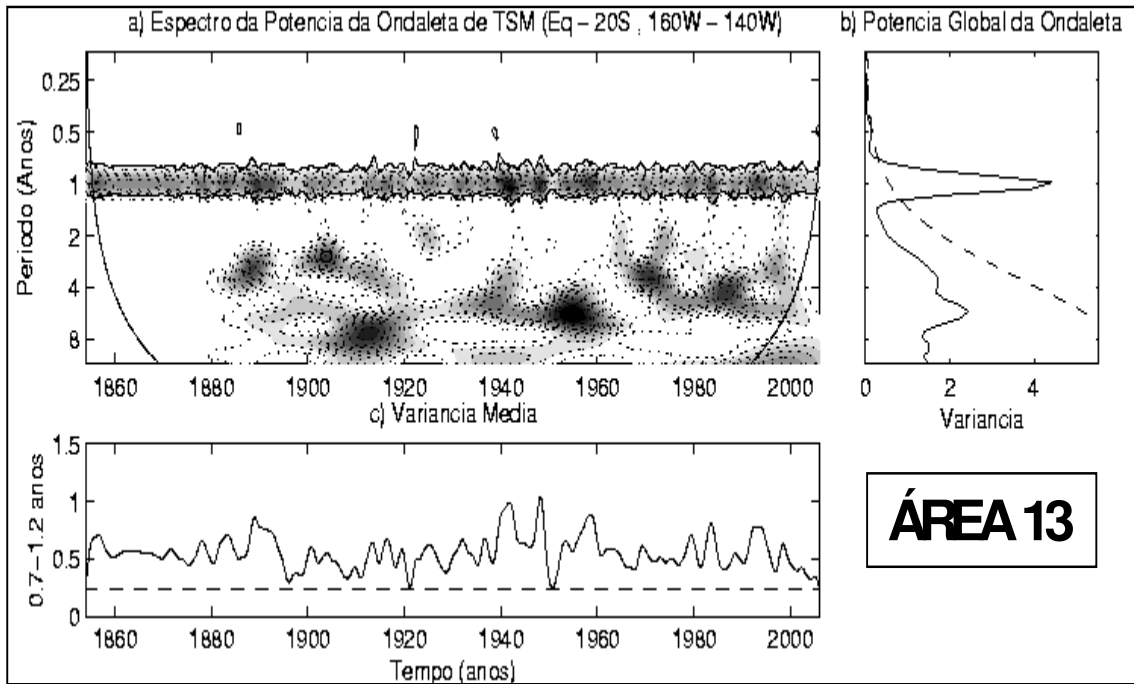


Figura 4.13 - Idem Figura 4.1, para a Área 13 e  $\sigma^2 = 0,917$ .

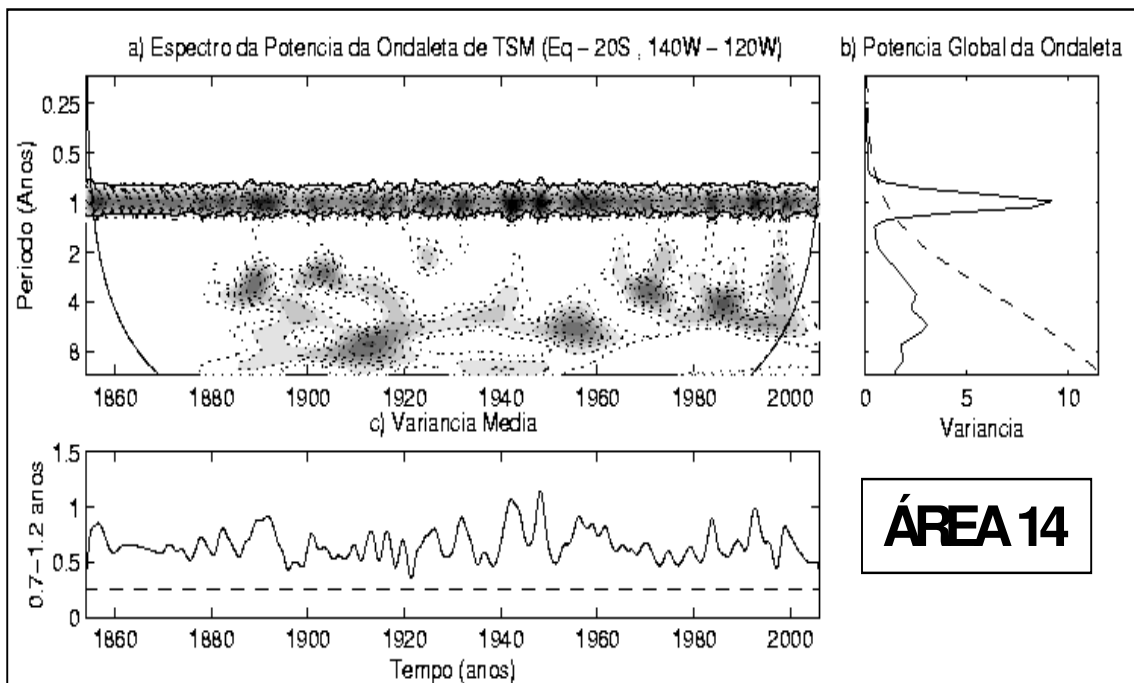


Figura 4.14 - Idem Figura 4.1, para a Área 14 e  $\sigma^2 = 0,6796$ .

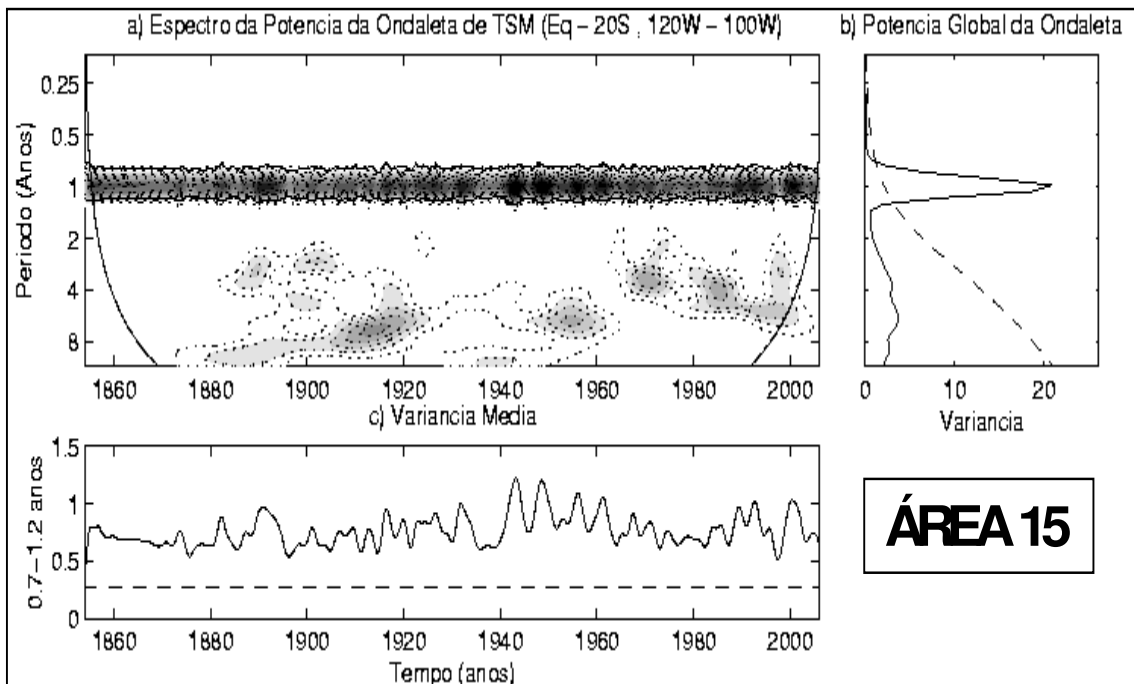


Figura 4.15 - Idem Figura 4.1, para a Área 15 e  $\sigma^2 = 1,3234$ .

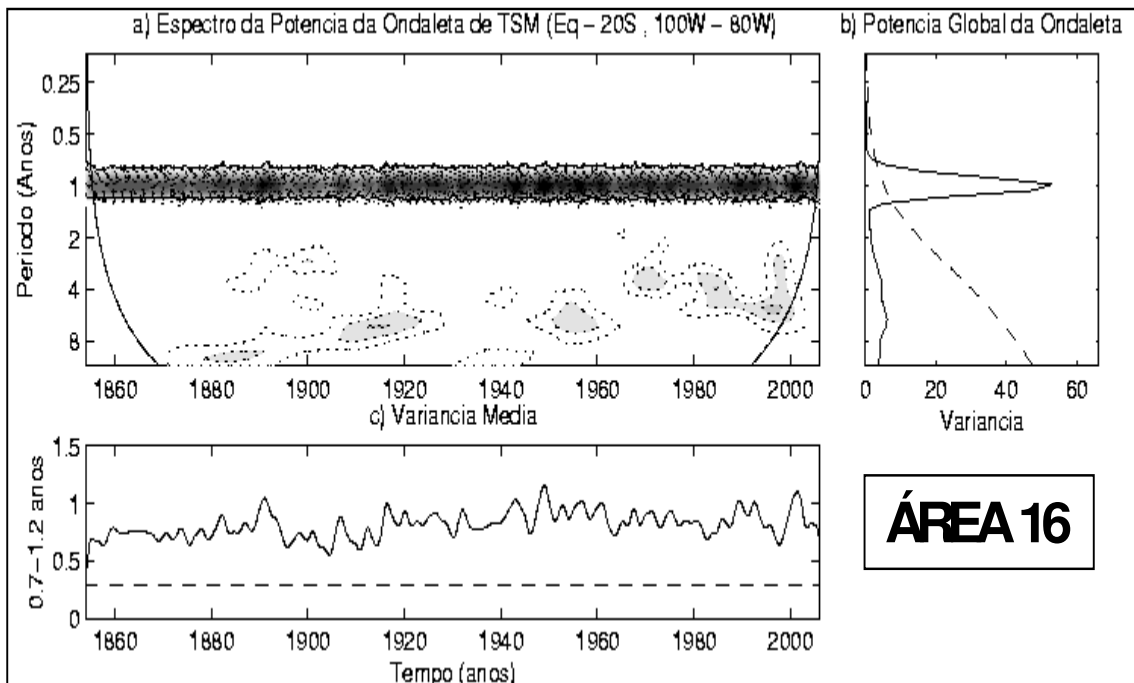


Figura 4.16 - Idem Figura 4.1, para a Área 16 e  $\sigma^2 = 3,1444$ .

## 4.2 Variações temporais do ciclo anual para os 16 índices

A análise das variações temporais do ciclo anual de TSM será feita através de diagramas anos versus meses dos índices filtrados na escala do ciclo anual.

Na Área 1 (Figura 4.17), os máximos valores ocorrem nos meses de maio/junho e os mínimos em novembro/dezembro. Há na Área 1 uma forte variabilidade interanual, indicada por centros de máximos (valores superiores a  $0,9^{\circ}\text{C}$ ) próximos a 1880, 1918, 1942, 1958, 1976, 1993 e 2000. Esses máximos concordam com os mostrados pela análise da MEPO desta região.

Para a Área 2 (Figura 4.17) os máximos ocorrem em junho/julho e os mínimos em dezembro. Na Área 2 a variabilidade interanual mais forte se encontra próxima a 1880, 1941 e 2000, indicada pelos centros de máximos (valores superiores a  $0,9^{\circ}\text{C}$ ).

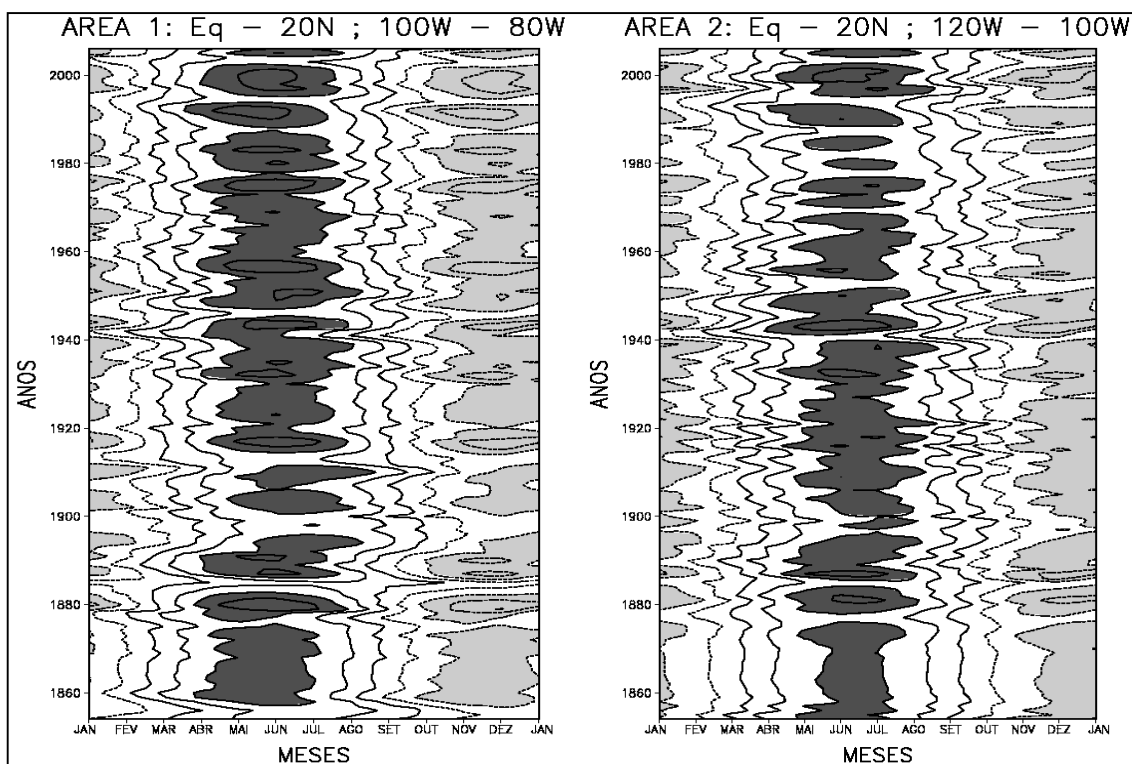


Figura 4.17 - Diagrama anos versus meses do ciclo anual de TSM para as Área 1 e 2. O intervalo de contorno é de  $0,3^{\circ}\text{C}$ . Contornos negativos (positivos) estão tracejados (contínuos), as regiões com sombreado escuro (claro) possuem valores positivos (negativos).

Os ciclos anuais apresentados na Figura 4.18 são para as Áreas 3 e 4. Na Área 3 os máximos ocorrem em julho/agosto enquanto os mínimos ocorrem em janeiro/fevereiro. Observa-se também uma forte variabilidade interanual ocorrendo próxima a 1920, 1939, 1978 e 2000, concordando assim com os picos encontrados na MEPO dessa região. Embora no caso da MEPO estes picos não ultrapassem  $1\sigma$ .

A Área 4 apresenta variabilidade interanual maior do que a observada nas duas primeiras áreas. Essas variabilidades máximas, indicadas pelos centros de máximos (valores acima de  $0,9^{\circ}\text{C}$ ), ocorrem por volta de 1908, 1911, 1920, 1930, 1942, 1950, 1967, 1978, 1988 e 2000. Esses máximos também foram

observados na MEPO dessa área. Embora no caso da MEPO estes picos não ultrapassem  $1\sigma$ .

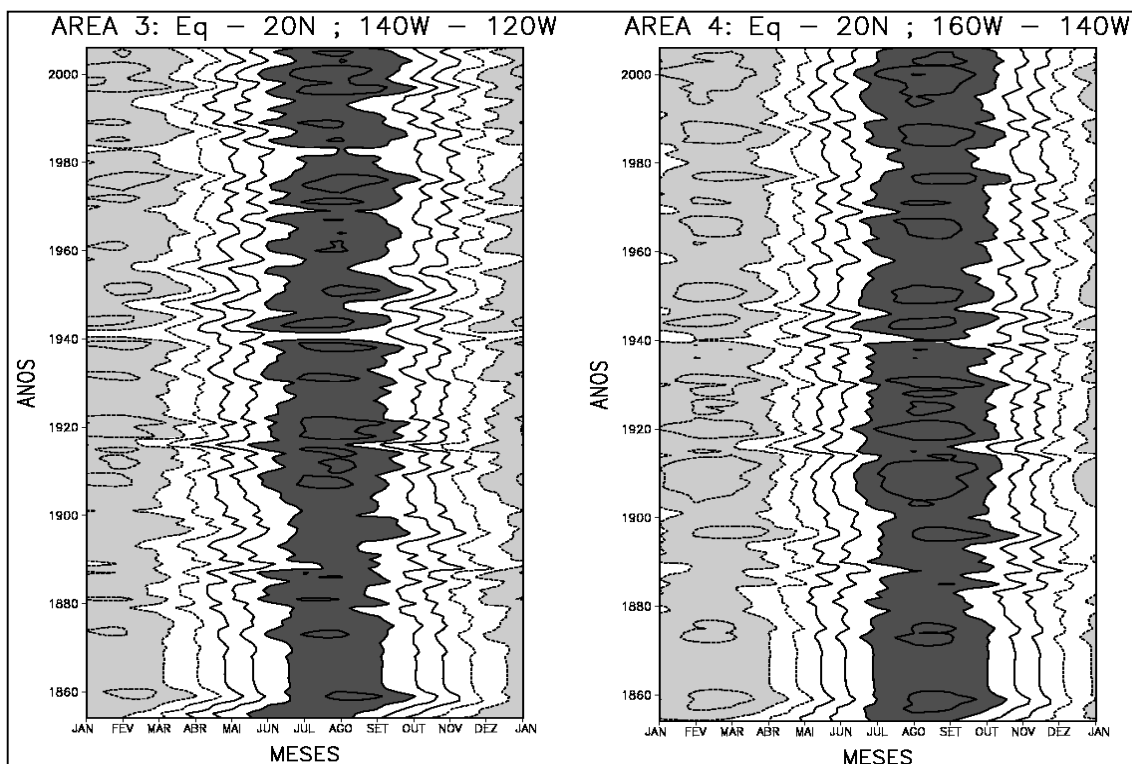


Figura 4.18 - Idem Figura 4.17, para as Áreas 3 e 4.

Os ciclos anuais nas Áreas 5 e 6 (Figura 4.19) também apresentam forte variabilidade interanual, próximo a 1920. Nota-se também que para a Área 5 não há sinal de variabilidade interanual antes de 1880, e para a região da Área 6 praticamente não há sinal desta variabilidade no período anterior a 1900, conforme visto também na análise anterior. Nessas áreas os máximos ocorrem preferencialmente em agosto/setembro e o mínimo em fevereiro/março. Observa-se principalmente na Área 6 que os centros de máximos atingem valores superiores a  $1,2^{\circ}\text{C}$ , portanto para a região entre equador e  $20^{\circ}\text{N}$  o ciclo anual aumenta sua amplitude de leste para oeste. Esses centros diminuem nas Áreas 7 e 8.

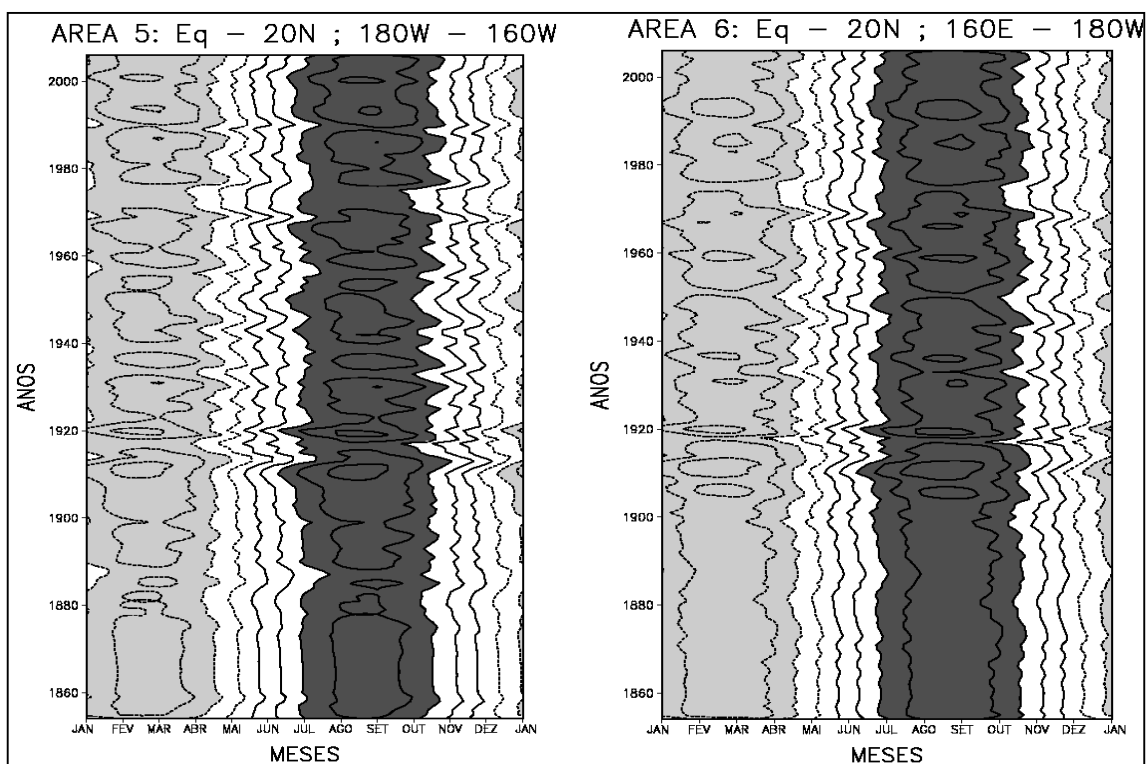


Figura 4.19 - Idem Figura 4.17, para as Áreas 5 e 6.

A Figura 4.20 ilustra os ciclos anuais para as Áreas 7 e 8, que estão bem definidos, e com variabilidade interanual superimposta. Os máximos na Área 7 estão concentrados em agosto/setembro enquanto que os mínimos ocorrem em fevereiro/março. Nessa Área também se observa centros de máximos com valores superiores a  $1,2^{\circ}\text{C}$ , porém com menor ocorrência do que visto na Área 6. Esses centros ocorrem em 1908, 1913, 1916, 1918, 1958, 1969, 1992 e 1994. Esses máximos concordam com os observados na MEPO nessa área.

Na Área 8, assim como na Área 7, observa-se que o sinal da variabilidade interanual é fraco para o período anterior a 1900. Os mínimos nessa região ocorrem em janeiro/fevereiro e os máximos em julho/agosto. Nessa área nota-se a diminuição dos centros de máximos com valores superiores a  $1,2^{\circ}\text{C}$ , tendo dois centros ocorrendo próximos a 1969 e 1996.

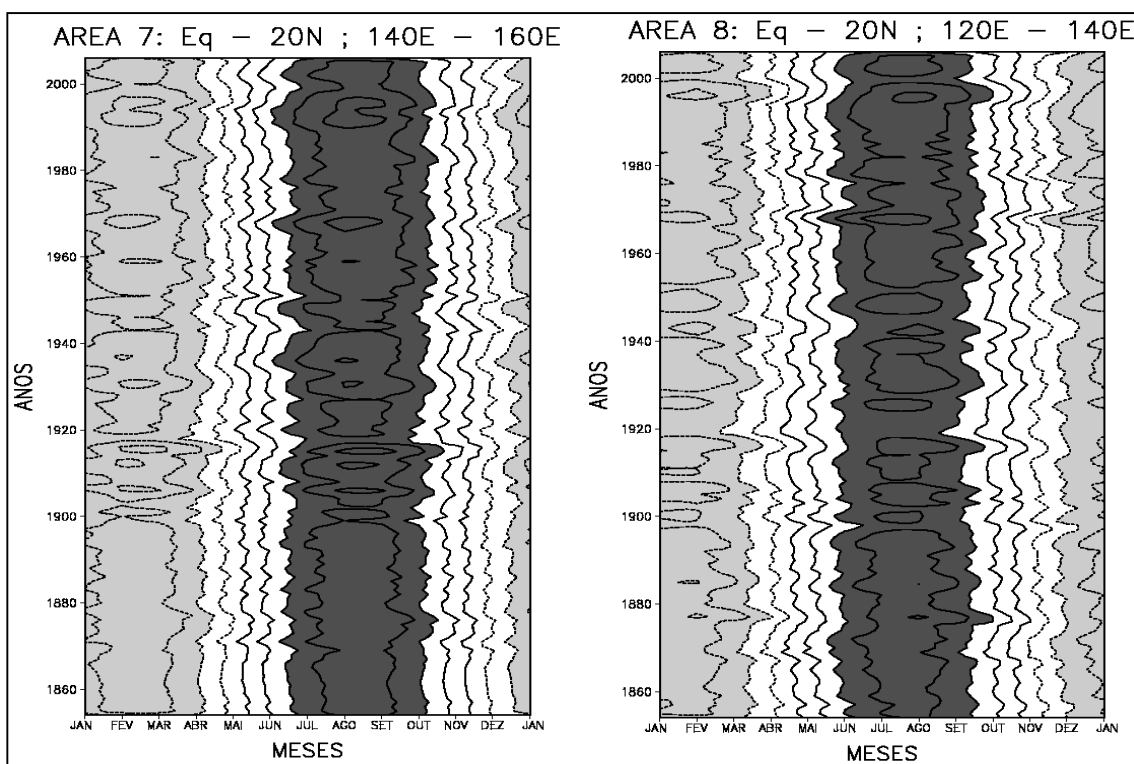


Figura 4.20 - Idem Figura 4.17, para as Áreas 7 e 8.

Portanto, a região entre equador e 20°N e entre 120°E e 80°W, tem seus máximos e mínimos ocorrendo de julho a agosto e de dezembro a março respectivamente, conforme mostrado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Meses de ocorrência de máximos e mínimos do ciclo anual de TSM no Hemisfério Norte.

Região: Eq - 20N ; 120E - 80W		
	MÍNIMO	MÁXIMO
ÁREA 1	Dez	Jun
ÁREA 2	Dez	Jun
ÁREA 3	Fev	Ago
ÁREA 4	Fev	Ago
ÁREA 5	Mar	Set
ÁREA 6	Mar	Set
ÁREA 7	Fev	Ago
ÁREA 8	Fev	Ago

As Figuras 4.21 a 4.24 ilustram a variação do ciclo anual de TSM para os índices da região entre equador e 20°S, 120°E e 80°W.

Para as Área 9 e 10 (Figura 4.21) notam-se os máximos do ciclo anual de TSM em janeiro/fevereiro e os mínimos em julho/agosto. Na Área 9 é possível perceber uma maior variabilidade interanual em torno de 1898, 1918, 1929 e 1940, identificada através dos centros de máximos e mínimos com valores absolutos superiores a 1,2°C.

Na Área 10 observa-se ausência do sinal de variabilidade interanual para o período anterior a 1900. Há nessa área uma maior ocorrência dos centros de máximos e mínimos com valores superiores a 1,2°C do que na Área 9, centros esses ocorrendo próximos a 1886, 1917, 1920, 1929, 1940, 1952, 1982 e 2002 concordando com os picos encontrados na análise da MEPO dessa área.



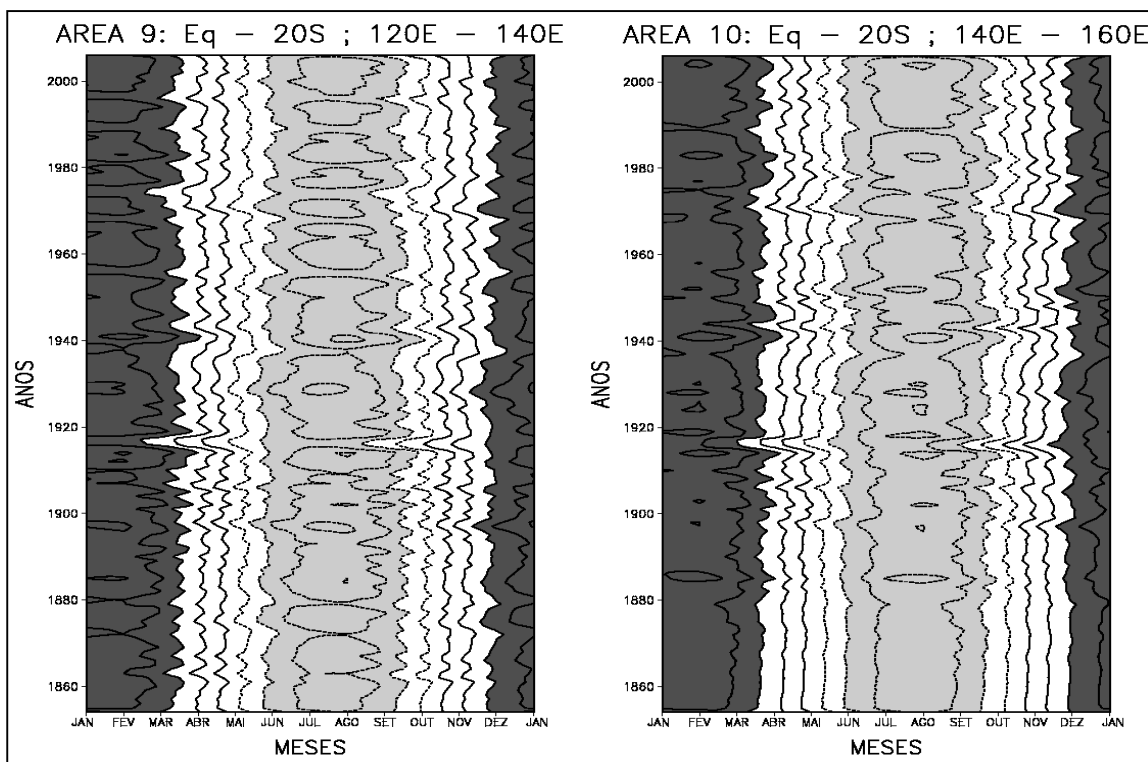


Figura 4.21 - Idem Figura 4.17, para as Áreas 9 e 10.

Na Área 11 (Figura 4.22) pode-se perceber uma maior variabilidade interanual, identificada através de centros de máximos e mínimos com valores superiores a  $1,2^{\circ}\text{C}$ , próximos aos períodos de 1885, 1898, 1916, 1929, 1952, 1958, 1980, 1988, 1996, 1998 e 2002. Esses máximos concordam com os picos obtidos na análise da MEPO dessa região. Os máximos na Área 11 ocorrem preferencialmente em fevereiro e os mínimos em agosto. Observa-se ainda que não há sinal da variabilidade interanual antes de 1880.

A Área 12 apresenta menor variabilidade interanual, com centros de menor intensidade (valores superiores a  $0,9^{\circ}\text{C}$ ) do que a Área 11. Os máximos ocorrem em fevereiro/março e os mínimos em agosto/setembro. Nessa Área é possível observar que o ciclo anual está bem definido, uma vez que para cada centro de máximo há um centro de mínimo correspondente de magnitudes equivalentes, com exceção do período anterior a 1880 onde não há sinal de variabilidade interanual.

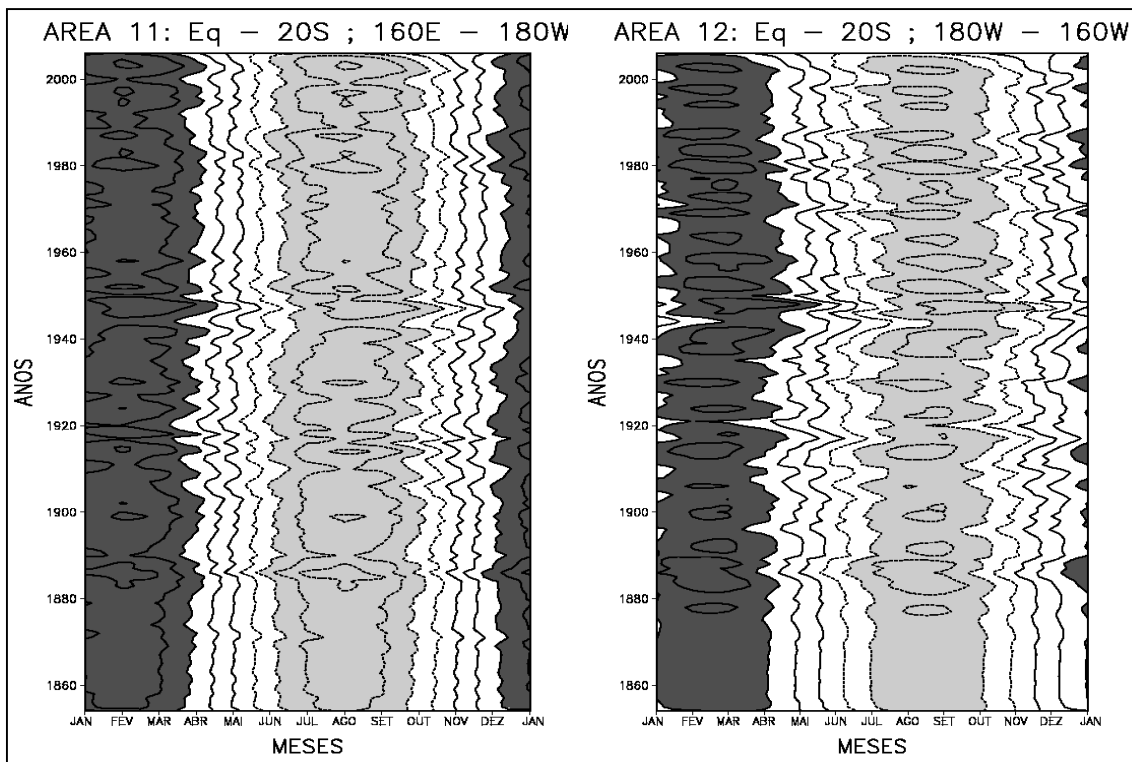


Figura 4.22 - Idem Figura 4.17, para as Áreas 11 e 12.

A Figura 4.23 mostra forte variabilidade interanual para as Áreas 13 e 14, em concordância com a análise da ondaleta feita na seção 4.1 deste capítulo. Essa variabilidade ocorre por volta dos anos de 1885, 1918, 1945, 1950, 1970, 1982 entre outros na Área 13, o que pode estar relacionada com eventos de El Niño. Os máximos e mínimos na Área 13 ocorrem, respectivamente, em março e setembro/outubro. Em concordância com as outras áreas, o ciclo anual apresenta pequeno sinal de variabilidade interanual antes de 1880.

Na Área 14 a variabilidade interanual é ainda maior do que na Área 13, conforme visto na análise de ondaleta. Nessa área os máximos ocorrem em março/abril e os mínimos em setembro/outubro. Assim, como visto na Área 12, o ciclo anual está bem definido, com centros de máximos e mínimos correspondentes com magnitudes equivalentes. Nota-se também nessa área o aparecimento de centros de máximos com valores superiores a 1,2°C em torno

de 1942 e 1944, concordando com os picos de máximos observados na MEPO dessa área.

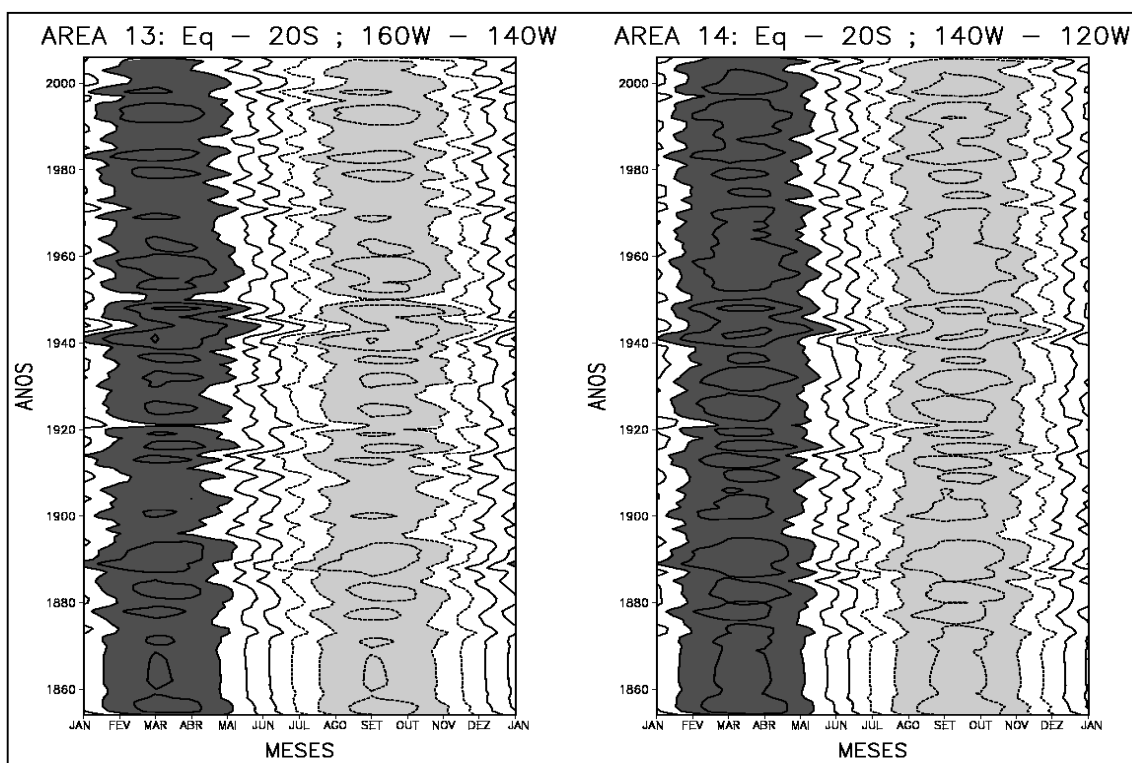


Figura 4.23 - Idem Figura 4.17, para as Áreas 13 e 14.

Na Figura 4.24, que se refere as áreas 15 e 16, a variabilidade interanual é bem mais forte do que a notada nas demais áreas. Nas Áreas 15 e 16 é possível notar que o ciclo anual está muito bem definido em todo o período de estudo, e mais intenso também, indicado por centros de máximos com valores superiores a  $1,2^{\circ}\text{C}$  resultado também encontrado por Setoh et al. (1999) para a região  $100^{\circ}\text{W}$ , com isso observa-se que a amplitude do ciclo anual cresce de oeste para leste para a região entre equador e  $20^{\circ}\text{S}$ . Os máximos na Área 15 ocorrem em março/abril enquanto o mínimo ocorre em setembro/outubro, o mesmo ocorrendo para a área 16.

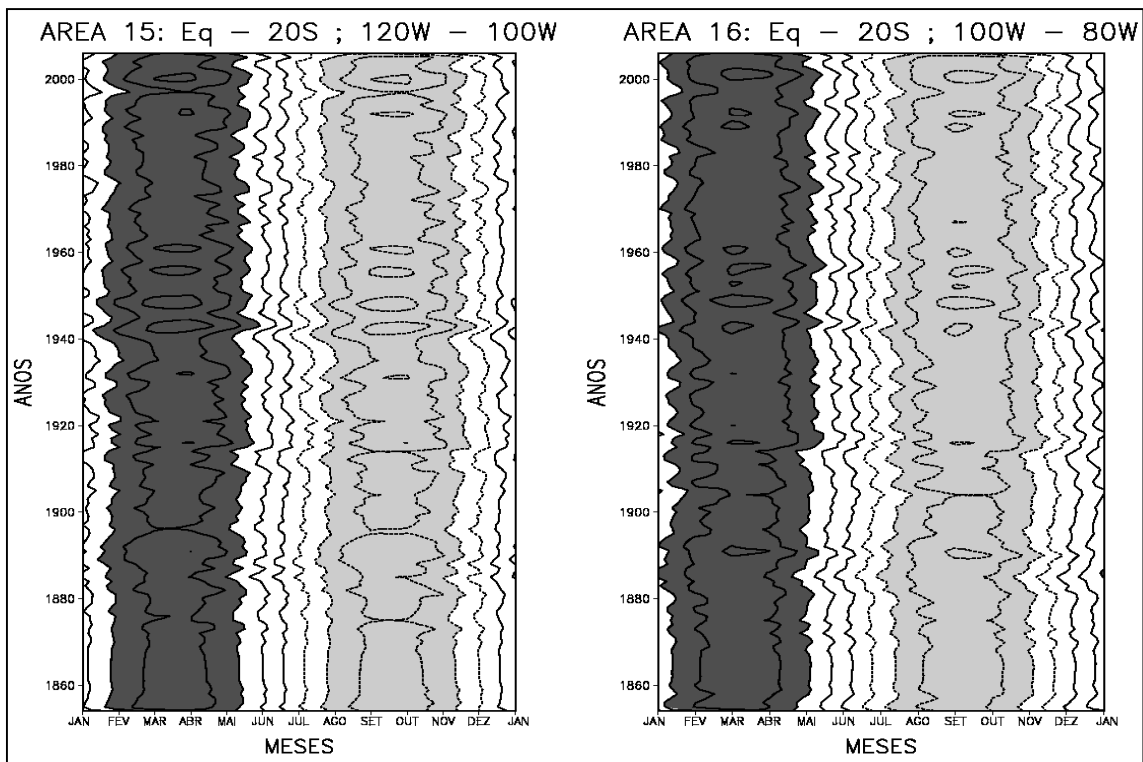


Figura 4.24 - Idem Figura 4.17, para as Áreas 15 e 16.

Portanto, a região entre equador e 20°S e entre 120°E e 80°W, atinge seus máximos e mínimos de fevereiro a abril e de agosto a outubro respectivamente, conforme mostrado na Tabela 4.2. Schneider (1996) obteve esses mesmos períodos de máximo e mínimo do ciclo anual para o Pacífico leste.

Tabela 4.2 - Meses de ocorrência de máximos e mínimos do ciclo anual de TSM no Hemisfério Sul.

Região: Eq - 20S ; 120E - 80W		
	MÍNIMO	MÁXIMO
ÁREA 9	Ago	Fev
ÁREA 10	Ago	Fev
ÁREA 11	Ago	Fev
ÁREA 12	Set	Mar
ÁREA 13	Set	Mar
ÁREA 14	Set	Mar
ÁREA 15	Out	Abr
ÁREA 16	Set	Mar

### 4.3 Análises de ondaletas dos índices do Niño-3, Niño-1.2, Niño-4 e Niño-3.4

As Figuras 4.25 – 4.28 mostram a análise de ondaletas para os índices das regiões do Niño-3, Niño-1.2, Niño-4 e Niño-3.4 respectivamente. Nos painéis (a), são apresentados o EPO. Valores significativos de EPO correspondem a variâncias significativas da TSM ao nível de confiança de 95%, para uma dada escala e tempo. Os painéis (b) apresentam o EPG. Os gráficos em (c) representam a MEPO para a escala de 0,7 a 1,2 anos.

Os EPGs dos índices do Niño-3 e Niño-1.2 (Figura 4.25(b) e 4.26 (b)), respectivamente, mostram um pico dominante na escala anual (1 ano) e picos secundários ( não-significativos) na escala interanual (3,5 e 5,5 anos). O pico na escala anual resulta de forte variabilidade de 0,7-1,2 anos do índice Niño-3 e Niño-1.2 mostrado por EPO significativos ocorrendo nesta escala para o período de 1854-2006. É possível observar que o índice do Niño-1.2 possui maior EPGs que o índice do Niño-3, ou seja, uma maior variância que implica em um ciclo anual de TSM mais intenso na região do Niño-1.2. Os picos não-

significativos na escala interanual do índice do Niño-3 (Figura 4.25), resultam de forte variabilidade mostrados por EPO significativos e acentuados ocorrendo nos períodos de 1880-1920 e 1960-1996. Esta variabilidade é menos acentuada para o índice do Niño-1.2.

A MEPO do índice do Niño-3 (Figura 4.25) mostra grande variabilidade interanual para o período posterior a 1880, sendo que antes de 1880 praticamente não há sinal de variabilidade. Para esse índice, destacam-se picos com valores superiores a  $1\sigma$  em 1944, 1948 e 1956. Há outros picos que também se destacam em torno de 1891, 1915, 1933, 1992 e 2000.

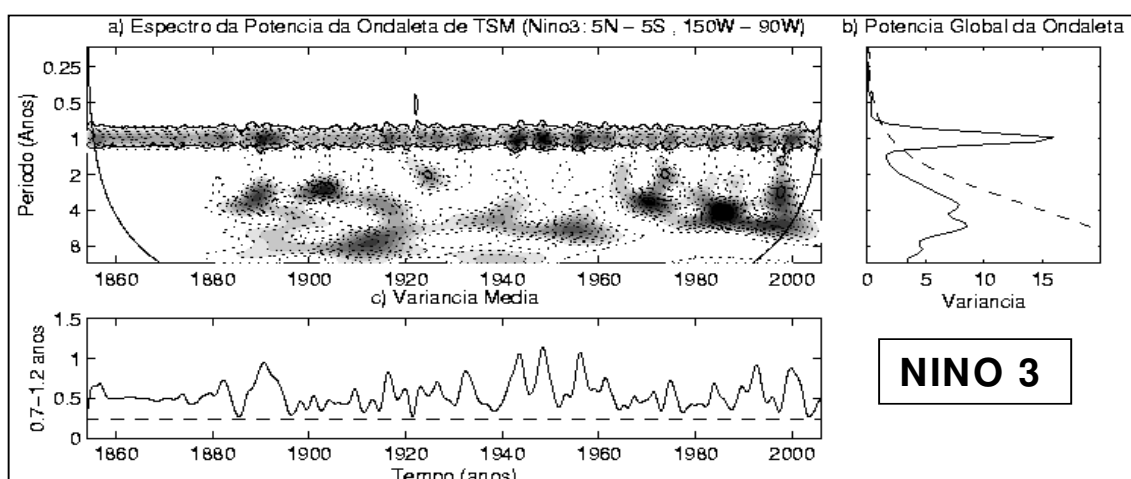


Figura 4.25 - Idem Figura 4.1, para o índice do Niño 3 e  $\sigma^2 = 1,4333$ .

A MEPO do índice do Niño-1.2 (Figura 4.26) mostra uma variabilidade interanual maior do que na Figura 4.25 com picos de amplitudes similares. Observam-se picos em torno de 1891, 1949, 1957, 1975, 1992 e 2002 que se destacam com valores superiores a  $1\sigma$ .

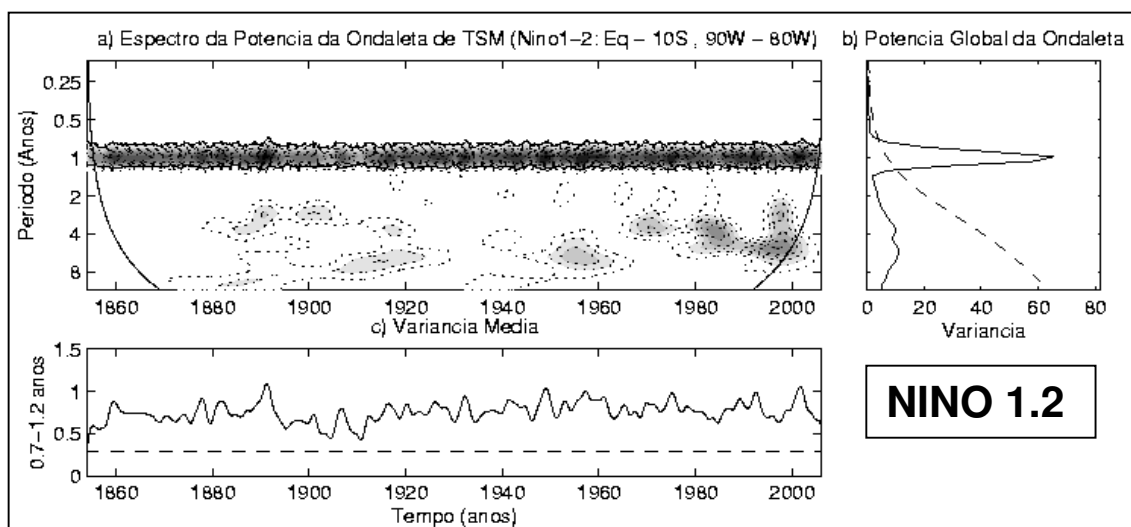


Figura 4.26 - Idem Figura 4.1, para o índice do Niño 1.2 e  $\sigma^2 = 4,2110$ .

A EPO do índice do Niño-4 (Figura 4.27) apresenta uma variabilidade anual relativamente fraca, forte variabilidade semianual a partir de 1920 e uma forte variabilidade interanual. No EPG (Figura 4.27 (b)) observa-se um pico secundário, porém significativo, na escala anual e um pico dominante, porém não-significativo, na escala de 2-7 anos devido à forte variabilidade interanual em particular a partir de 1900 como mostrado no EPO.

A MEPO do índice do Niño-4 (Figura 4.27) apresenta um pico com valor superior a  $0,5\sigma$  em 2000, picos com valores próximos a  $0,5\sigma$  em torno de 1910, 1917, 1943 e 1950, e demais picos com valores próximos a  $0,25\sigma$ . Com isso nota-se que o ciclo anual não está bem definido na região do Niño-4, prevalecendo a variabilidade interanual.

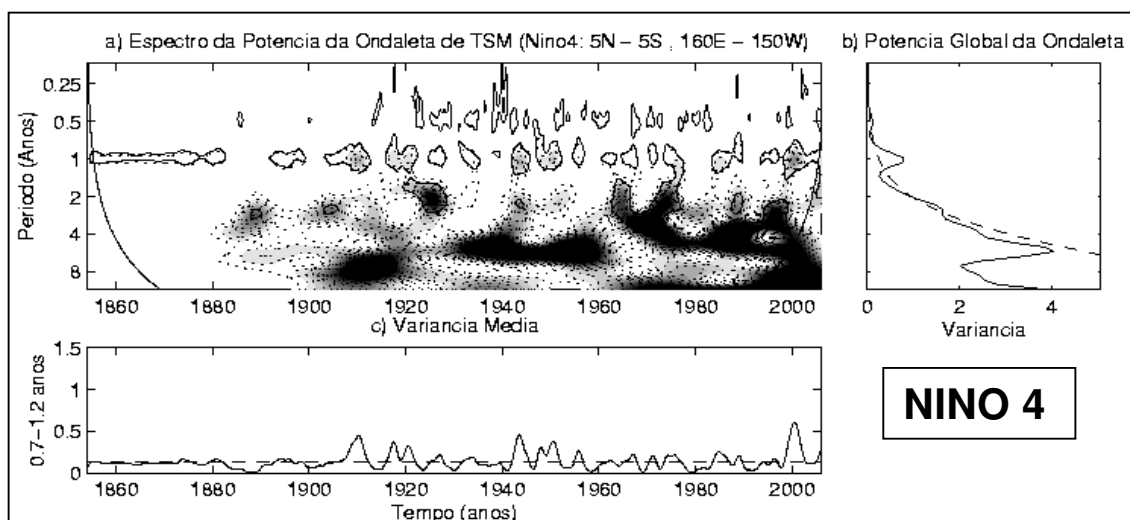


Figura 4.27 - Idem Figura 4.1, para o índice do Niño 4 e  $\sigma^2 = 0,2979$ .

O EPO na Figura 4.28, referente ao Índice Niño-3.4, apresenta uma variabilidade semianual, um ciclo anual definido em todo o período de estudo, mas mais fraca do que nos casos dos índices do Niño-1.2 e Niño-3. O índice do Niño-3.4 apresenta forte variabilidade na escala de 2-7 anos, que é notada a partir de 1880. O EPG mostra um pico significativo na escala anual, um pico secundário significativo na de 3,5 anos e um pico dominante não-significativo na escala de 5,5 anos.

Na MEPO da Figura 4.28 observa-se uma variabilidade interanual com picos com valores acima de  $0,5\sigma$  como em 1943, 1948 e 1956 e com os demais picos na faixa de  $0,25\sigma$  a  $0,5\sigma$ .



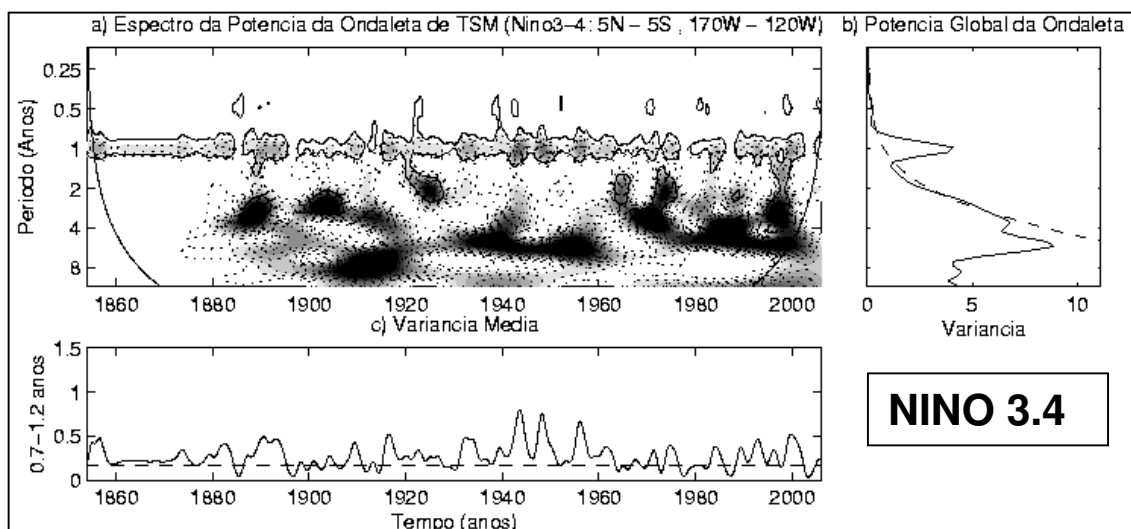


Figura 4.28 - Idem Figura 4.1, para o índice do Niño 3.4 e  $\sigma^2 = 0,7827$ .

#### 4.4 Variações temporais do ciclo anual dos índices Niño-3, Niño-1.2, Niño-4, Niño-3.4

Para o índice do Niño 3 (Figura 4.29), os máximos valores ocorrem no mês de abril e os mínimos em outubro. O índice do Niño 1.2 (Figura 4.29) tem seus valores máximos e mínimos em março e setembro, respectivamente. O índice do Niño 3 possui forte variabilidade interanual porém, menos intensa do que a do índice do Niño 1.2. Essa forte variabilidade interanual pode estar relacionada ao fato desse índice compreender uma grande região do Pacífico. A maior intensidade do ciclo anual do índice do Niño 1.2, máximos de  $1,2^{\circ}\text{C}$ , em relação ao índice do Niño-3 concorda com os resultados de Setoh et al. (1999) que encontram o máximo do ciclo anual ocorrendo em uma faixa próxima ao do índice do Niño 1.2, em  $100^{\circ}\text{W}$ . Os máximos para o índice do Niño 1.2 ocorrem por volta de 1891, 1949, 1957, 1992 e 2000, concordando com os picos observados na MEPO dessa região. Para a região do Niño 3 observa-se centros de máximos com valores superiores a  $1,2^{\circ}\text{C}$  em torno de 1944, 1948 e 1956 que estão em concordância com os picos de máximos da MEPO dessa região.

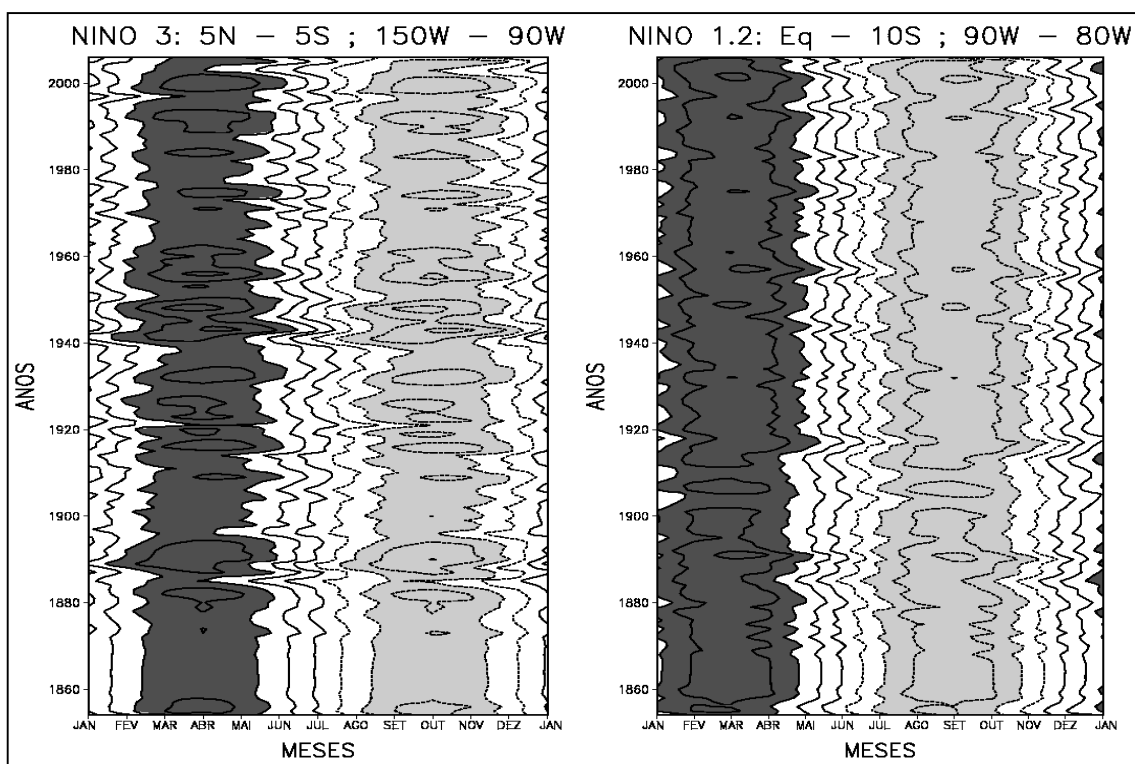


Figura 4.29 - Idem Figura 4.17, para índices do Niño 3 e Niño 1.2.

Para o índice do Niño 4, nota-se que os centros possuem valores menores e com fraca variabilidade interanual conforme visto no EPG. Os máximos valores possuem uma variação muito grande nessa região em concordância com a Figura 4.27, sendo que o mês com maior freqüência de valores máximos é o de julho, enquanto que os valores mínimos ocorrem em janeiro. O centro de máximo em 2000 que se destaca nessa região possui valor superior a  $0,9^{\circ}\text{C}$ , concordando com a análise da MEPO dessa região.

O índice do Niño 3.4 apresenta uma forte variabilidade interanual com três centros de máximos com valores superiores a  $0,9^{\circ}\text{C}$  ocorrendo em torno de 1945, 1950 e 1957, que concordam com os picos obtidos na análise da MEPO deste índice (Figura 4.28). Estes picos coincidem com a ocorrência de fortes eventos de extremos de ENOS.

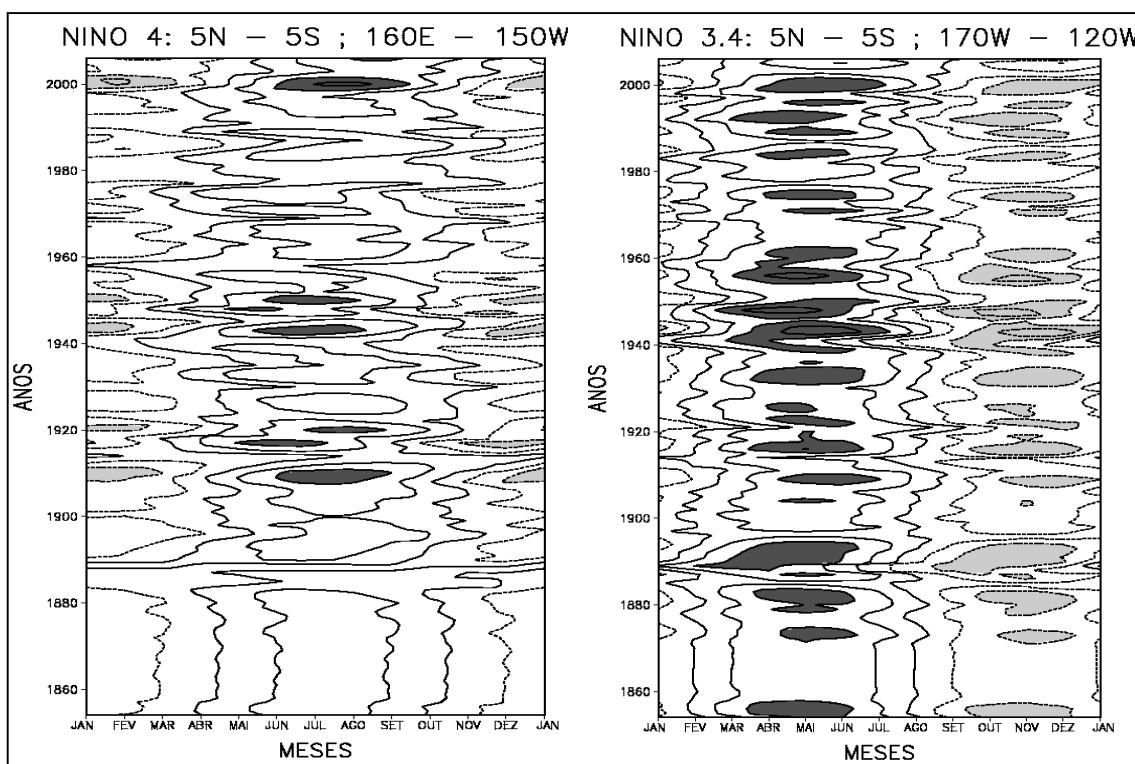


Figura 4.30 - Idem Figura 4.17, para índices do Niño 4 e Niño 3.4.

#### 4.5 Variações espaciais do ciclo anual de TSM.

Neste caso são plotados os valores médios do ciclo anual de TSM para um mês fixo, médio entre equador e 20°N em um diagrama Hovomöller.

As variações espaciais do valor mensal do ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para os meses de janeiro e julho estão representadas na Figura 4.31. Em janeiro, inverno HN, pode-se observar que a região mais a oeste, entre 120°E e 150°E, possui os valores mais negativos. Esses centros de mínimos se expandem para leste alcançando a longitude de 150°E a partir de 1960. Esses centros de mínimos valores ocorrem mais ou menos de 3 a 5 anos, caracterizando a variabilidade interanual nessa região. A região central do Pacífico, entre 170°E e 140°W, apresenta valores menos negativos que também tem variabilidade interanual. Na região leste do Pacífico, entre 100°W

e 80°W, nota-se uma estrutura ruidosa, provavelmente devido à interpolação dos dados próximos ao continente.

Ao se comparar os dois meses, observa-se que há uma anti-simetria, ou seja, para cada centro negativo em janeiro existe um centro positivo correspondente em julho de magnitude equivalente.

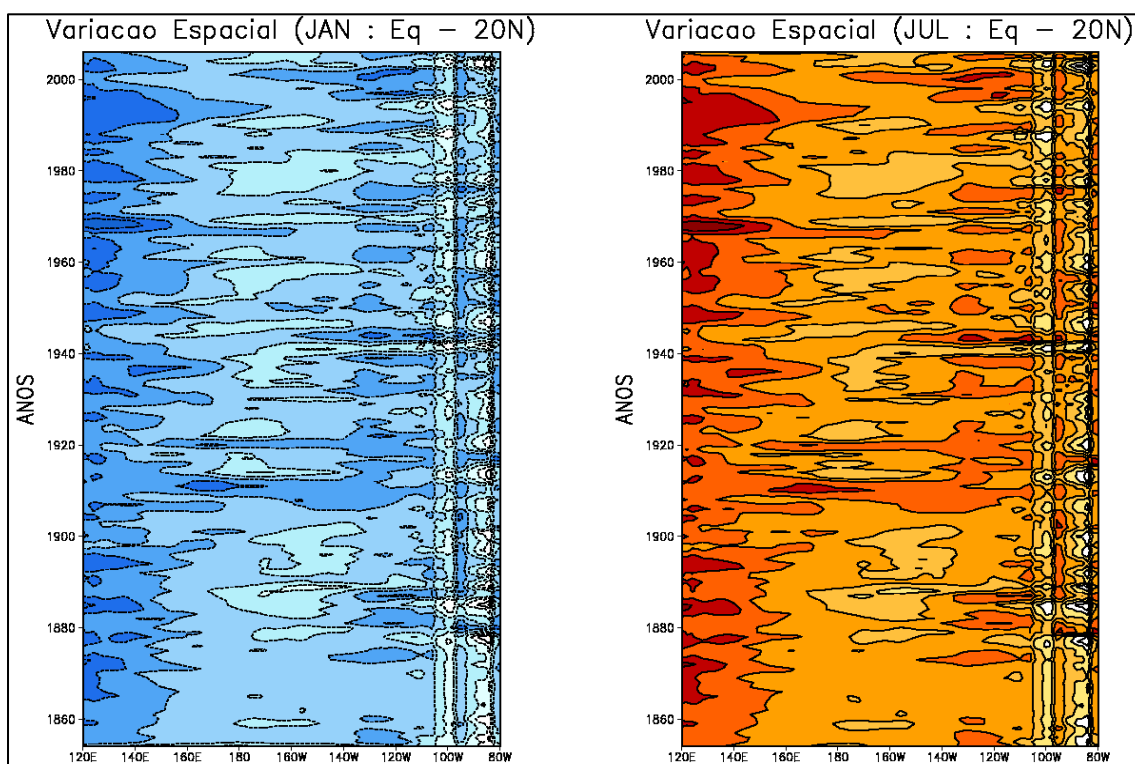


Figura 4.31 - Diagrama Hovmöller para o valor mensal do ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para os meses de janeiro e julho. Regiões com degradê do azul claro para o azul escuro possuem intervalo de -0,2 a -1,2. Regiões em branco compreendem o intervalo entre -0,2 e 0,2. Regiões com degradê do amarelo para o vermelho possuem intervalo de 0,2 a 1,2.

A Figura 4.32 apresenta as variações espaciais do valor mensal do ciclo anual abril e outubro, médio entre equador e 20°N. Durante o mês de abril, mês de fase de transição do ciclo anual da fase negativa para a positiva, observa-se que a região central do Pacífico, entre 150°E e 160°W, possui forte

variabilidade interanual, com as maiores magnitudes dos valores negativos. Enquanto que na região leste do Pacífico, entre 100°W e 80°W, nota-se uma persistência dos valores positivos do ciclo anual, e uma forte variabilidade interanual.

Ao se comparar esse dois meses de transição do ciclo anual de TSM, nota-se que há uma anti-simetria, ou seja, para cada centro negativo (positivo) em abril, há um centro positivo (negativo) de magnitude equivalente em outubro.

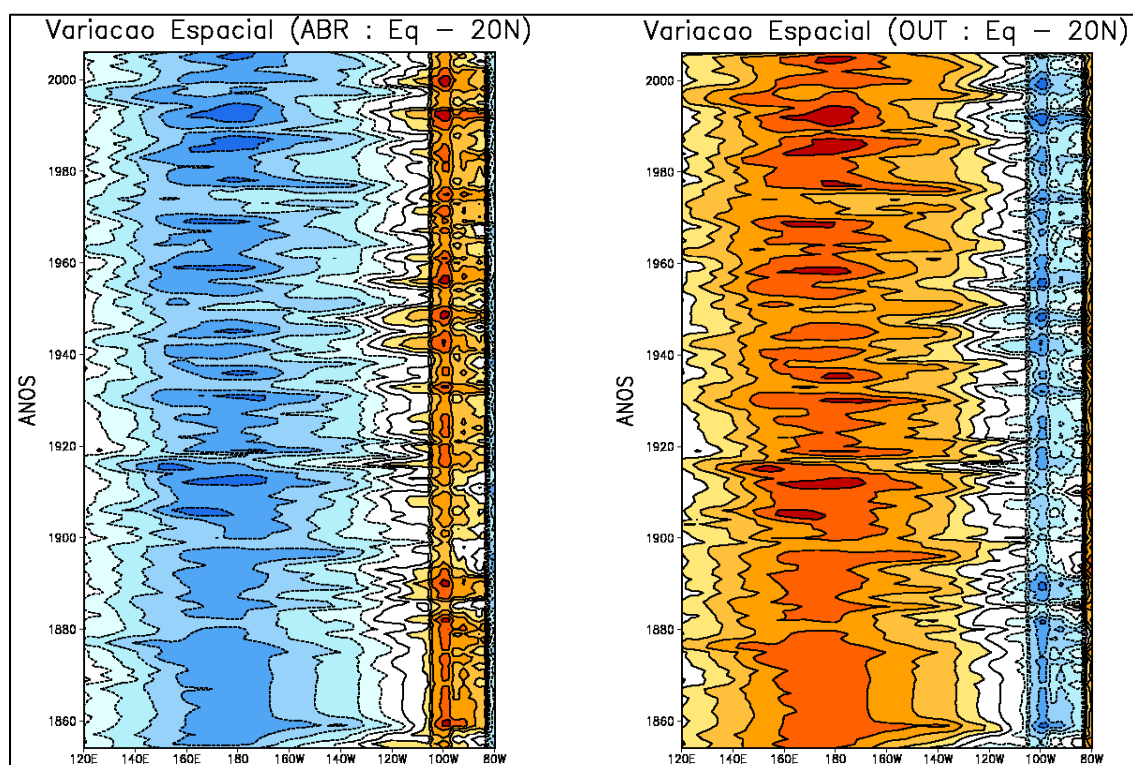


Figura 4.32 - Diagrama Hovmöller para o valor mensal do ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para os meses de abril e outubro. Regiões com degradê do azul claro para o azul escuro possuem intervalo de -0,2 a -1,2. Regiões em branco compreendem o intervalo entre -0,2 e 0,2. Regiões com degradê do amarelo para o vermelho possuem intervalo de 0,2 a 1,2.

A Figura 4.33 apresenta as variações espaciais do valor mensal do ciclo anual de TSM durante os meses de janeiro e julho, médio entre equador e 20°S.

Observa-se em janeiro, que na região oeste do Pacífico, entre 120°E e 180°W, encontram-se os valores mais positivos do ciclo anual de TSM, ou seja, onde o ciclo anual está mais intenso. Pode-se observar nessa região, uma forte variabilidade interanual do ciclo anual. Na região entre as longitudes de 160°W e 80°W, o ciclo anual também apresenta uma forte variabilidade interanual, porém com intensidade menor do que no lado oeste do Pacífico.

Comparando-se as duas fases do ciclo anual (positiva e negativa), pode-se observar a anti-simetria de forma que para cada centro positivo em janeiro, há um centro negativo em julho com magnitudes equivalentes.

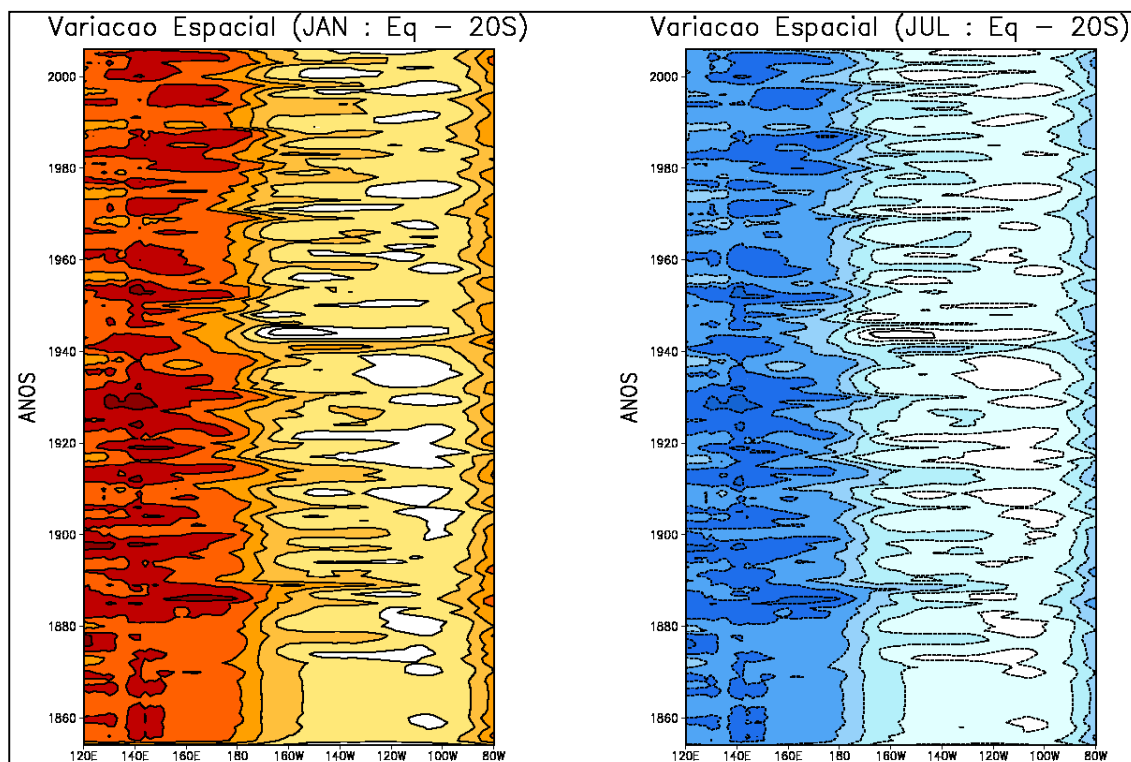


Figura 4.33 - Diagrama Hovmöller para o valor mensal do ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S para os meses de janeiro e julho. Regiões com degradê do azul claro para o azul escuro possuem intervalo de  $-0,2$  a  $-1,2$ . Regiões em branco compreendem o intervalo entre  $-0,2$  e  $0,2$ . Regiões com degradê do amarelo para o vermelho possuem intervalo de  $0,2$  a  $1,2$ .

As variações espaciais do valor mensal do ciclo anual durante os meses de abril e outubro (Figura 4.34) mostram que durante o mês de abril, os máximos

valores estão entre 140°W e 80°W. Essa região apresenta forte variabilidade interanual após 1900. Na região oeste, entre 120°E e 140°E, nota-se que os centros positivos são menos intensos, isso ocorre pois abril é um mês de transição do ciclo anual da fase positiva para a fase negativa, e conforme visto em julho, essa faixa entre 120°E e 180°W concentra os centros mais negativos.

Ao se comparar os dois meses de transição, abril e outubro, observa-se uma anti-simetria de forma que para cada centro positivo em abril há um centro negativo em outubro de magnitude equivalente.

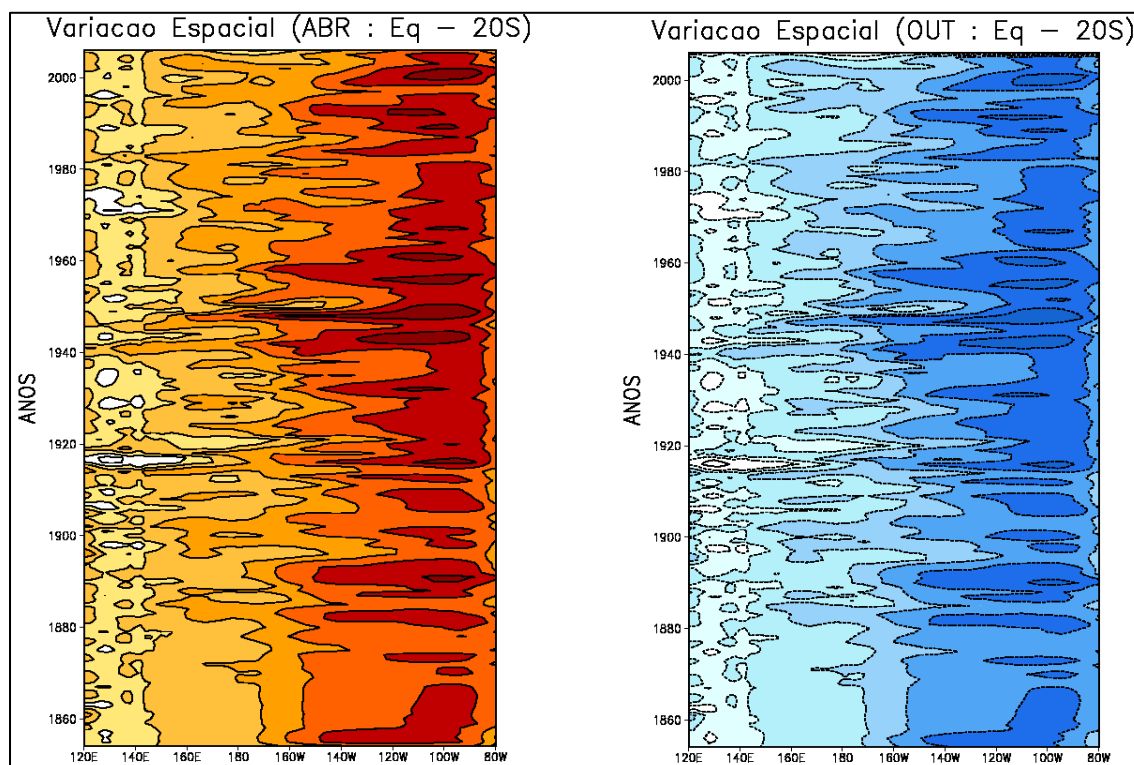


Figura 4.34 - Diagrama Hovmöller para o valor mensal do ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S para os meses de abril e outubro. Regiões com degradê do azul claro para o azul escuro possuem intervalo de  $-0,2$  a  $-1,2$ . Regiões em branco compreendem o intervalo entre  $-0,2$  e  $0,2$ . Regiões com degradê do amarelo para o vermelho possuem intervalo de  $0,2$  a  $1,2$ .

## 4.6 Média Mensal do ciclo anual de TSM

Na Figura 4.35 observa-se a média mensal do ciclo anual de TSM para as regiões do equador – 20°N (painel à esquerda) e equador – 20°S (painel à direita). Para o HN, os máximos do ciclo anual de TSM ocorrem do final de julho a meados de setembro, e mínimos ocorrem de final de janeiro a meados de março entre 130°E a 180°W. Para as longitudes mais a leste do Pacífico, observa-se um centro de máximo de abril a julho e um centro de mínimo, de outubro a dezembro, ambos centrados na longitude de 100°W. É interessante observar que tanto os máximos quanto os mínimos têm persistências e época de ocorrências variáveis conforme sua localização. Na longitude de 120°E os maiores valores negativos ocorrem de janeiro a fevereiro e os positivos de julho a agosto, enquanto que na longitude de 180°W estes valores negativos ocorrem de fins de janeiro a meados de março, e os positivos de fins de julho a meados de setembro, ou seja, nessa longitude os maiores valores positivos e negativos demoram um pouco mais a ocorrer.

Portanto, não é possível dizer em que mês exatamente ocorre o máximo ou mínimo do ciclo anual de TSM para todo o Pacífico, isso depende com qual região se está trabalhando.



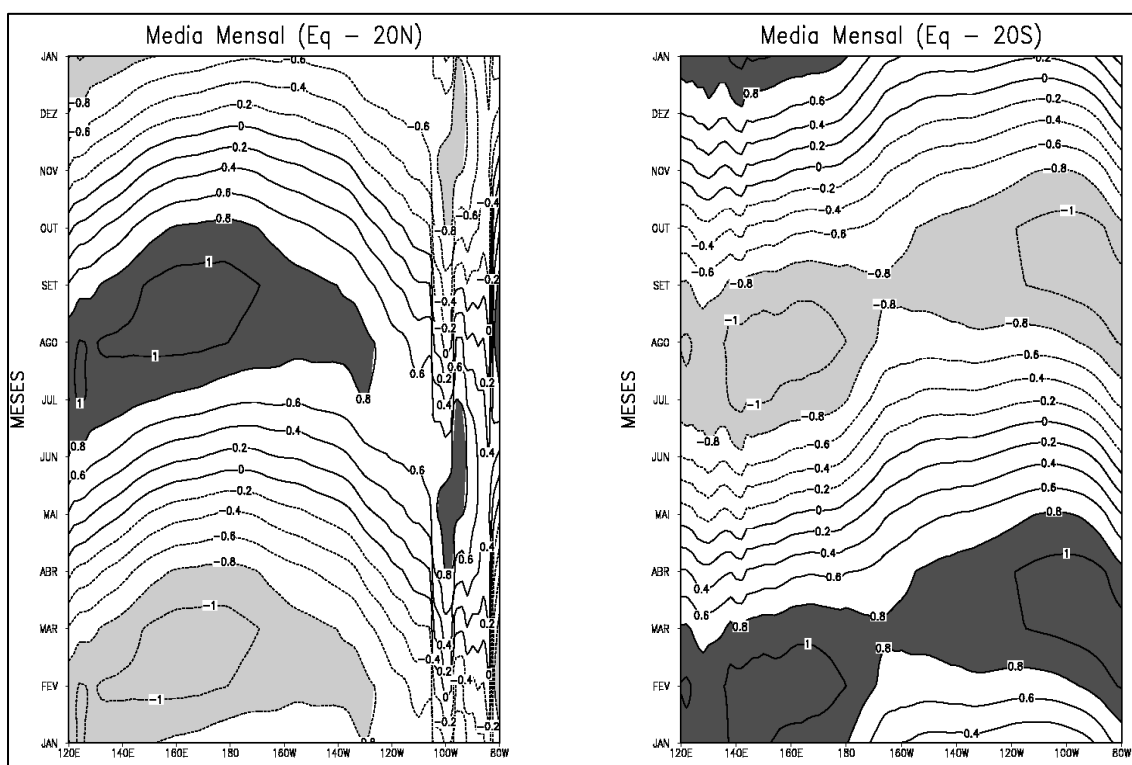


Figura 4.35 - Diagrama Hovmöller para a média mensal do ciclo anual de TSM, médio entre equador e 20°N (à esquerda), médio entre equador e 20°S (à direita), no Pacífico tropical. Intervalo de contorno de 0,2. Regiões com sombreados claros (escuros) possuem valores menores que -0,8 (maiores que 0,8).

Para o HS os máximos do ciclo anual de TSM ocorrem entre os meses de janeiro e abril e os mínimos entre julho e outubro. De forma semelhante à região entre equador e 20°N, no HS também ocorre uma variação temporal dos máximos e mínimos conforme a localização. Entre 135°E e 180°W os máximos ocorrem de janeiro a meados de fevereiro, e os mínimos ocorrem de julho a meados de agosto. Entre 120°W e 80°W os máximos ocorrem de fevereiro a meados de abril e os mínimos ocorrem de agosto a meados de outubro.

Portanto os maiores valores positivos e negativos ocorrem nas regiões mais a oeste e leste do Pacífico, entre 135°E e 180°W e entre 120°W e 80°W, ou seja, na região central do Pacífico os máximos e mínimo não são tão intensos quanto nas regiões próximas aos continentes. Esses maiores valores estão

localizados na mesma região onde ocorrem o aparecimento e desenvolvimento dos extremos do ENOS nas regiões leste e oeste do Pacífico tropical sul. Portanto, este ciclo anual mais forte pode implicar em El Niño (La Niña) mais forte (fraca).

#### **4.7 Anomalia do ciclo anual de TSM no Pacífico Tropical**

A Figura 4.36 apresenta a anomalia do ciclo anual para o mês de janeiro, entre equador e 20°N. Observam-se entre 180°W e 140°W, centros positivos e negativos ocorrendo em uma escala de 20 anos. No Pacífico leste, entre 110°W e 80°W, pode-se notar forte uma variabilidade interanual. Entre as longitudes de 120°E e 160°E, observa-se centros positivos e negativos em uma escala também interanual. Nota-se que no período anterior a 1880, não há sinal de variabilidade em qualquer escala.

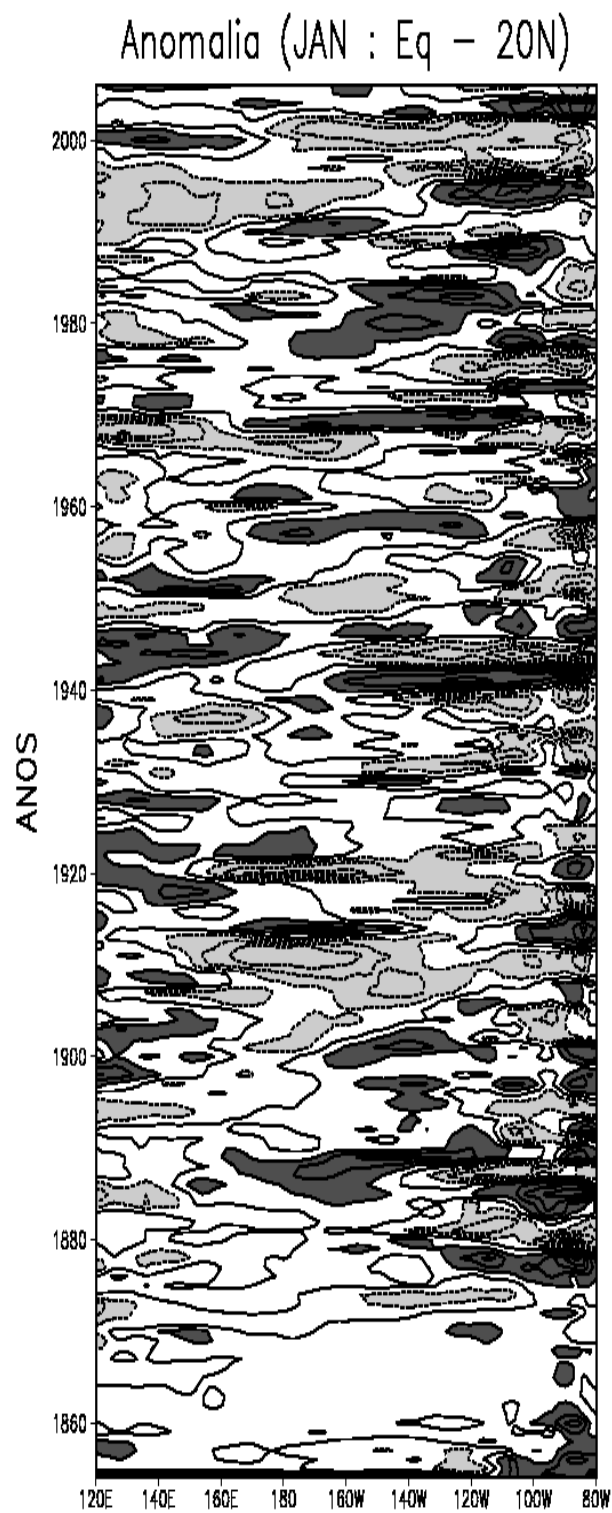


Figura 4.36 – Diagrama Hovmöller para anomalias do mês de janeiro do ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N. Intervalo de contorno de 0,1. Regiões com sombreados claros (escuros) possuem valores menores que -0,1 (maiores que 0,1).

A anomalia do ciclo anual para o mês de janeiro entre equador e 20°S está representada na Figura 4.37. Pode-se identificar entre 120°E e 160°E uma forte variabilidade interanual do ciclo anual. Observa-se que entre as longitudes de 170°E e 140°W também há uma forte variabilidade interanual a partir de 1910. Entretanto no leste do Pacífico, entre 120°W e 80°W, a variabilidade interanual é muito fraca. Assim como para a banda entre equador e 20°N, no mês de janeiro a faixa entre equador e 20°S não apresenta sinal de variabilidade de qualquer escala antes de 1880.

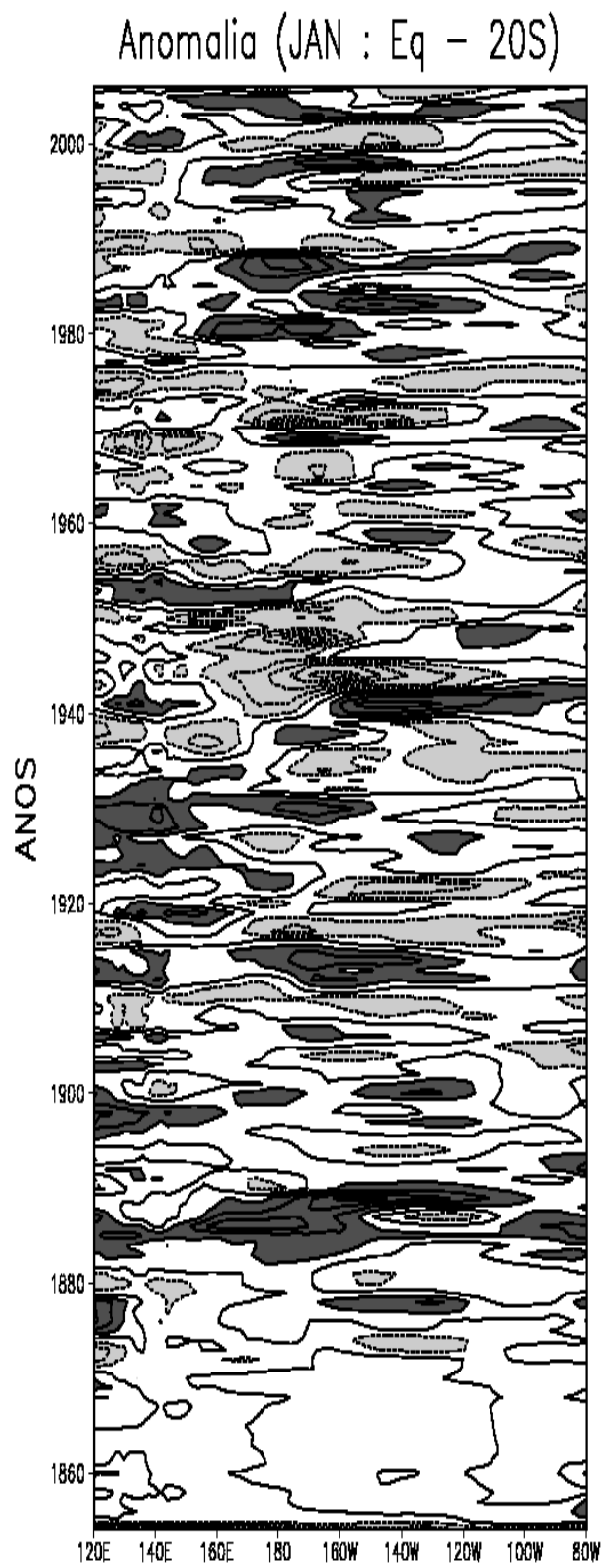


Figura 4.37 - Idem Figura 4.36 para a média entre equador e 20°S.

## 4.8 Ciclo anual para a fase positiva e negativa da ODP

A Figura 4.38 apresenta os ciclos anuais de TSM médios entre equador e 20°N durante as fases positiva e negativa da ODP. As médias foram feitas considerando os períodos de 1925 a 1946 e de 1977 a 1998 para a fase positiva e os períodos de 1910 a 1924 e de 1947 a 1976 para a fase negativa da ODP. Na fase positiva, o máximo do ciclo anual ocorre de meados julho a meados de setembro e o mínimo de meados de janeiro a meados de março entre 130°E e 170°W. Identificam-se um centro de máximo entre abril e julho e um centro de mínimo de outubro a dezembro na longitude de 100°W. Para a longitude de 120°E, tem-se mínimo valor de janeiro a fevereiro e um máximo de julho a agosto, enquanto que na longitude de 180°W, o mínimo valor ocorre de meados de janeiro a meados de março e o máximo de meados de julho a meados de setembro, ou seja, quanto mais próximo da longitude de 180°W, o máximo tende a ter uma duração maior do que nas outras longitudes. Portanto, as persistências e épocas de ocorrência dos máximos e mínimos são variáveis para a fase positiva da ODP.

Comparando o ciclo anual de TSM para a fase positiva da ODP com o ciclo anual médio (Figura 4.35), observa-se que há um fortalecimento do ciclo anual médio nas longitudes mais a oeste, entre 130°E e 170°W, enquanto que nas longitudes entre 140°W e 120°W ocorrem diminuições das durações dos máximos e mínimos. Na longitude de 100°W parece não haver alterações significativas.

Durante o ciclo anual de TSM para a fase negativa da ODP identificam-se o máximo do ciclo anual de fins de julho a meados de setembro e o mínimo entre meados de janeiro e meados de março entre 130°E e 180°W. Para a longitude de 100°W, têm-se o máximo valor de abril a julho e o mínimo de outubro a janeiro, porém com menor intensidade. No Pacífico oeste, a maior duração dos

centros de máximos e mínimos ocorre em 160°E. Portanto, as persistências e épocas de ocorrência dos máximos e mínimos são variáveis para a fase negativa da ODP.

Comparando o ciclo anual de TSM para a fase negativa da ODP com o ciclo anual médio (Figura 4.35), notam-se diminuições dos centros de máximo e mínimo no Pacífico oeste durante a fase negativa da ODP, pois no ciclo anual médio esses centros se estendem de 130°E a 170°W. É possível observar também que na faixa entre 140°W e 120°W ocorrem aumentos nas durações dos máximos e mínimos durante a fase negativa da ODP, passando a ser de janeiro a março para valores negativos e de final de junho a setembro para os valores positivos.

Os ciclos anuais de TSM para as duas fases da ODP possuem características diferentes. Comparando-os observam-se diminuições das áreas de abrangência dos centros de máximos e mínimos da fase positiva para a fase negativa da ODP, entre 130°E e 170°W. Conseqüentemente, há um enfraquecimento do ciclo anual de TSM da fase positiva para a fase negativa da ODP em 170°W. Por outro lado, durante a fase negativa da ODP ocorrem aumentos nas durações dos máximos e mínimos do ciclo anual de TSM entre 140°W e 120°W.

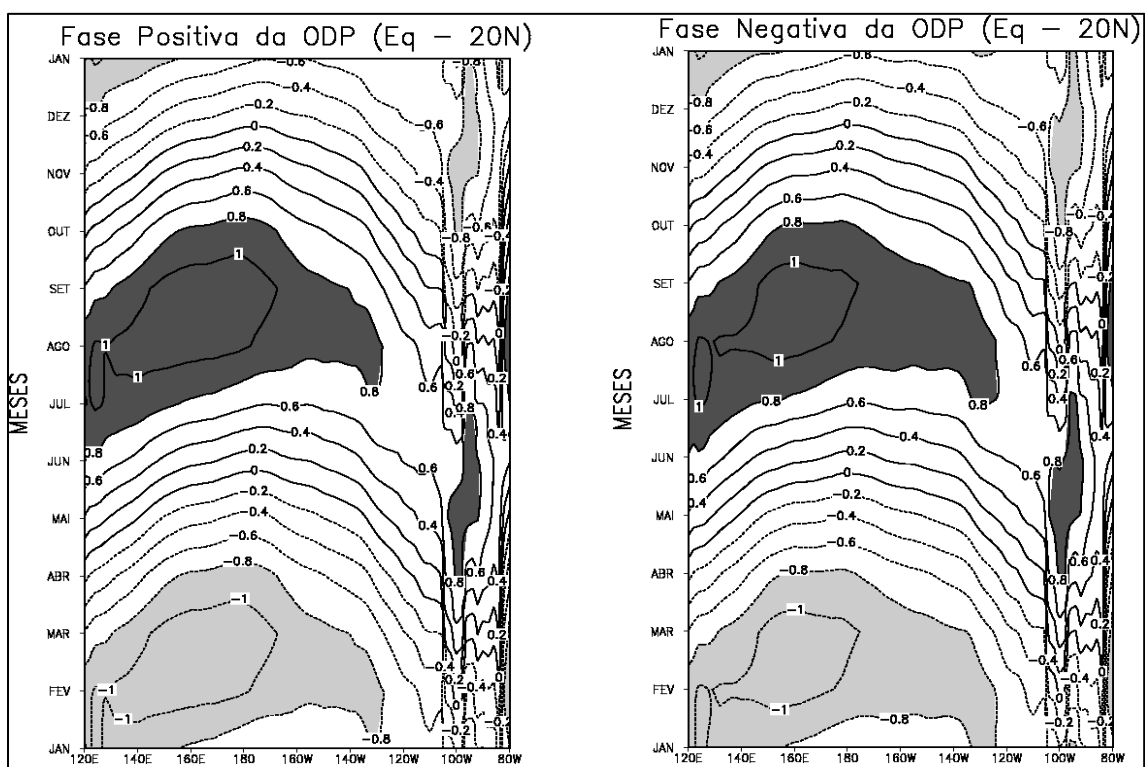


Figura 4.38 - Ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para a fase positiva (painel à esquerda) e fase negativa (painel à direita) da ODP. Intervalo de contorno é de 0,2. Regiões com sombreados escuros (claros) possuem valores positivos (negativos).

Os ciclos anuais de TSM médios entre equador e 20°S para as fases positiva e negativa da ODP estão representados na Figura 4.39. Na fase positiva da ODP, o centro de máximo ocorre de final de dezembro a março e o mínimo de julho a setembro entre 140°E e 180°W. Para a faixa entre 120°W e 80°W, o centro de máximo ocorre de fevereiro a meados de abril e o de mínimo de agosto a meados de outubro. Com isso, nota-se que os máximos e mínimos valores do ciclo anual de TSM na fase positiva da ODP demoram mais a ocorrer no leste do Pacífico.

Comparando o ciclo anual de TSM para a fase positiva da ODP (Figura 4.39) com a média mensal do ciclo anual de TSM (Figura 4.35), observa-se que durante a fase positiva da ODP há pequenos aumentos nas durações tanto dos



centros de máximos quanto nos de mínimo em todo o Pacífico, com exceção da longitude de 120°E, onde ocorrem diminuições das durações desses centros na fase positiva da ODP.

O ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S para a fase negativa da ODP (Figura 4.39, painel à direita) apresenta um centro de máximo de final de dezembro a meados de fevereiro e um centro de mínimo entre final de junho e meados de agosto, ambos entre 140°E e 180°W. Na faixa entre 120°W e 80°W, o centro de máximo ocorre de fevereiro a meados de abril enquanto o mínimo ocorre de agosto a meados de outubro. Portanto, durante a fase negativa da ODP os máximos e mínimos valores do ciclo anual de TSM ocorrem mais tardiamente nas bandas mais à leste do Pacífico.

Fazendo uma comparação entre o ciclo anual de TSM para a fase negativa da ODP (Figura 4.39) e a média mensal do ciclo anual de TSM (Figura 4.35), nota-se que durante a fase negativa da ODP há diminuições nas durações dos centros de máximo e mínimo entre 140°E e 180°W e em 120°E. Por outro lado, durante a fase negativa da ODP observam-se aumentos nas durações dos máximos e mínimos do ciclo anual de TSM, principalmente em 165°W e entre 120°W e 80°W.

Ao se comparar o ciclo anual de TSM da fase positiva com a fase negativa, pode-se observar que durante a fase positiva da ODP os centros de máximo e mínimo na faixa entre 140°E e 180°W têm durações maiores do que na fase negativa. O mesmo ocorre na faixa entre 150°W e 130°W. Entretanto, durante a fase negativa da ODP os centros de máximo e mínimo possuem durações maiores entre 120°W e 80°W e em 170°W, resultando em um ciclo anual de TSM mais forte nessa faixa longitudinal.

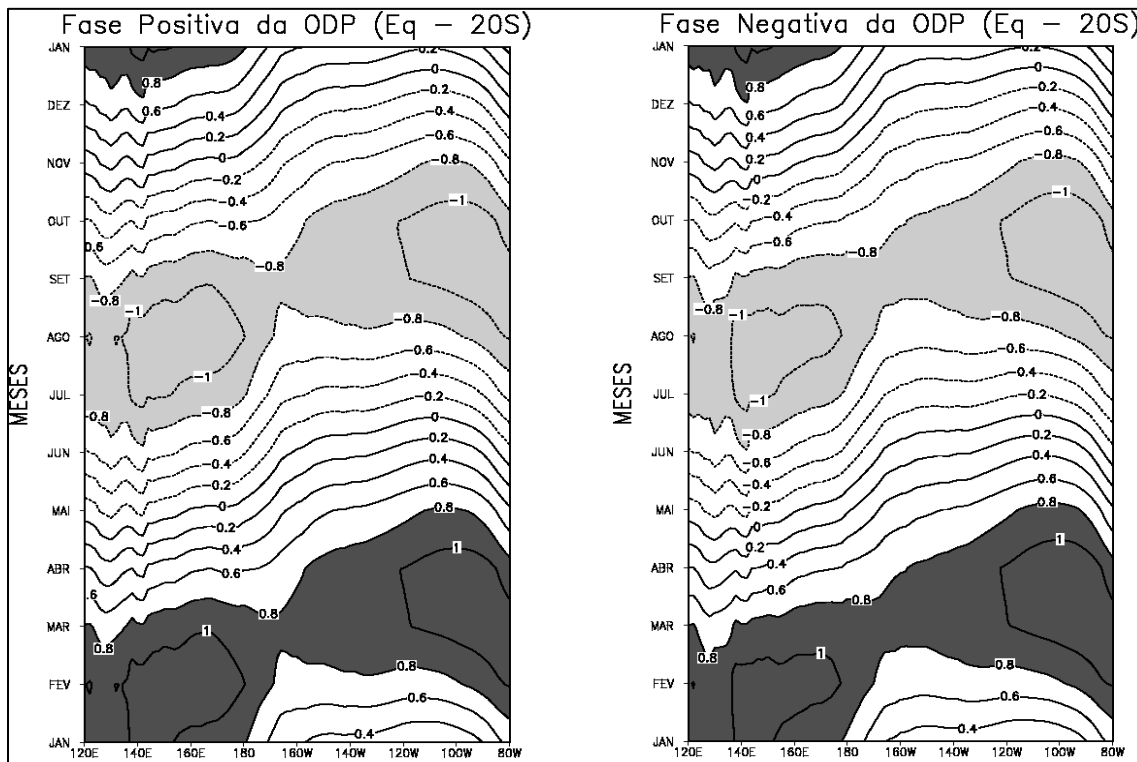


Figura 4.39 - Idem Figura 4.38, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S.

#### 4.9 Diferença entre o ciclo anual de TSM para a fase positiva e negativa da ODP e o ciclo anual médio

A Figura 4.40 apresenta as diferenças entre o ciclo anual para as fases positiva (painel à esquerda) e fase negativa (painel à direita) da ODP e o ciclo anual médio, para a faixa entre equador e 20°N. Na fase positiva da ODP, observam-se dois centros positivos, um de meados de junho a outubro centrado em 140°E e o outro de agosto a dezembro centrado em 180°W; e dois centros negativos, um de meados de dezembro a abril centrado em 140°E e o outro de meados de fevereiro a junho centrado em 180°W. Os centros positivos e negativos estão localizados nos meses e nas longitudes onde ocorrem respectivamente os centros de máximo e mínimo do ciclo anual. Portanto, o ciclo anual é mais intenso entre 140°E e 180°W na fase positiva da ODP. Na longitude entre 90°W e 80°W ocorre um centro positivo de meados de abril a

meados de julho e um centro negativo de meados de outubro a final de dezembro. Portanto, também nestas longitudes o ciclo anual é mais intenso durante a fase positiva da ODP.

A diferença entre o ciclo anual de TSM para a fase negativa da ODP e o ciclo anual médio encontra-se à direita na Figura 4.40. Na fase negativa da ODP, o ciclo anual é enfraquecido entre  $170^{\circ}\text{E}$  e  $150^{\circ}\text{W}$  devido a ocorrência de um centro positivo do início de março a meados de agosto, e de um centro negativo de agosto a janeiro. Estes centros têm sinais contrários dos da média, o que implica em um enfraquecimento do ciclo anual. Na longitude entre  $140^{\circ}\text{W}$  e  $120^{\circ}\text{W}$ , observa-se um centro positivo entre os meses de julho e meados de setembro, o que significa que na fase negativa da ODP o ciclo anual torna-se mais intenso nessa longitude. Mais a leste do Pacífico, entre  $100^{\circ}\text{W}$  e  $90^{\circ}\text{W}$ , o centro positivo ocorre de final de maio a meados de agosto e o centro negativo de final de novembro a meados de fevereiro. Os sinais destes centros são consistentes com os da média. Assim, o ciclo anual de TSM na fase negativa da ODP se intensifica nessa longitude.

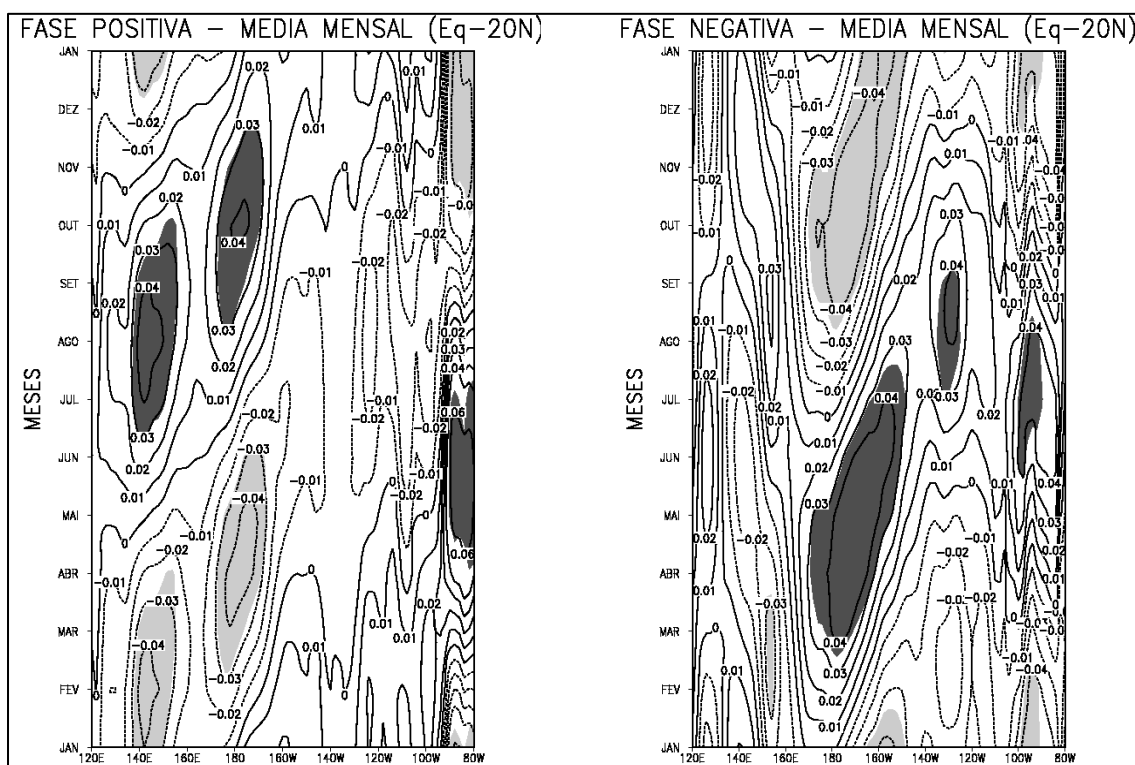


Figura 4.40 - Diferença entre ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para a fase positiva (painel à esquerda) e fase negativa (painel à direita) da ODP e o ciclo anual médio. Intervalo de contorno é de 0,01. Regiões com sombreados escuros (claros) possuem valores positivos (negativos) significativos.

As diferenças entre o ciclo anual durante a fase positiva (painel à esquerda) e fase negativa (painel à direita) da ODP e o ciclo anual médio, médio entre equador e 20°S, estão mostradas na Figura 4.41. A diferença entre o ciclo anual de TSM para a fase positiva da ODP e o ciclo anual médio apresenta poucos centros significativos. Em 160°E observam-se um centro positivo em abril e um negativo em outubro. Em 150°W ocorrem um centro positivo em março e um negativo de meados de agosto a outubro. Mais a leste do Pacífico, em 80°W, ocorre um centro positivo de meados de março a junho, e um centro negativo de outubro a dezembro. É importante ressaltar que esses centros positivos e negativos mostram que na fase positiva da ODP o ciclo anual torna-se apenas ligeiramente mais intenso nessas regiões.

Na fase negativa da ODP (Figura 4.41, painel à direita), observam-se entre as longitudes de 140°E e 160°E, um centro negativo ocorrendo de março a meados de maio, e um centro positivo de setembro a dezembro. Esses centros se encontram na fase de transição dos centros de máximos e mínimos do ciclo anual, e não há uma indicação clara de fortalecimento ou enfraquecimento do ciclo anual de TSM.

Os demais centros positivos e negativos observados na Figura 4.41 mostram uma predominância da fase negativa da ODP sobre o ciclo anual médio. O centro positivo com ocorrência entre os meses de março e agosto e o centro negativo ocorrendo de setembro a meados de janeiro, entre 170°E e 160°W, mostram uma intensificação do ciclo anual em sua fase de transição nessa região do Pacífico na fase negativa da ODP.

O centro positivo na região mais a leste do Pacífico, entre 110°W e 80°W, ocorrendo entre meados de fevereiro e meados de junho, e o centro negativo de meados de agosto e dezembro, na mesma faixa, mostram a intensificação do ciclo anual durante a fase negativa da ODP. Esses centros positivos e negativos coincidem com os centros de máximos e mínimos do ciclo anual.

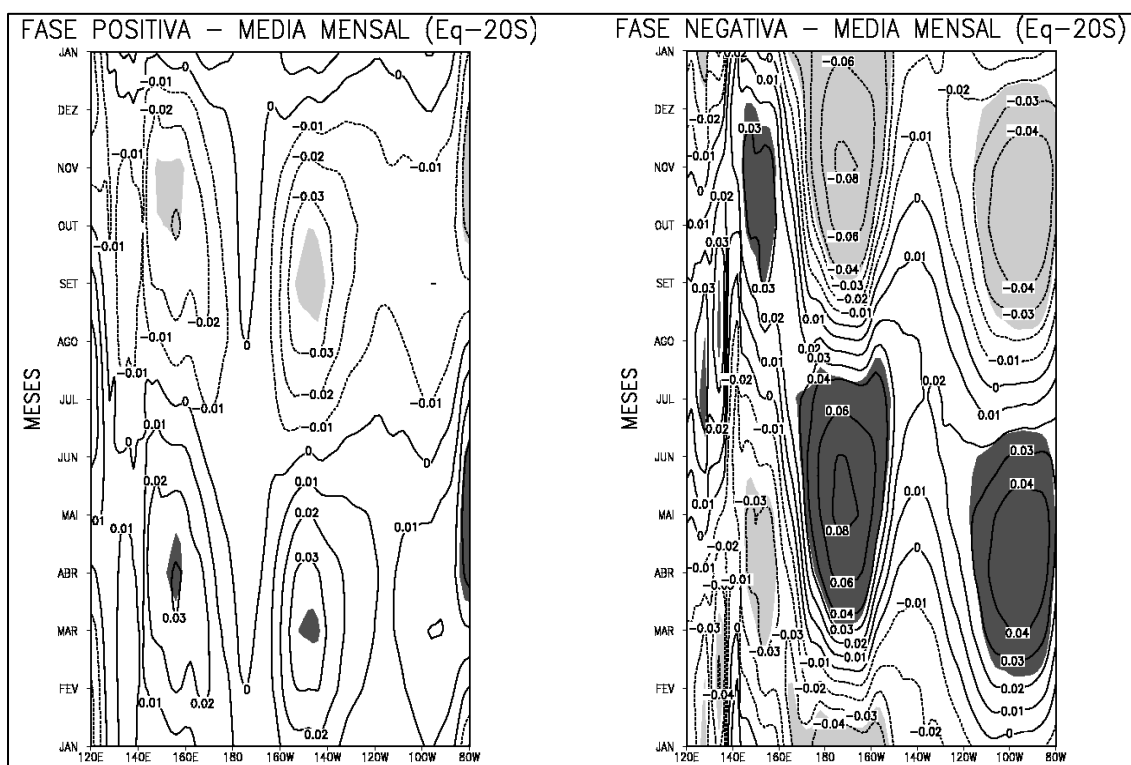


Figura 4.41 - Idem Figura 4.40, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S.

#### 4.10 Ciclo anual para eventos de El Niño e La Niña

A Figura 4.42 apresenta o ciclo anual de TSM para os eventos de El Niño médio entre equador e 20°N. Observam-se um centro de máximo de meados de julho a meados de setembro e um centro de mínimo de meados de janeiro a meados de março, entre 130°E e 170°W. Esses centros de máximo e mínimo têm maior duração em 180°W. No lado leste do Pacífico o centro de máximo ocorre entre abril e julho e o mínimo de meados de outubro a final de dezembro em 100°W. Esses centros têm maior duração do que os centros a oeste do Pacífico, porém com menor intensidade.

Comparando o ciclo anual de TSM para eventos de El Niño e o ciclo anual médio (Figura 4.35), observa-se que durante eventos de El Niño ocorre um aumento na duração do centro de máximo localizado entre as longitudes de

130°E e 170°W, o mesmo ocorrendo para o mínimo nessas longitudes. Nota-se também que durante os eventos de El Niño ocorre uma diminuição na duração tanto dos máximos quanto dos mínimos na faixa entre 140°W e 120°W. Em 100°W, observa-se que há um enfraquecimento do centro de mínimo. Portanto, os eventos de El Niño intensificam o ciclo anual de TSM na faixa entre 130°E e 170°W. Há uma diminuição na duração dos valores positivos e negativos entre 140°W e 120°W e um enfraquecimento do mínimo em 100°W, isto concorda com a relação de GP.

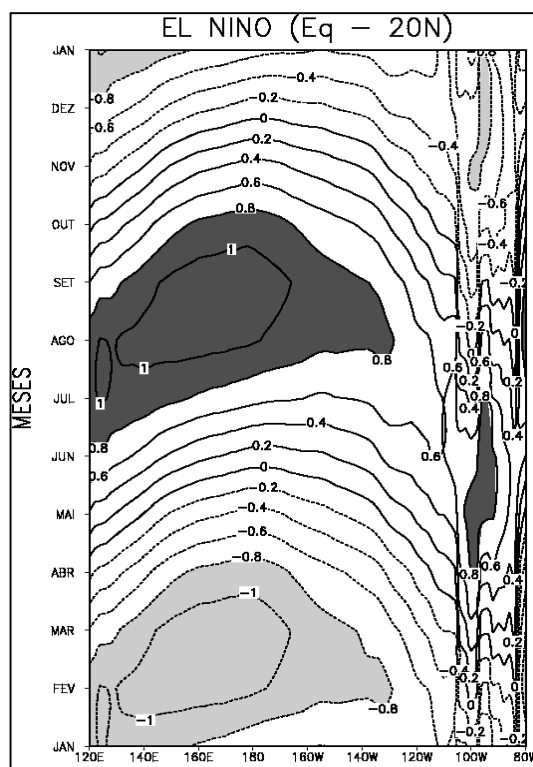


Figura 4.42 - Ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para eventos de El Niño. Intervalo de contorno de 0,2. Regiões com sombreados claros (escuros) possuem valores negativos (positivos).

O ciclo anual de TSM para os eventos de La Niña (Figura 4.43) apresenta um centro de máximo de agosto a início de setembro e um centro de mínimo entre final de janeiro e meados de março na faixa entre 130°E e 180°W. Esses centros têm maiores durações na longitude de 160°E. Em 120°E há um centro

de máximo entre janeiro e fevereiro e um mínimo no final de julho a agosto. No Pacífico leste, o centro de máximo ocorre de abril a julho e o mínimo de outubro a dezembro em 100°W. Assim, os centros mais a leste do Pacífico, iniciam-se primeiro, porém com intensidade menor do que os centros da região oeste.

Ao se comparar o ciclo anual de TSM para eventos de La Niña e o ciclo anual médio (Figura 4.35), é possível observar reduções nas durações dos máximos e mínimos do ciclo anual na faixa entre 140°E e 180°W. Entre as longitudes 150°W e 120°W as durações dos máximos e mínimos sofrem ligeiros aumentos e em 100°W há uma intensificação do ciclo anual de TSM. Portanto, os eventos de La Niña enfraquecem o ciclo anual médio na região mais a oeste do Pacífico, enquanto que na região leste, ocorre fortalecimento do ciclo anual médio, concordando com o estudo feito por Gu e Philander (1995).

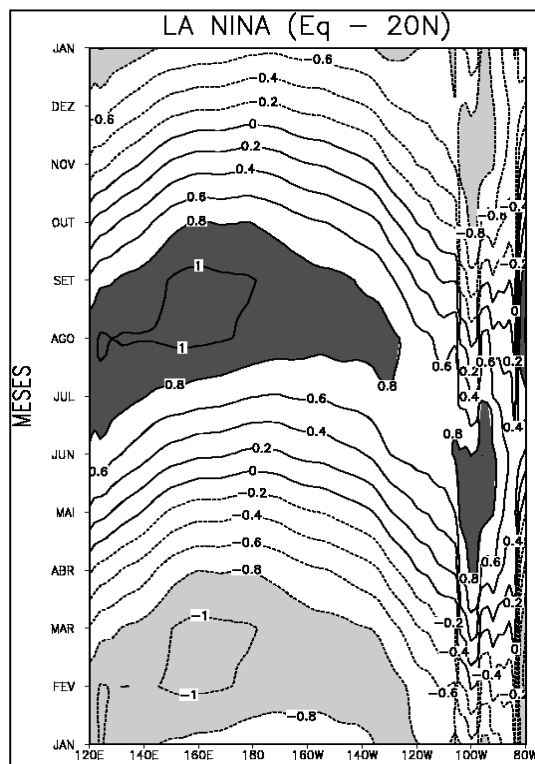


Figura 4.43 - Idem Figura 4.42, para os eventos de La Niña.



Comparando-se o ciclo anual de TSM para eventos de El Niño e de eventos de La Niña, observa-se que durante eventos de El Niño os centros de máximo e mínimo na faixa entre 130°E e 170°W possuem maiores durações e também são mais intensos entre as faixas de 130°E e 140°E e entre 180°W e 170°W resultando em uma intensificação do ciclo anual de TSM nessas bandas. Por outro lado, mais a leste, entre 140°W e 120°W, ocorre um aumento nas durações dos máximos e mínimos valores durante eventos de La Niña. Isso também ocorre com os centros de máximos e mínimos localizados em 100°W resultando em uma intensificação do ciclo anual de TSM nessa faixa.

O ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S para os eventos de El Niño está ilustrado na Figura 4.44. Observam-se um centro de máximo entre final de dezembro e março e um mínimo entre final de junho e setembro entre 120°E e 180°W. No Pacífico leste, entre 120°W e 80°W, o máximo ocorre entre fevereiro e meados de abril e o mínimo entre agosto e meados de outubro. Assim, os centros mais a leste do Pacífico ocorrem mais tardiamente do que no Pacífico oeste.

Ao se comparar o ciclo anual de TSM para eventos de El Niño e o ciclo anual médio (Figura 4.35), pode-se observar que durante os eventos de El Niño, há aumentos nas durações dos centros de máximo e mínimo na faixa entre 120°E e 180°W, e uma intensificação do ciclo anual nessa faixa longitudinal. Nota-se que entre 170°W e 130°W há aumentos nas durações dos máximos e mínimos valores. Por outro lado, nas longitudes entre 120°W e 80°W ocorrem ligeiras diminuições das durações dos centros de máximo e mínimo e um enfraquecimento do ciclo anual nessa faixa. Isto concorda com o estudo feito por Gu e Philander (1995), que encontraram um ciclo anual de TSM mais fraco em anos de El Niño no Pacífico leste e pouca diferença entre o ciclo anual médio e o ciclo anual para os eventos de El Niño.

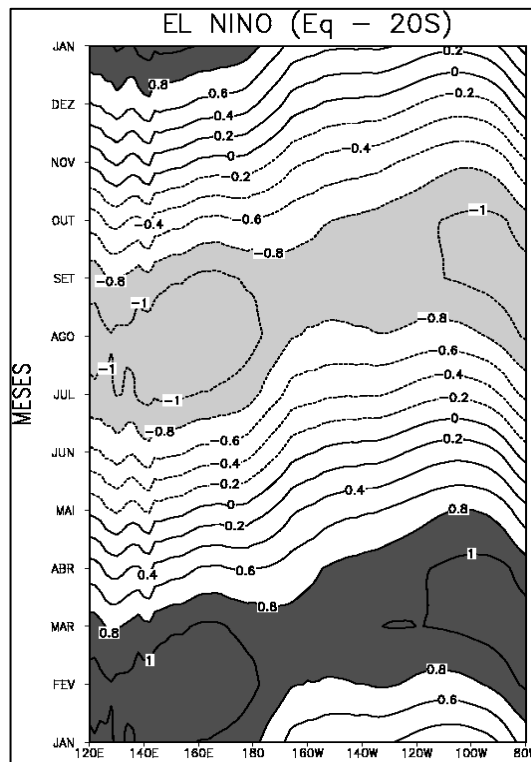


Figura 4.44 - Idem Figura 4.42, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S.

O ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S para os eventos de La Niña (Figura 4.45) apresenta um centro de máximo entre final de dezembro e início de fevereiro e um mínimo entre julho e início de agosto entre 140°E e 180°W. Para a faixa entre 120°W e 80°W o centro de máximo ocorre de fevereiro a início de abril e o mínimo de agosto a início de outubro. Observa-se que esses centros mais a leste demoram mais a aparecer e possuem uma duração maior.

Fazendo uma comparação do ciclo anual para eventos de La Niña com o ciclo anual médio (Figura 4.35), observa-se que durante os eventos de La Niña, ocorrem diminuições nas durações dos centros de máximo e mínimo localizados entre as longitudes de 140°E e 180°W, e dos valores máximos e mínimos entre as longitudes de 170°W e 160°W. Por outro lado, nas longitudes mais a leste, entre 120°W e 80°W, observam-se aumentos nas durações dos centros de máximo e mínimo, e também uma intensificação desses centros,

concordando com a relação GP (Gu e Philander, 1995), na qual o ciclo anual torna-se forte durante eventos de La Niña na região mais a leste do Pacífico.

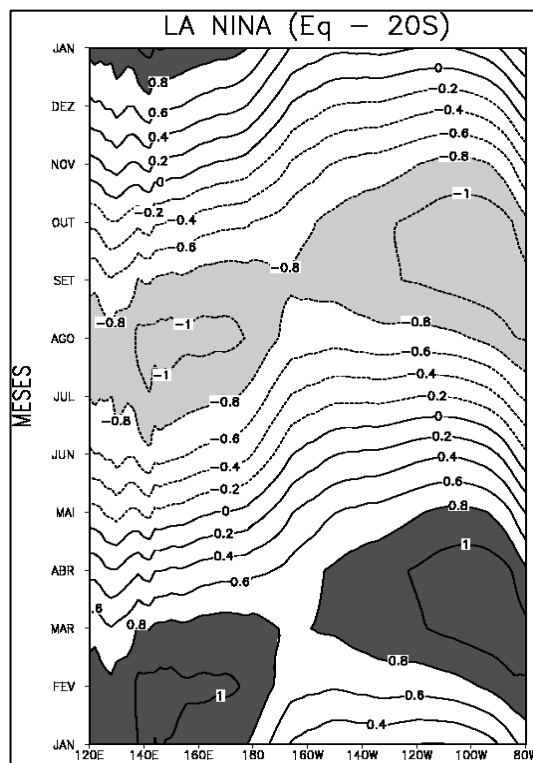


Figura 4.45 - Idem Figura 4.42, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S para eventos de La Niña.

Ao se comparar o ciclo anual de TSM para os eventos de El Niño e eventos de La Niña, nota-se que durante o El Niño, ocorrem aumentos nas durações dos centros de máximo e mínimo entre 120°E e 180°W, o que implica em centros também mais intensos. Nas longitudes entre 170°W e 140°W ocorrem aumentos nas durações dos máximos e mínimos para eventos de El Niño. Entretanto, nas longitudes mais a leste do Pacífico, entre 120°W e 80°W, ocorrem diminuições (aumentos) das durações dos centros de máximo e mínimo durante os eventos de El Niño (La Niña). Conseqüentemente têm-se eventos mais fracos de La Niña, pois estes se formam durante a fase quente do ciclo anual de TSM.

#### **4.11 Diferença entre o ciclo anual de TSM para eventos de El Niño e La Niña e o ciclo anual médio**

A Figura 4.46 mostra a diferença entre o ciclo anual para eventos de El Niño (painel à esquerda) e o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N. Durante eventos de El Niño (painel à esquerda), pode-se identificar dois centros de mínimo um centrado em 140°E entre janeiro e meados de março e o outro centrado em 180°W entre fevereiro e maio. Estes centros coincidem com o centro de mínimo do ciclo anual. Isso mostra que o El Niño intensifica o ciclo anual entre 140°E e 160°W. Na faixa entre 160°W e 100°W pode-se notar um centro de mínimo entre abril e meados de julho, que é o período de transição da fase negativa para a fase positiva do ciclo anual entre equador e 20°N e um centro positivo de setembro a meados de fevereiro que inclui a fase de transição do ciclo anual de TSM da fase positiva para a negativa. Os valores positivos de janeiro a fevereiro estão entre 140°W e 100°W. Isso implica na redução do ciclo anual nestas longitudes. Nas longitudes entre 100°W e 80°W, os eventos de El Niño intensificam o ciclo anual de TSM. É interessante observar que esses centros mais a leste do Pacífico, gradualmente ocorrem mais tardiamente.

A diferença entre o ciclo anual de TSM para eventos de La Niña e o ciclo anual médio está representado pela Figura 4.46 (painel à direita), médio entre equador e 20°N. Durante eventos de La Niña (painel à direita) pode-se observar um enfraquecimento do ciclo anual entre as longitudes de 120°E e 150°E. Um enfraquecimento do ciclo anual médio de TSM é também identificado entre as longitudes de 160°E e 120°W, pois durante os meses de fevereiro e junho, ocorrem valores positivos, e durante agosto e dezembro, valores negativos da diferença que tem sinais contrários aos da média mensal. Entretanto, na faixa entre 110°W e 80°W, os eventos de La Niña intensificam o ciclo anual de TSM, o que concorda com a relação GP, na qual é afirmado que

no Pacífico leste, os eventos de La Niña intensificam o ciclo anual de TSM. Por outro lado, os eventos de La Niña enfraquecem o ciclo anual de TSM entre as longitudes de 160°W e 120°W.

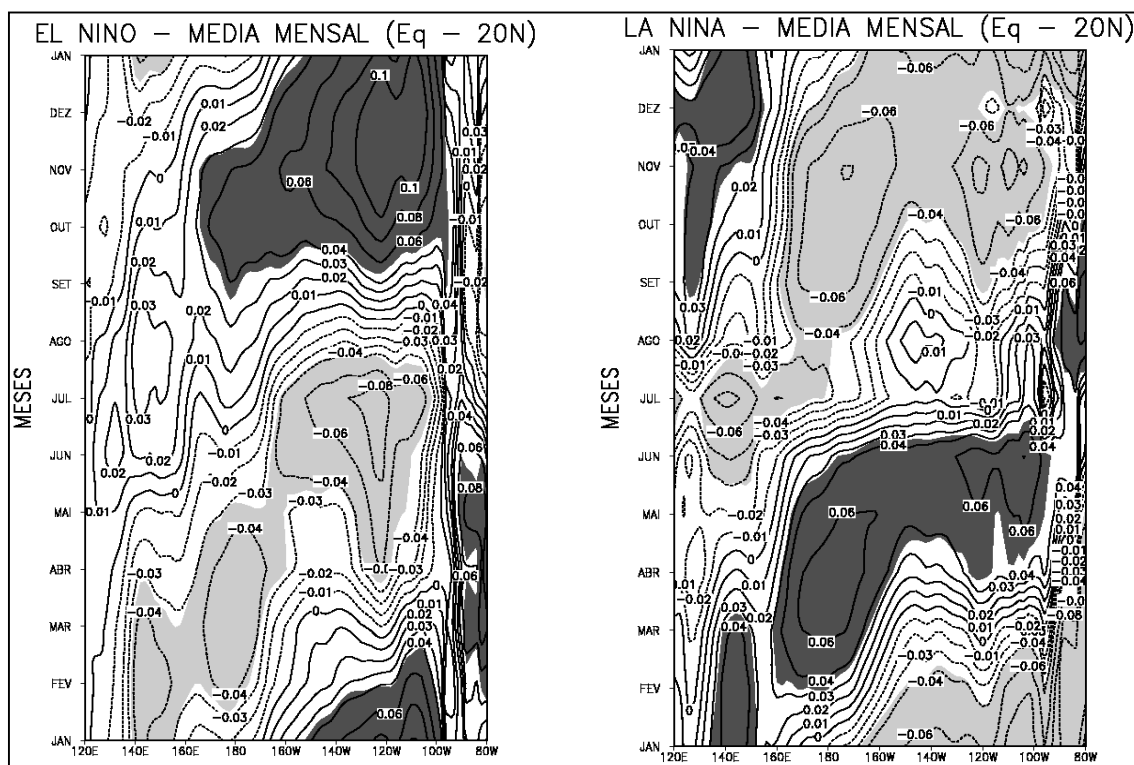


Figura 4.46 - Diferença entre ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para eventos de El Niño (painel à esquerda) e eventos de La Niña (painel à direita) e o ciclo anual médio. Intervalo de contorno é de 0,02. Regiões com sombreados escuros (claros) possuem valores positivos (negativos) significativos.

A diferença entre o ciclo anual para eventos de El Niño e o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S está representada no painel à esquerda da Figura 4.47. Durante eventos de El Niño, há uma intensificação do ciclo anual principalmente no Pacífico central, entre 180°W e 120°W. Na Figura 4.47, durante os meses de janeiro e março ocorre um centro positivo de diferença, que coincide com os valores positivos da média, e entre junho e outubro ocorre um centro negativo, que coincide com os valores negativos da média. Entre 120°E e 170°E, os eventos de El Niño também intensificam os centros de

máximos e mínimos do ciclo anual de TSM, pois na Figura 4.47 ocorrem centros de máximo de janeiro a julho e de mínimo de agosto a novembro. Nota-se que os centros significativos observados entre 120°E e 120°W, possuem uma inclinação para oeste, ao contrário do que se observou entre equador e 20°N. Os centros com valores significativos quanto mais a oeste do Pacífico, ocorrem mais tardiamente.

Por outro lado, na região leste do Pacífico, entre 120°W e 80°W, existem algumas indicações de que os eventos de El Niño enfraquecem o ciclo anual de TSM. Este resultado concorda com a relação de GP, que mostra que nessa região o ciclo anual torna-se fraco durante eventos de El Niño.

No lado direito da Figura 4.47 encontra-se a diferença entre o ciclo anual de TSM para eventos de La Niña e o ciclo anual médio, médio entre equador e 20°S. Durante eventos de La Niña, há um enfraquecimento do ciclo anual de TSM entre 120°E e 140°E. Entre os meses de janeiro e maio, entre 120°E e 140°E ocorrem diferenças negativas, e diferenças positivas entre junho e novembro, que têm sinais contrários aos do ciclo anual médio (Figura 4.35, painel à direita).

Um outro enfraquecimento provocado pelos eventos de La Niña sobre o ciclo anual de TSM é identificado entre 140°E e 180°W, pois durante eventos de La Niña, nessa faixa ocorrem diferenças positivas de final de junho a novembro e negativas de janeiro a meados de maio, que têm sinais contrários aos esperados na média. Da mesma forma, no Pacífico central, entre 180°W e 120°W, notam-se centros de diferenças negativas entre meados de outubro e meados de março, e de diferenças positivas de meados de abril a final de julho. Isso implica em um enfraquecimento do ciclo anual de TSM durante eventos de La Niña.

Por outro lado, na região leste do Pacífico, entre 120°W e 80°W, os eventos de La Niña atuam de forma construtiva no ciclo anual de TSM, intensificando-o. Essa intensificação é identificada através dos centros de diferenças positivas, entre março e julho, e de diferenças negativas, entre agosto e dezembro. Esses centros de diferenças positivas e negativas intensificam os centros de máximo e mínimo do ciclo anual de TSM.

Comparando a influência desses dois eventos (El Niño e La Niña) sobre o ciclo anual, observa-se que as influências desses eventos são anti-simétricas. Enquanto o El Niño intensifica os centros de máximos e mínimos do ciclo anual entre 120°E e 170°W, os eventos de La Niña enfraquecem o ciclo anual nessas longitudes. Na região central do Pacífico, entre 170°W e 120°W, nota-se que o El Niño intensifica o ciclo anual de TSM e a La Niña o enfraquece.

Entretanto, na região leste do Pacífico, entre 120°W e 80°W, essas influências se invertem, ou seja, os eventos de La Niña passam a intensificar o ciclo anual de TSM enquanto os eventos de El Niño apresentam alguma indicação de enfraquecimento do ciclo anual de TSM.

Através dessa comparação, pode-se concluir que a relação de GP só é válida para o Pacífico leste, entre 120°W e 80°W. Na faixa oeste e central, entre 120°E e 120°W, nota-se exatamente o oposto proposto por Gu e Philander (1995), ou seja, o ciclo anual se torna forte durante eventos de El Niño e fraco durante eventos de La Niña.

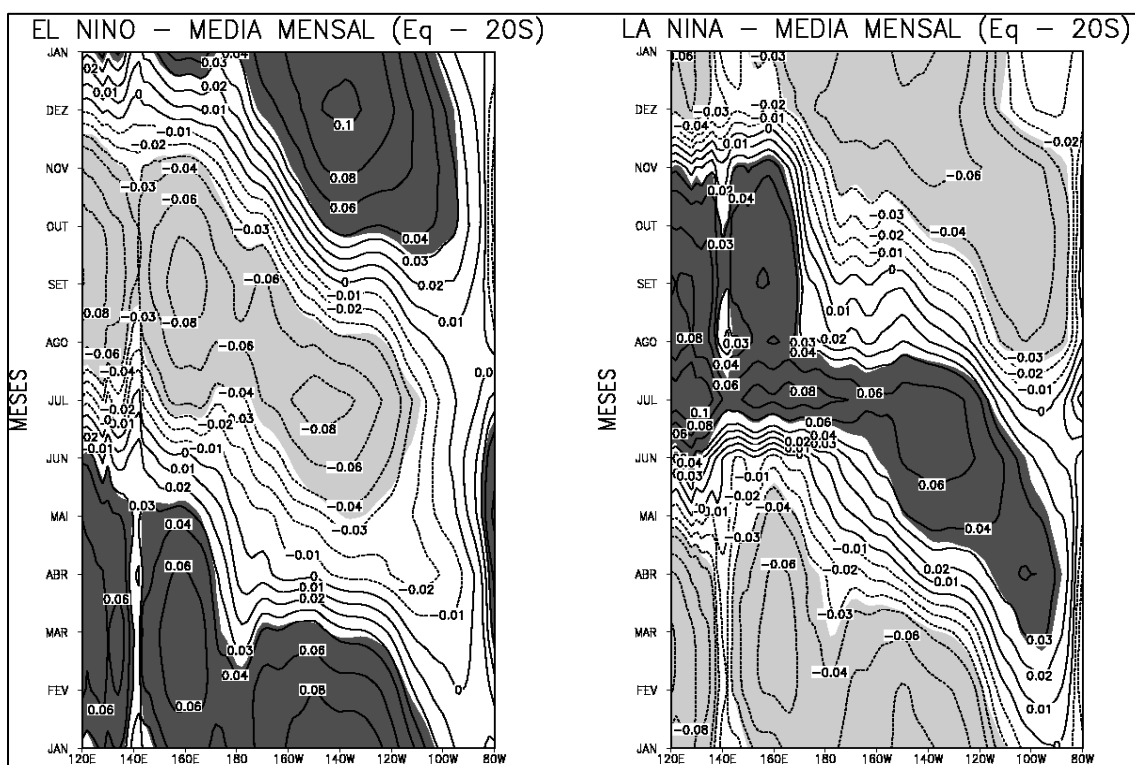


Figura 4.47 - Idem Figura 4.46, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S.

#### 4.12 Ciclo anual de TSM para eventos de El Niño e La Niña durante a fase positiva e negativa da ODP

A Figura 4.48 apresenta o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para eventos de El Niño na fase positiva da ODP. Durante eventos de El Niño na fase positiva da ODP, nota-se um centro de máximo ocorrendo entre julho e final de setembro e um mínimo entre janeiro e meados de março na faixa entre 120°E e 160°W. Em 100°W há um centro de máximo entre abril e final de junho e um mínimo entre outubro e dezembro. Esses centros no Pacífico leste ocorrem primeiro, porém com menor intensidade do que os centros do Pacífico oeste.

Ao se comparar o ciclo anual de TSM para eventos de El Niño durante a fase positiva da ODP e o ciclo anual médio (Figura 4.35) observa-se que há



aumentos nas durações tanto do centro de máximo quanto no de mínimo nas longitudes entre 120°E e 170°W. Em conseqüência, nessa faixa longitudinal há uma intensificação do ciclo anual médio, ou seja, quando o El Niño ocorre na fase positiva da ODP, este intensifica o ciclo anual no Pacífico oeste entre equador e 20°N. No Pacífico leste ocorre um ligeiro enfraquecimento do ciclo anual de TSM.

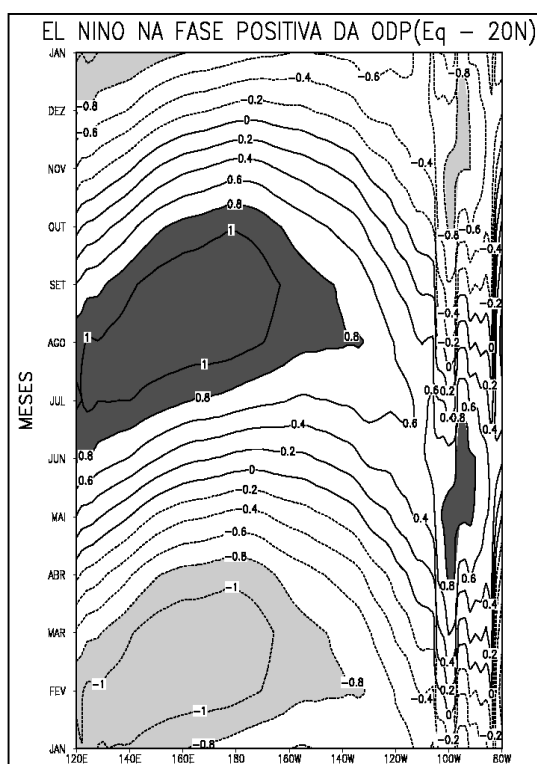


Figura 4.48 - Ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para eventos de El Niño durante a fase positiva da ODP. Intervalo de contorno de 0,2. Regiões com sombreados claros (escuros) possuem valores negativos (positivos).

No ciclo anual de TSM para eventos de El Niño durante a fase negativa da ODP (Figura 4.49), observam-se centros de máximo entre julho e meados de setembro e de mínimo de meados de janeiro a meados de março entre as longitudes de 130°E e 170°W. Esses centros têm suas máximas durações em 160°E. No Pacífico leste, o máximo ocorre de abril a julho e o mínimo de meados de outubro a final de dezembro em 100°W.

Comparando-se o ciclo anual de TSM para eventos de El Niño durante a fase negativa da ODP e o ciclo anual médio, observam-se ligeiros aumentos nas durações dos centros de máximo e de mínimo, ambos localizados entre 130°E e 170°W. Nota-se também que entre 140°W e 120°W ocorrem diminuições nas durações dos máximos e mínimos durante eventos de El Niño na fase negativa da ODP, enfraquecendo o ciclo anual de TSM nessa faixa.

Fazendo-se comparações entre os ciclos anuais de TSM para eventos de El Niño durante as fases positiva e negativa da ODP, observam-se aumentos nas durações dos centros de máximo e mínimo e também fortalecimento desses centros, entre 120°E e 170°W, na fase positiva da ODP.

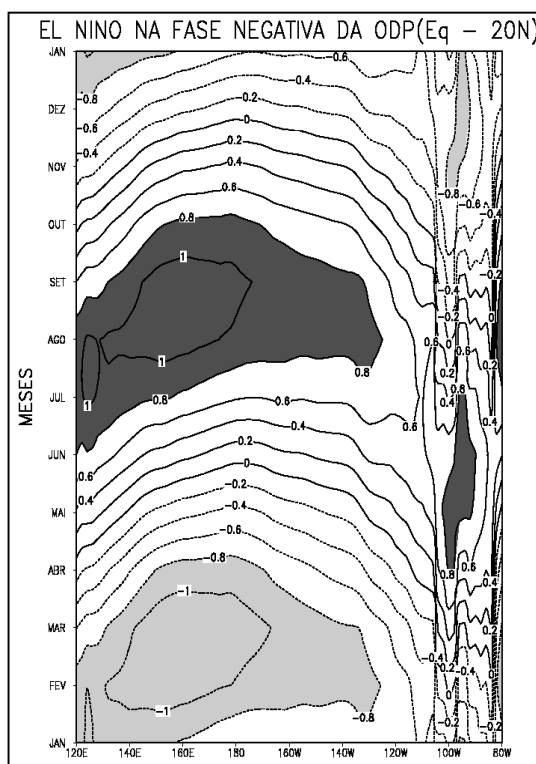


Figura 4.49 - Idem Figura 4.48, para a fase negativa da ODP.

A Figura 4.50 apresenta o ciclo anual de TSM para eventos de La Niña durante a fase positiva da ODP, médio entre equador e 20°N. O centro de máximo

ocorre de agosto a setembro e o de mínimo de fevereiro a março ambos localizados entre as longitudes de 140°E e 180°W. No Pacífico leste nota-se um máximo entre abril e julho e um mínimo de outubro a dezembro em 100°W. Esses centros no Pacífico leste ocorrem primeiro, porém com menor intensidade do que os centros no Pacífico oeste.

Ao se comparar o ciclo anual de TSM para eventos de La Niña durante a fase positiva da ODP com o ciclo anual médio (Figura 4.35), nota-se que durante os eventos de La Niña os centros de máximos e mínimos na faixa entre 120°E e 170°W sofrem diminuições em suas durações. Em consequência, ocorre um enfraquecimento do ciclo anual na faixa entre 120°E e 170°W durante eventos de La Niña. Nas longitudes entre 140°W e 120°W ocorrem ligeiros aumentos nas durações dos máximos e mínimos valores, e ocorre um aumento na duração do centro de mínimo em 100°W. Assim, nas longitudes entre 140°W e 120°W e em 100°W ocorrem ligeiras intensificações do ciclo anual de TSM durante eventos de La Niña.

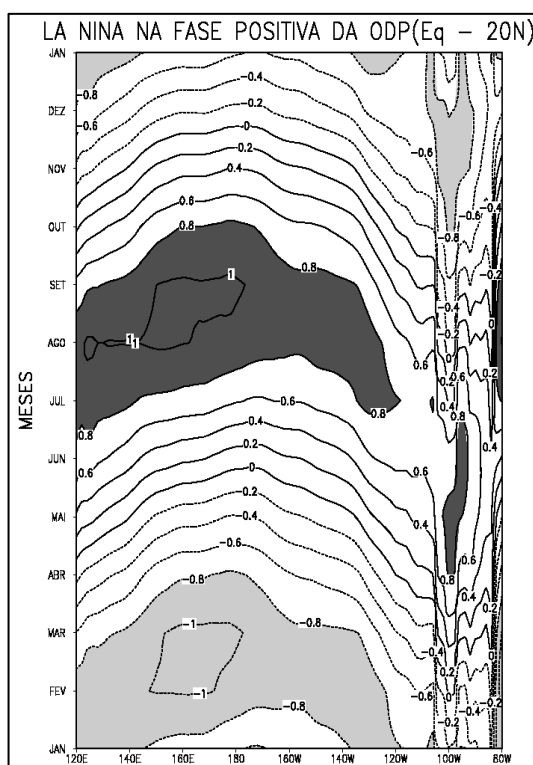


Figura 4.50 - Ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para eventos de La Niña durante a fase positiva da ODP. Intervalo de contorno de 0,2. Regiões com sombreados claros (escuros) possuem valores negativos (positivos),

O ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°N para eventos de La Niña durante a fase negativa da ODP (Figura 4.51) apresenta centro de máximo de meados de julho a setembro e um mínimo de final de janeiro a março entre 150°E e 170°E. Em 120°E observam-se um centro de máximo de julho a agosto e um de mínimo de janeiro a fevereiro. No Pacífico leste há um centro de máximo de abril a julho e mínimo de outubro a final de dezembro em 100°W. Esses centros no Pacífico leste ocorrem primeiro do que os centros no Pacífico oeste, porém com menor intensidade.

Ao se comparar o ciclo anual de TSM para eventos de La Niña com o ciclo anual médio, pode-se notar que para La Niña na fase negativa da ODP, ocorre um enfraquecimento do ciclo anual entre 170°E e 170°W. Ocorrem também diminuições nas durações dos centros de máximo e mínimo entre 140°E e

170°W. Por outro lado, nas longitudes entre 140°W e 120°W observam-se aumentos nas durações dos máximos e mínimos valores dessa faixa. E mais a leste do Pacífico, os eventos de La Niña na fase negativa da ODP intensificam o ciclo anual entre 110°W e 90°W aumentando também seu tempo de duração.

Os ciclos anuais de TSM para eventos de La Niña durante a fase positiva e a negativa da ODP apresentam características diferentes. Para eventos de La Niña na fase negativa da ODP nota-se o ciclo anual mais forte entre as longitudes de 120°E e 130°E, assim como aumentos nas durações desses centros de máximo e mínimo. Do lado leste do Pacífico, entre 110°W e 90°W, ocorrem aumentos nas durações dos centros de máximo e mínimo, juntamente com um fortalecimento desses centros durante eventos de La Niña na fase negativa da ODP. Por outro lado, na faixa entre 170°E e 180°W ocorre um enfraquecimento do ciclo anual de TSM na fase negativa da ODP.

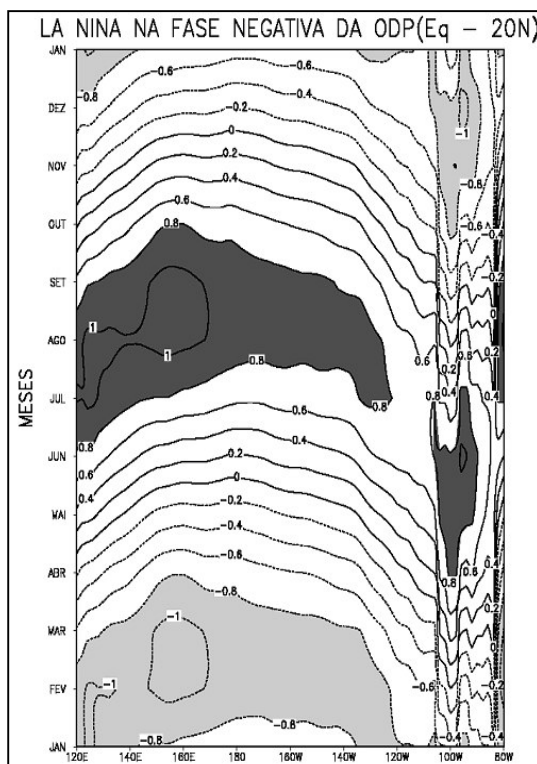


Figura 4.51 - Idem Figura 4.50, para a fase negativa da ODP.

A Figura 4.52 apresenta o ciclo anual de TSM para eventos de El Niño durante a fase positiva da ODP, médio entre equador e 20°S. Observam-se centros de máximo com duração de final de dezembro a março e um de mínimo de final de julho a setembro entre 120°E e 180°W. Entre 140°W e 80°W há um centro de máximo entre fevereiro e meados de abril e um mínimo de agosto a outubro. Esses centros no Pacífico leste ocorrem mais tardiamente do que os centros do Pacífico oeste.

Quando comparado ao ciclo anual médio (Figura 4.35), observa-se que para eventos de El Niño na fase positiva da ODP, ocorre um aumento nas durações dos centros de máximos e mínimos no Pacífico oeste e central. Há também uma intensificação do ciclo anual entre 120°E e 130°E e uma intensificação entre 150°W e 130°W na fase positiva da ODP. No Pacífico leste, o ciclo anual de TSM não se altera.

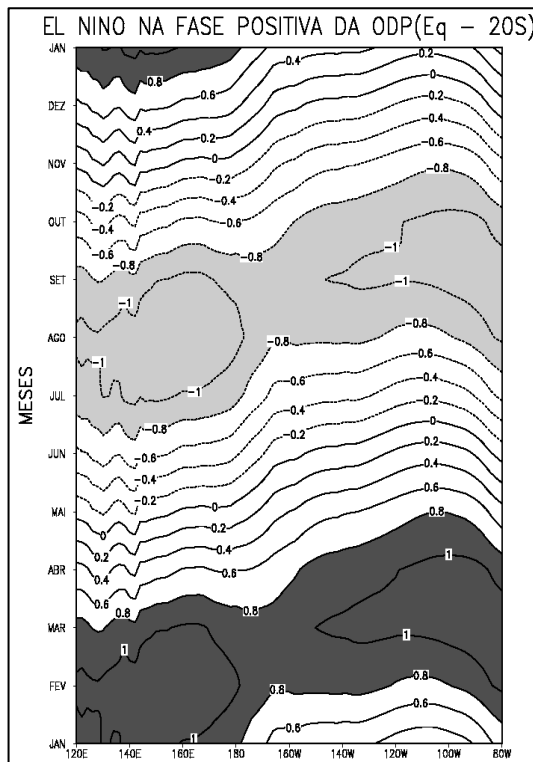


Figura 4.52 - Idem Figura 4.48, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S.

No ciclo anual de TSM para eventos de El Niño durante a fase negativa da ODP (Figura 4.53), médio entre equador e 20°S, podem observar centros de máximos entre 120°E e 180°W de janeiro e março, e o mínimo de final de junho a setembro. Na faixa entre 120°W e 80°W, o máximo ocorre de fevereiro a meados de abril e o mínimo de agosto a meados de outubro. Esses centros mais a leste ocorrem mais tardiamente do que os centros a oeste do Pacífico.

Comparando-se o ciclo anual de TSM para eventos de El Niño na fase negativa da ODP com o ciclo anual médio, observam-se que há ligeiros aumentos nos tempos de ocorrências dos centros de máximo e mínimo entre 120°E e 180°W. Isso também ocorre para os valores máximos e mínimos encontrados entre as longitudes de 170°W e 150°W. Entretanto, no Pacífico leste, entre 120°W e 80°W, ocorrem diminuições nas durações tanto do centro de máximo quanto no de mínimo, enfraquecendo o ciclo anual de TSM.

Quando se compara o ciclo anual de TSM para eventos de El Niño para a fase positiva da ODP com o da fase negativa, observa-se que na fase positiva da ODP, os centros de máximos e mínimos em todo o Pacífico, tendem a ter durações maiores do que na fase negativa da ODP. Isso está bem claro nos centros de máximos e mínimos entre 150°W e 80°W. Nessas longitudes há um fortalecimento do ciclo anual, conseqüentemente têm-se eventos de El Niño mais forte, uma vez que estes se estabelecem na fase quente do ciclo anual de TSM.

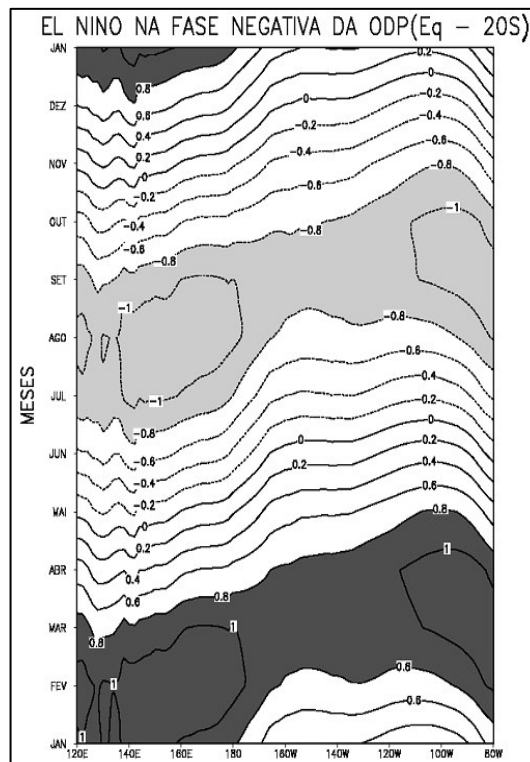


Figura 4.53 - Idem Figura 4.48, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S para a fase negativa da ODP.

A Figura 4.54 mostra o ciclo anual de TSM para eventos de La Niña durante a fase positiva da ODP, médio entre equador e 20°S. Observam-se os centros de máximo de final de dezembro a meados de fevereiro e de mínimo de julho a meados de agosto entre 140°E e 180°W. No Pacífico leste, o máximo ocorre de fevereiro a meados de abril e o mínimo de agosto a meados de outubro entre 120°W e 80°W. Estes centros ocorrem mais tardiamente e possuem a mesma magnitude dos centros no Pacífico oeste, porém com durações maiores.

Ao se comparar este ciclo anual de TSM para eventos de La Niña na fase positiva da ODP com o ciclo anual médio, ocorrem diminuições nas durações dos centros de máximo e de mínimo entre as longitudes de 140°E e 180°W. O mesmo ocorre com os máximos e mínimos valores encontrados na faixa entre 180°W e 160°W. Por outro lado, no Pacífico leste, entre 140°W e 80°W,



observam-se aumentos nas durações dos centros de máximo e mínimo e uma intensificação do centro de mínimo entre as longitudes de 140°W e 120°W.

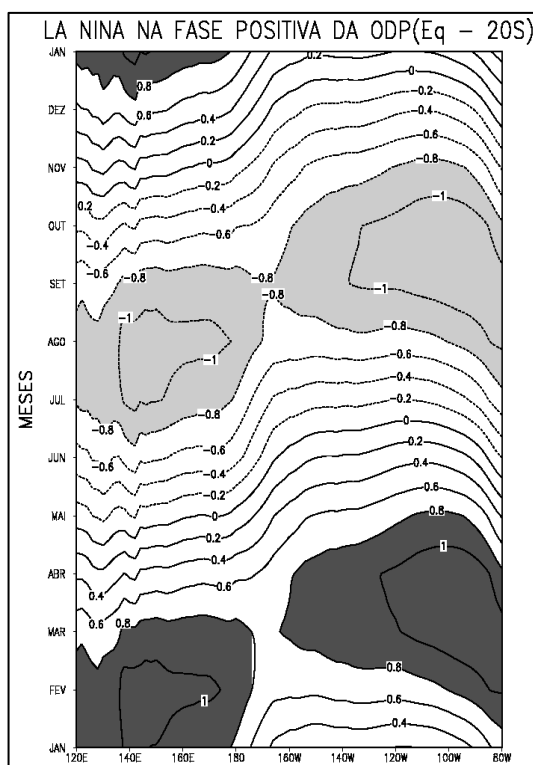


Figura 4.54 - Idem Figura 4.50, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S

A Figura 4.55 apresenta o ciclo anual de TSM para eventos de La Niña durante a fase negativa da ODP, médio entre equador e 20°S. Notam-se um centro de máximo entre janeiro e fevereiro, e um centro de mínimo entre julho e agosto entre 140°E e 160°E. No Pacífico leste, o máximo ocorre de meados de fevereiro a meados de abril e o mínimo de agosto a meados de outubro entre 120°W e 80°W. Esses centros no Pacífico leste ocorrem mais tardiamente e possuem maiores durações que os centros no Pacífico oeste.

Quando se compara o ciclo anual de TSM para eventos de La Niña na fase negativa da ODP com o ciclo anual médio (Figura 4.35), pode-se observar diminuições das durações dos centros de máximo e de mínimo entre 140°E e

180°W. Isso também ocorre com os máximos e mínimos valores entre 170°W e 150°W. Entretanto, no Pacífico leste observam-se aumentos nas durações dos centros de máximo e mínimo, na fase negativa da ODP, entre 120°W e 80°W.

Os ciclos anuais de TSM para eventos de La Niña nas fases positiva e negativa da ODP, possuem características diferentes. Para a fase negativa, observa-se um aumento na duração dos valores mínimos localizados em 170°W. No entanto, na fase positiva, há aumentos nas durações dos centros de máximo e mínimo entre as longitudes de 140°E e 180°W. Aumentos nas durações dos centros de máximo e mínimo também ocorrem no lado leste do Pacífico entre 130°W e 80°W na fase positiva da ODP. Portanto, para eventos de La Niña na fase negativa da ODP, os ciclos anuais de TSM são mais fracos do que os da fase positiva da ODP. Isso se deve possivelmente ao fato de que os eventos de La Niña são mais fortes na fase negativa da ODP.

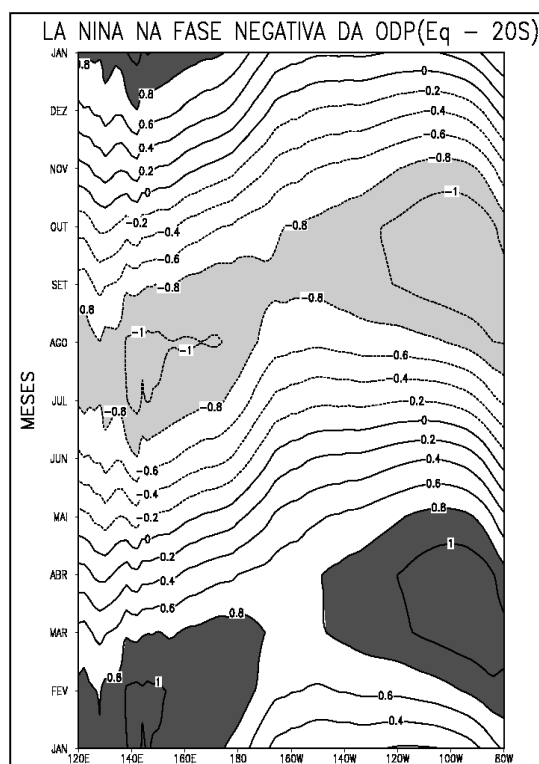


Figura 4.55 - Idem Figura 4.50, para o ciclo anual de TSM médio entre equador e 20°S para a fase negativa da ODP.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 5.1 Conclusões

O ciclo anual de TSM possui variabilidade interanual e interdecenal como mostrado nos diagramas Hovmöller de anomalias. Essa variabilidade também foi ressaltada nas análises das MEPOs. Concluiu-se ainda através dos EPGs, que a variância do ciclo anual de TSM é máxima entre 120°E e 140°E para o HN, enquanto que para o HS, é crescente da linha da data para leste atingindo o máximo entre 100°W e 80°W. Portanto, a máxima variância do ciclo anual de TSM apresenta variações de um hemisfério para o outro. Isso deve estar relacionado com a distribuição assimétrica de TSM entre o HN e HS. No HN, as maiores TSM de verão encontram-se no Pacífico oeste, enquanto no HS, as menores TSM de inverno encontram-se no Pacífico leste. As localizações destas maiores e menores TSM no Pacífico oeste e leste, respectivamente colaboram para aumentar a amplitude do ciclo anual de TSM nestes setores.

Durante a fase positiva da ODP, o ciclo anual de TSM no HN se intensifica no Pacífico oeste e leste e, no HS este se intensifica no Pacífico oeste e torna-se apenas ligeiramente mais intenso no Pacífico leste. Isso se deve ao fato de que durante a fase positiva da ODP as TSMs estão mais elevadas no Pacífico tropical central, aumentando as amplitudes das maiores TSMs, em particular no Pacífico central e oeste (HN e HS) e no Pacífico leste no HN, ou seja, na região dominada por águas mais quentes de verão. No Pacífico leste do HS, em geral as águas são mais frias e não sofrem influência da ODP na fase positiva.

Por outro lado, na fase negativa da ODP o ciclo anual se enfraquece no Pacífico oeste, e se intensifica no Pacífico leste em ambos os hemisférios. Isso pode estar relacionado ao fato de que nesta fase da ODP tem-se águas mais frias no Pacífico tropical leste e central, o que implica em redução das maiores

TSMs (TSM de verão) no Pacífico oeste e redução das menores TSMs (TSM de inverno) no Pacífico leste.

Para os eventos de El Niño, o ciclo anual de TSM se intensifica na faixa oeste do Pacífico e se enfraquece no Pacífico leste, em ambos os hemisférios. Isso pode estar relacionado ao fato de que durante eventos de El Niño há um enfraquecimento dos ventos alísios, aumento na profundidade da termoclina e surgimento de anomalias positivas de TSM no Pacífico leste. Assim, há um aumento das menores TSMs no Pacífico leste, o que enfraquece o ciclo anual de TSM. No Pacífico oeste, onde o ciclo anual se intensifica, infere-se que há uma diminuição das menores TSMs em ambos os hemisférios.

Para eventos de La Niña observou-se uma influência contrária a de eventos de El Niño, pois o ciclo anual de TSM se enfraquece no Pacífico oeste e se intensifica no Pacífico leste em ambos os hemisférios. Este resultado pode estar relacionado ao resfriamento do Pacífico tropical leste ocasionado pelo fortalecimento dos ventos alísios e aumento da ressurgência durante eventos de La Niña. Assim, no Pacífico oeste há um aumento das menores TSMs, enfraquecendo o ciclo anual de TSM e no Pacífico leste ocorre uma redução das menores TSMs.

Portanto, a relação de GP só é válida para o Pacífico leste, uma vez que na faixa central e oeste do Pacífico, o ciclo anual de TSM se intensifica (se enfraquece) durante eventos de El Niño (La Niña).

Para eventos de El Niño na fase positiva da ODP, há uma intensificação do ciclo anual de TSM no Pacífico oeste e no Pacífico leste este quase não se altera no HS e sofre ligeiro enfraquecimento no HN. Portanto, o El Niño e a ODP na fase positiva atuam conjuntamente para intensificar o ciclo anual de TSM no Pacífico oeste, e no Pacífico leste têm efeito neutro para o HS. Por

outro lado, para eventos de El Niño na fase negativa da ODP, pode-se observar um enfraquecimento do ciclo anual de TSM na faixa leste do Pacífico e uma ligeira intensificação no Pacífico oeste em ambos os hemisférios.

Para os eventos de La Niña nas fases positiva e negativa da ODP, tem-se a mesma influência em ambos os hemisférios. Durante os eventos de La Niña o ciclo anual de TSM se enfraquece no Pacífico oeste e se intensifica no Pacífico leste. No caso da La Niña na fase positiva da ODP, ocorre uma ligeira intensificação do ciclo anual de TSM no Pacífico leste.

Portanto, quando o ENOS e a ODP estão na fase negativa, estes atuam conjuntamente. Por outro lado, quando o ENOS e a ODP estão em fases opostas, prevalece a influência do ENOS. Estes resultados encontram-se resumidos na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Influência dos fenômenos de mais baixa frequência sobre o ciclo anual de TSM no Pacífico tropical. I = Intensifica, E = Enfraquece, N = Neutro,  $\pm$  I = Ligeira intensificação,  $\pm$  E = Ligeiro enfraquecimento, Oeste = 120°E a 170°E e Leste = 120°W a 80°W.

	OCEANO PACÍFICO			
	H. NORTE		H. SUL	
	OESTE	LESTE	OESTE	LESTE
<b>ODP (+)</b>	I	I	I	$\pm$ I
<b>ODP (-)</b>	E	I	E	I
<b>EL NIÑO (EN)</b>	I	E	I	E
<b>LA NIÑA (LN)</b>	E	I	E	I
<b>EN + ODP(+)</b>	I	$\pm$ E	I	N
<b>EN + ODP(-)</b>	$\pm$ I	E	$\pm$ I	E
<b>LN + ODP(+)</b>	E	$\pm$ I	E	I
<b>LN + ODP(-)</b>	E	I	E	I

De uma maneira geral, este trabalho apresenta maiores detalhes sobre a variabilidade do ciclo anual de TSM no Pacífico Tropical, assim como sobre suas relações com fenômenos de mais baixa frequência. Neste tocante, os efeitos combinados de ENOS e ODP no ciclo anual de TSM do Pacífico apresentam características complexas que necessitam investigações mais detalhadas.

## **5.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Para trabalhos futuros sugerem-se:

- a) estender este trabalho para a região do Pacífico norte e Atlântico;
- b) estudar a variabilidade de TSM na região da oscilação do Atlântico norte e como esta se relaciona com o ciclo anual de TSM no Atlântico tropical e de suas possíveis relações com fenômenos existentes nessas regiões;
- c) estudar mais a fundo os efeitos de ENOS e ODP no ciclo anual de TSM do Pacífico, levando em consideração as fases de desenvolvimento (surgimento, fortalecimento e decaimento) dos eventos de extremos do ENOS, bem como separando os eventos por intensidade (fortes, moderados ou fracos).
- d) estender o estudo, incluindo algum parâmetro atmosférico, como a pressão ao nível do mar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific Decadal Oscillation regimes. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 15, p. 2017-2030, 2005.

BJERKNES, J. A. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. **Tellus**, v. 18, n. 4, p. 820-829, 1966.

BJERKNES, J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. **Monthly Weather Review**, v.97, n. 3, p.163-172, 1969.

GU, D.; PHILANDER, G.H. Secular changes of annual and interannual variability in the tropics during the past century. **Journal of Climate**, v.8, n. 4, p.864-876, 1995.

GUEDES, R.L.; OYAMA, M. D.; ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M. T.; ALVES, M. A. S. Modulação do ciclo anual de variáveis de superfície em São Luís (Maranhão) por oscilações de baixa frequência. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 2, p.245-255, 2006.

KAYANO, M. T. ; ANDREOLI, R. V. Relations of South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 4, p. 531-540, 2007.

KAYANO, M. T.; RAO, V. B.; Andreoli, R. V. A review of short-term climate variability mechanisms. **Advances in Space Research**, v. 35, n. 5, p.843-851, 2005

KIM, K.-Y.; CHUNG, C. On the evolution of the annual cycle in tropical pacific. **Journal of Climate**, v. 14, n. 5, p.991-994, 2001.

LAU, K.-M.; WENG, H. Climate signal detection using wavelet transform: how to make a time series sing. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 76, n. 12, p.2391-2402, 1995.

MANTUA, N.J., HARE, S.R., ZHANG, Y., WALLACE, J.M., FRANCIS, R.C. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 6, p. 1069-1079, 1997.

PANOFSKY, H. A.; BRIER, G. W. **Some applications of statistics to meteorology**. Pensilvânia: University Park, 1968. p. 224.

PHILANDER, S.G.H. **El Nino, La Niña and the southern oscillation**. Califórnia: Academic Press Inc,1990. p.293.

PRESS, W. H.; FLANNERY, B. P.; TEUKOLSKY, S. A.; VETTERLING, W. T. **Numerical recipes: the art of scientific computing**. New York: Cambridge University Press, 1986. p. 818.

RASMUSSEN, E. M.; ARKIN, P. A. **Interannual climate variability associated with the el niño/southern oscillation**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V., chapter 40, 1985. p. 697-725.

RASMUSSEN, E. M.; CARPENTER, T. H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. **Monthly Weather Review**, v. 110, n. 5, p.354-384, 1982.



RASMUSSEN, E. M.; WALLACE, J. M. Meteorological aspects of the El Niño/Southern Oscillation. **Science**, v. 222, n. 4629, p. 1195-1202, 1983.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 8, p.1606-1626, 1987.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. Quantifying southern oscillation-precipitation relationships. **Journal of Climate**, v. 9, n. 5, p.1043-1059, 1996.

SANTOS, C. A. G.; GALVÃO, C. O.; CAMPOS JUNIOR, M. B. Análise das precipitações mensais no semi-árido através da transformada wavelet. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 6., 2002, Maceió, AL. **Anais...**Maceió: ABRH, 2002. v. 1, p.10-19.

SCHNEIDER, E. K. **A note on the annual cycle of sea surface temperature at the equador**. 1996. Disponível em: [ftp://grads.iges.org/pub/ctr/ctr\\_36.pdf](ftp://grads.iges.org/pub/ctr/ctr_36.pdf). Acesso em: 12 nov 2007.

SETOH, T.; IMAWAKI, S.; OSTROVSKII, A.; UMATANI, S. Interdecadal variations of enso signals and annual cycles revealed by wavelet analysis. **Journal of Oceanography**, v. 55, n. 3, p.385- 394, 1999.

SMITH, T.M., REYNOLDS, R. W. Improved extended reconstruction of SST (1854-1997). **Journal of Climate**, v. 17, n. 12, p. 2466-2477, 2004.

TORRENCE, C.; COMPO, G.P. A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 1, p.61-78, 1998.

WALKER, G. T. Correlation in seasonal variations of weather, VIII. **Memoirs of the Indian Meteorological Department**, v. 24, n. 4, p. 75-131, 1923.

WALKER, G. T. World weather IX. **Memoirs of the Indian Meteorological Department**, v. 24, n. 9, p. 275-332, 1924.

WALKER, G. T. World weather II. **Memoirs of the Royal Meteorological Society**, v. 2, n. 17, p. 97-106, 1928.

WALKER, G.; T., BLISS E. W. World weather IV. **Memoirs of the Royal Meteorological Society**, v. 3, n. 24, p. 81-95, 1930.

WALKER, G.; T., BLISS E. W. World weather V. **Memoirs of the Royal Meteorological Society**, v. 4, n. 36, p. 53-84, 1932.

WALKER, G.; T., BLISS E. W. World weather VI. **Memoirs of the Royal Meteorological Society**, v. 4, n. 39, p.119-139, 1937.

WANG, B. Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades. **Journal of Climate**, v. 8, n. 2, p. 267-285, 1995.

WANG, C.; Picaut, J. Understanding ENSO physics—a review. In: Wang, C.; Xie, P.;Carton, J. A. (eds), **Earth's climate: the ocean atmosphere interaction**. AGU, v. 147, p. 21-48, AGU, Washington, Geophysical Monograph Series, 2004.

WANG, B.; WANG Y. Temporal structure of the southern oscillation as revealed by waveform and wavelet analysis. **Journal of Climate**, v. 9, n. 7, p. 1586-1598, 1996

WOLTER, K.; TIMLIN M.S. Measuring the strength of ENSO - how does 1997/98 rank? **Weather**, v. 53, p. 315-324, 1998.

<http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/mei.html>

XUE Y.; SMITH, T.M.; REYNOLDS, R.W. Interdecadal changes of 30-yr sst normals during 1871-2000. **Journal of Climate**, v.16, n. 10, p.1601-1612, 2003.

ZHANG, Y.; WALLACE, J. M.; BATTISTI, D. ENSO-Like interdecadal variability: 1900-93. **Journal of Climate**, v. 10, n. 5, p. 1004-1020, 1997.

## **PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE**

### **Teses e Dissertações (TDI)**

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

### **Manuais Técnicos (MAN)**

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

### **Notas Técnico-Científicas (NTC)**

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

### **Relatórios de Pesquisa (RPQ)**

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

### **Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)**

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

### **Publicações Didáticas (PUD)**

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

### **Publicações Seriadas**

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

### **Programas de Computador (PDC)**

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

### **Pré-publicações (PRE)**

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.