



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/09.19.19.14-TDI

**INFLUÊNCIA REMOTA DA TSM DOS OCEANOS  
PACÍFICO E ATLÂNTICO E DA OSCILAÇÃO  
ANTÁRTICA NA VARIABILIDADE CLIMÁTICA  
INTERANUAL NO RIO GRANDE DO SUL E SUAS  
INTER-RELAÇÕES**

Mári Ândrea Feldman Firpo

Tese de Doutorado do Curso de  
Pós-Graduação em Meteorologia,  
orientada pelo Dr. Clóvis Angeli  
Sansigolo, aprovada em 05 de ou-  
tubro de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CLLRCE>>

INPE  
São José dos Campos  
2012

**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) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):****Presidente:**

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

**Membros:**

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

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

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

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

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

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

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

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

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

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

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/09.19.19.14-TDI

**INFLUÊNCIA REMOTA DA TSM DOS OCEANOS  
PACÍFICO E ATLÂNTICO E DA OSCILAÇÃO  
ANTÁRTICA NA VARIABILIDADE CLIMÁTICA  
INTERANUAL NO RIO GRANDE DO SUL E SUAS  
INTER-RELAÇÕES**

Mári Ândrea Feldman Firpo

Tese de Doutorado do Curso de  
Pós-Graduação em Meteorologia,  
orientada pelo Dr. Clóvis Angeli  
Sansigolo, aprovada em 05 de ou-  
tubro de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CLLRCE>>

INPE  
São José dos Campos  
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

F519i Firpo, Mári Ândrea Feldman .  
Influência Remota da TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico e da Oscilação Antártica na Variabilidade Climática Interanual no Rio Grande do Sul e suas inter-relações / Mári Ândrea Feldman Firpo. – São José dos Campos : INPE, 2012.  
xxvii+200 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/09.19.19.14-TDI)

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

Orientador : Dr. Clóvis Angeli Sansigolo.

1. variabilidade climática. 2. El Niño/Oscilação Sul. 3. Oscilação Decenal do Pacífico. 4. Atlântico Sudoeste. 5. clima do Rio Grande do Sul I.Título.

CDU 551.58(816.5)

---

Copyright © 2012 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, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2012 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, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, 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 *Doutor(a)* em  
**Meteorologia**

Dr. Luciano Ponzi Pezzi



Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Clóvis Angeli Sansigolo



Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Nelson Jesuz Ferreira



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dra. Sâmia Regina Garcia Calheiros



Convidado(a) / UNIFEI / Itajubá - MG

Dra. Alice Marlene Grimm



Convidado(a) / UFPR / Curitiba - PR

**Este trabalho foi aprovado por:**

( ) maioria simples

(x) unanimidade

Aluno (a): **Mári Ândrea Feldman Firpo**

**São José dos Campos, 05 de Outubro de 2012**



*"Qualquer coisa que você faça será insignificante, mas é muito importante que você  
faça."  
Mahatma Gandhi*

*"No! Try not. Do, or do not. There is no try."  
Yoda*





*A meus pais, Marcos e Sara, e a meu irmão, Mário.*



## **AGRADECIMENTOS:**

A Deus e a Jesus, pela oportunidade e pelo voto de confiança; ao meu anjo da guarda pela paciência e pela proteção.

Ao meu orientador e professor, Clóvis, pela orientação efetiva, pelo muito que aprendi, pela parceria, pelos conselhos e por participar ativamente em todos os períodos do trabalho.

Ao André, por TUDO, especialmente pela força que me foi transmitida, nos melhores e piores momentos dessa jornada quase sem fim, que é o doutorado. Isso aliado à imprescindível contribuição técnica e científica. Sempre vou ser grata, meu amor.

A minha família, que mesmo distante, soube estar presente em todos os momentos. Nunca tive dúvida da confiança e do orgulho que sentem por mim, e isso me deu o ânimo e a perseverança necessários à realização deste trabalho.

A todos os amigos e colegas do PPGMet e outros cursos do INPE, pela alegria da convivência e pelas mais diversas contribuições, seja em estudos coletivos nas disciplinas, seja em discussões enriquecedoras em períodos de qualificação, proposta e defesa. Em especial, agradeço ao Vinícius e ao Denílson (ambos pela rica contribuição técnica e científica também), e ao Wendell, Glauber, Ericka, Cláudia, Tatiane, Virgínia, Theomar, Leonardo, Regla, Marcelo, Viviana, Liliam, Etienne, Rômulo, Helaine e Renata. Sem vocês, este trabalho não teria sido realizado com o mesmo entusiasmo.

À Pós-graduação em Meteorologia. A todos os professores, pelo aprendizado e, em especial, às secretárias, Simone, Luana e Lílian, e ao César, sempre prontos a auxiliar nas mais urgentes tarefas.

Aos professores membros da banca de proposta, Luciano e Nelson, pela participação, pelos conselhos e pelas sugestões. Agradeço, também, a eles e aos demais membros da banca de defesa, Alice e Sâmia, por aceitarem o convite e pelas contribuições dadas.

A todas as fontes que disponibilizaram os dados necessários à realização deste trabalho. Ao CNPq pela bolsa e a CAPES pelos auxílios dados no decorrer do doutorado.

A todos que de uma forma ou de outra colaboraram com este trabalho, muito obrigada!



## RESUMO

O presente trabalho investiga o impacto sazonal das anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Pacífico Equatorial (NINO3.4), Pacífico Sul (PS) e Atlântico Sudoeste (ATSW), além do índice de Oscilação Antártica (OA), na variabilidade interanual das temperaturas máximas e mínimas e das precipitações no Rio Grande do Sul (RS), considerando as fases da Oscilação Decenal do Pacífico (ODP). Examina-se também as inter-relações sazonais destes mesmos índices e se estes podem ser modulados pela ODP. O período analisado foi de 1900 a 2006, compreendendo duas fases negativas e duas positivas da ODP. Para tais análises, foram utilizadas correlações cruzadas totais e parciais, tabelas de contingência avaliadas pelo escore das características operacionais relativas (ROC), e seus resultados foram comparados considerando suas vantagens e limitações. Quanto à ocorrência dos eventos extremos de ENSO, ATSW, PS e OA, notou-se que a fase da ODP influencia na duração (NINO3.4, ATSW e OA) e na frequência (ATSW e OA) dos eventos, mas não na intensidade, e que o PS é o que sofre menor impacto da ODP. A análise de ondaletas cruzadas mostrou que ENOS e ODP interagem em todas as escalas de tempo. Todas as relações entre os índices foram afetadas pelas fases da ODP, seja na intensidade, na sazonalidade ou defasagem. Observou-se que, em geral, os impactos são mais fortes na fase negativa da ODP. Quanto aos impactos destes índices no clima do RS, observou-se que todos influenciam conjuntamente, com diferentes intensidades, defasagens, sazonalidade e de forma assimétrica, mas algumas combinações podem intensificar a ocorrência dos extremos de precipitação e de temperaturas máximas e mínimas. A combinação El Niño (La Niña), ATSW acima (abaixo) das normais, PS e OA abaixo (acima) das normais, no outono e inverno, é a que maximiza a ocorrência de precipitações acima (abaixo) das normais na primavera e no verão seguintes. No caso das temperaturas mínimas (máximas) abaixo (acima) das normais no outono e no inverno, a melhor combinação é La Niña (El Niño), ATSW abaixo (acima) das normais, PS e AO acima (abaixo das normais) na primavera e no verão antecedentes. Na fase negativa da ODP, as chances de ocorrência destes extremos aumentam para todas as combinações. No caso das temperaturas máximas, as relações ainda podem ser intensas na fase positiva da ODP, porém em diferentes épocas do ano (em geral nas estações quentes), e os sinais do ENOS e do PS se invertem, ocorrendo mais eventos extremos de temperaturas máximas associados às La Niñas e ao PS acima das normais. Estudos de caso para as principais combinações apresentam resultados coerentes com o esperado, mostrando que o método desenvolvido neste trabalho é eficaz e pode ser utilizado como uma ferramenta no auxílio às previsões climáticas sazonais.



**REMOTE INFLUENCE OF THE PACIFIC AND ATLANTIC SST AND  
ANTARCTIC OSCILLATION ON THE CLIMATE INTERANNUAL  
VARIABILITY OF RIO GRANDE DO SUL AND THEIR INTER-  
RELATIONSHIPS.**

**ABSTRACT**

The present study investigates the seasonal impact of Equatorial Pacific Sea Surface Temperature (SST) anomalies (NINO3.4), Southern Pacific (SP), Southwestern Atlantic (SWAT) and Antarctic Oscillation index (AO), on the interannual variability of precipitations, maximum and minimum temperatures in the Rio Grande do Sul (RS), and accounting for the phases of Pacific Decadal Oscillation (PDO). Seasonal inter-relationships between these indices are evaluated, as well as its possible modulation by PDO. The analyzed time period was from 1900 to 2006, including two negative and two positive phases of PDO. The following methodologies were used and compared for these analyses: Partial and total crossed correlations, contingency tables evaluated by the score of Relative Operational Characteristics (ROC), and cross wavelets. Regarding the ENSO, SWAT, SP and AO extreme occurrences, it was noted that PDO phase influences the event duration (NINO3.4, SWAT, and AO) and frequency (SWAT and AO), but not the intensity, and that the SP is the least impacted region. Moreover, cross wavelets analysis revealed that ENOS and PDO interact in all time scales. Actually, PDO phase affected all relations between the indices, even the intensity, seasonality or time lag. It was noted that the impact is more intense mostly on the negative phase of PDO. Regarding the impact in the RS climate, it was observed that all the indices have an influence in conjunction, differing in intensity, time lag, seasonality and often asymmetrically, but some combinations can intensify even more the extreme events in precipitation, maximum and minimum temperatures in the RS. It was found that, in autumn and winter, the combination of El Niño (La Niña), SWAT above (below) normal, SP and AO below (above) normal, are that maximizes the above (below) normal precipitation occurrences in the following spring and summer. For the occurrence of minimum (maximum) temperatures below (above) normal during autumn and winter, the best combination is La Niña (El Niño), SWAT below (above) normal, SP and AO above (below) normal in the previous spring and summer. During the negative phase of PDO, there are higher chances for all combinations for occurrence of such extreme events. In the positive phase of PDO intense impacts can still be found, particularly for the maximum temperatures, but it happens in warmer seasons (spring and summer) when the signals of ENOS and SP are inverted, accounting for a higher number of maximum temperature extremes associated to La Niña and SP above normal. Case studies for the main combinations presented coherent results as expected, showing the effectiveness of the method herein developed, creating good perspectives for its use as an auxiliary tool for climate seasonal forecasts.





## LISTA DE FIGURAS

		<u>Pág.</u>
Figura 3.1	Distribuição geográfica das Estações meteorológicas utilizadas no estudo sobre a topografia regional.....	23
Figura 3.2	Fases da Oscilação Decenal do Pacífico (ODP).....	26
Figura 3.3	Regiões selecionadas para o cálculo dos índices oceânicos NINO3.4, ATSW e PS a partir da média das TSM.....	26
Figura 3.4	Redução de tabela de contingência 3 x 3 em 3 tabelas 2 x 2.....	33
Figura 3.5	Exemplo de Diagrama ROC.....	33
Figura 3.6	Box-plots mensais da precipitação das 6 estações do estudo.....	37
Figura 3.7	Idem a Figura 3.6, mas para as temperaturas mínimas.....	37
Figura 3.8	Idem a Figura 3.6, mas para as temperaturas máximas.....	38
Figura 4.1	Séries temporais dos índices NINO3.4-Smith e do NINO3.4-B&C.....	41
Figura 4.2	Dispersão entre os índices NINO3.4-Smith e NINO 3.4-B&C.....	41
Figura 4.3	Resultados dos Testes de Sequencia, Mann-Kendall e Mann-Kendall Modificado, bem como as tendências e autocorrelação significativas, para as séries do índice do Niño 3.4 e ODP.....	43
Figura 4.4	Dispersão entre o IOS e os índices NINO3.4-Smith (a) e NINO3.4-Bunge (b).....	44
Figura 4.5	Coerência e Fase das ondaletas cruzadas entre IOS e os índices NINO3.4-Smith (a) e NINO3.4-Bunge (b).....	44
Figura 4.6	Espectro de Ondaletas da ODP (a), NINO3.4-Smith (b) e NINO3.4-Bunge (c).....	45
Figura 4.7	Ondaletas Coerência e fase entre ODP e ENSO utilizando-se os índices NINO3.4-Smith (a) e NINO3.4-B&C (b).....	47
Figura 4.8	Tendências para o período do estudo e tendências parciais para as fases da ODP das séries de ATSW (a), PS (b) e IOA (c) e a série da ODP, com suas fases representadas (d).....	49
Figura 4.9	Correlação entre ENOS e ATSW para a) período completo (1900-2009), b) fases negativas da ODP e c) fases positivas da ODP.....	55
Figura 4.10	Correlação entre ENOS e PS para a) período completo (1900-2009), b) fases negativas da ODP e c) fases positivas da	

	ODP.....	55
Figura 4.11	Correlação entre o PS e o ATSW para a) período completo (1900-2009), b) fases positivas da ODP e c) fases negativas da ODP.....	56
Figura 4.12	Correlação entre o ENOS e o IOA para a) período completo (1900-2009), b) fases negativas da ODP e c) fases positivas da ODP.....	57
Figura 4.13	Correlação entre o IOA e o ATSW para a) período completo (1900-2009), b) fases negativas da ODP e c) fases positivas da ODP.....	58
Figura 4.14	Correlação entre o IOA e o PS para a) período completo (1900-2009), b) fases negativas da ODP e c) fases positivas da ODP.....	58
Figura 4.15	Correlação entre a ODP e a) o ENSO, b) o IOA, c) o ATSW e d) o PS para o período completo (1900-2009).....	59
Figura 4.16	Correlação total do ENOS com ATSW e a parcial do ENOS com ATSW menos a influência da ODP.....	61
Figura 4.17	Correlação total da ODP com ATSW e a parcial da ODP com ATSW menos a influência do ENOS.....	61
Figura 4.18	Correlação total do ENOS com ATSW e a parcial do ENOS com ATSW menos a influência do PS.....	63
Figura 4.19	Correlação total do PS com ATSW e a parcial do PS com ATSW menos a influência do ENOS.....	63
Figura 4.20	Correlação total do ENOS com PS e a parcial do ENOS com PS menos a influência da ODP.....	64
Figura 4.21	Correlação total da ODP com PS e a parcial da ODP com PS menos a influência do ENOS.....	64
Figura 4.22	Correlação total do ENOS com IOA e a parcial do ENOS com IOA menos a influência da ODP.....	65
Figura 4.23	Correlação total da ODP com IOA e a parcial da ODP com IOA menos a influência do ENOS.....	66
Figura 4.24	Correlação total do ENOS com ATSW e a parcial do ENOS com ATSW menos a influência do IOA.....	66
Figura 4.25	Correlação total do IOA com ATSW e a parcial do IOA com ATSW menos a influência do ENOS.....	67
Figura 4.26	Correlação total do ENOS com PS e a parcial do ENOS com PS	

	menos a influência do IOA.....	67
Figura 4.27	Correlação total do IOA com ATSW e a parcial do IOA com ATSW menos a influência do PS.....	68
Figura 4.28	Correlação total do PS com ATSW e a parcial do PS com ATSW menos a influência do IOA.....	68
Figura 4.29	Escore ROC obtidos da análise de tabelas de contingência considerando-se o impacto da La Niña associado às TSM abaixo das normais do ATSW em DJF (a), do El Niño associado às TSM acima das normais do ATSW em DJF (b) da La Niña associado às TSM abaixo das normais do ATSW em MAM (c), do El Niño associado às TSM acima das normais do ATSW em MAM (d) simultâneos e defasados em até 12 meses.....	71
Figura 4.30	Idem a Figura 4.29, mas para JJA (a) e (b) e SON (c) e (d).....	72
Figura 4.31	Idem a Figura 4.29, considerando-se o impacto da La Niña associado às TSM do PS acima das normais em DJF (a), do El Niño associado às TSM do OS abaixo das normais em DJF (b) da La Niña associado às TSM do PS acima das normais em MAM (c), do El Niño associado às TSM do PS abaixo das normais em MAM (d) simultâneos e defasados em até 12 meses.....	72
Figura 4.32	Idem a Figura 4.31, mas para JJA (a) e (b) e SON (c) e (d).....	73
Figura 4.33	Idem a Figura 4.29, considerando-se o impacto do PS com TSM abaixo das normais associado às TSM do ATSW acima das normais em DJF (a), do PS com TSM acima das normais associado às TSM do ATSW abaixo das normais em DJF (b) do PS com TSM abaixo das normais associado às TSM do ATSW acima das normais em MAM (c), do PS com TSM acima das normais associado às TSM do ATSW abaixo das normais em MAM (d) simultâneos e defasados em até 12 meses.....	73
Figura 4.34	Idem a Figura 4.33, mas para JJA (a) e (b) e SON (c) e (d).....	74
Figura 4.35	Idem a Figura 4.29, considerando-se a relação da La Niña com a fase positiva do IOA em DJF (a), do El Niño com a fase negativa do IOA em DJF (b) da La Niña com a fase positiva do IOA em MAM (c), do El Niño com a fase negativa do IOA em MAM (d) simultâneos e defasados em até 12 meses.....	74
Figura 4.36	Idem a Figura 4.35, mas para JJA (a) e (b) e SON (c) e (d).....	75
Figura 4.37	Idem a Figura 4.29, considerando-se as relações entre a fase negativa do IOA com as TSM do ATSW acima das normais em DJF (a), do IOA na fase positiva com as TSM do ATSW abaixo das normais em DJF (b) do IOA na fase negativa com as TSM do	

	ATSW acima das normais em MAM (c), IOA na fase negativa com as TSM do ATSW abaixo das normais em MAM (d) simultâneos e defasados em até 12 meses.....	75
Figura 4.38	Idem a Figura 4.37, mas para JJA (a) e (b) e SON (c) e (d).....	76
Figura 4.39	Idem a Figura 4.29, considerando-se as relações do IOA na fase negativa com as TSM do PS abaixo das normais em DJF (a), do IOA na fase positiva com as TSM do PS acima das normais em DJF (b) do IOA na fase negativa com as TSM do PS abaixo das normais em MAM (c), IOA na fase positiva com as TSM do PS acima das normais em MAM (d) simultâneos e defasados em até 12 Meses.....	76
Figura 4.40	Idem a Figura 4.39, mas para JJA (a) e (b) e SON (c) e (d).....	77
Figura 4.41	Escores ROC obtidos da análise de tabelas de contingência considerando-se as relações entre a fase positiva da ODP com as TSM do ATSW e do Niño3.4 acima das normais, do PS e do IOA abaixo das normais em DJF (a), da fase negativa da ODP com TSM do ATSW e do ENOS abaixo das normais, do PS e do IOA acima das normais em DJF (b) do mesmo que (a), para MAM (c), mesmo que (b), para MAM (d) simultâneos e defasados em até 12 meses. As barras azuis escuras representam os impactos no ATSW, as azuis claras no ENOS, as amarelas no PS e as vermelhas, IOA.....	77
Figura 4.42	Idem a Figura 4.41, mas para JJA (a) e (b) e SON (c) e (d).....	78
Figura 4.43	Diagrama ROC para ENOS (preditor) e ATSW (previsto) em DJF (a), MAM (b), JJA (c) e SON (d).....	79
Figura 4.44	Diagrama ROC para ENOS (preditor) e PS (previsto) em DJF (a), MAM (b), JJA (c) e SON (d).....	80
Figura 4.45	Diagrama ROC para PS (preditor) e ATSW (previsto) em DJF (a), MAM (b), JJA (c) e SON (d).....	81
Figura 4.46	Diagrama ROC para ENOS (preditor) e IOA (previsto) em DJF (a), MAM (b), JJA (c) e SON (d).....	81
Figura 4.47	Diagrama ROC para IOA (preditor) e ATSW (previsto) em DJF (a), MAM (b), JJA (c) e SON (d).....	82
Figura 4.48	Diagrama ROC para IOA (preditor) e PS (previsto) em DJF (a), MAM (b), JJA (c) e SON (d).....	82
Figura 4.49	Diagrama ROC para ODP (preditor) e ENOS, ATSW, PS e IOA (previsto) em DJF (a), MAM (b), JJA (c) e SON (d).....	83
Figura 4.50	Coerência e Fase das ondaletas cruzadas entre o ENOS e o	

	ATSW.....	84
Figura 4.51	Idem a Figura 4.50, porém para ENOS e PS.....	85
Figura 4.52	Idem a Figura 4.50, porém para PS e ATSW.....	85
Figura 4.53	Idem a Figura 4.50, porém para ENOS e OA.....	86
Figura 4.54	Idem a Figura 4.50, porém para IOA e ATSW.....	86
Figura 4.55	Idem a Figura 4.50, porém para IOA e PS.....	87
Figura 4.56	Idem a Figura 4.50, porém para ODP e ATSW.....	87
Figura 4.57	Idem a Figura 4.50, porém para ODP e PS.....	88
Figura 4.58	Idem a Figura 4.50, porém para ODP e IOA.....	88
Figura 4.59	Séries de anomalias mensais padronizadas de precipitação de Bagé (a), Passo Fundo (b), Porto Alegre (c), Santa Maria (d), Santa Vitória do Palmar (e) e São Luiz Gonzaga (f).....	90
Figura 4.60	Gráficos de dispersão entre as séries de precipitação com menor (a), e maior coeficiente de correlação (b).....	91
Figura 4.61	Correlações sazonais entre o ENOS e as precipitações no RS (a), escores ROC entre La Niña e precipitações abaixo das normais (b) e escores ROC entre El Niño e precipitações acima das normais (c) para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, com defasagens de 0 a 6 meses.....	93
Figura 4.62	Correlações entre o ENOS e as precipitações no RS na fase negativa (a) e positiva (b) da ODP; Escores ROC entre La Niña e precipitações abaixo das normais na fase negativa (c) e positiva da ODP (d) e Escores ROC entre El Niño e precipitações acima das normais na fase negativa (e) e positiva (f) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	95
Figura 4.63	Escores ROC entre ATSW e precipitações abaixo da normal na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre ATSW e precipitações acima das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	97
Figura 4.64	Escores ROC entre PS abaixo das normais e precipitações acima das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escore ROC entre PS acima das normais e precipitações abaixo das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	98

Figura 4.65	Escores ROC entre IOA abaixo das normais e precipitações acima das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre IOA acima das normais e precipitações abaixo das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	100
Figura 4.66	Séries de anomalias mensais padronizadas de temperatura mínima de Bagé (a), Passo Fundo (b), Porto Alegre (c), Santa Maria (d), Santa Vitória do Palmar (e) e São Luiz Gonzaga (f).....	102
Figura 4.67	Gráficos de dispersão entre as séries de anomalias de temperaturas mínimas com menor (a), e maior coeficiente de correlação (b).....	104
Figura 4.68	Escores ROC entre La Niña e temperaturas mínimas abaixo das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre El Niño e temperaturas mínimas na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	105
Figura 4.69	Escores ROC entre ATSW e temperaturas mínimas abaixo das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre ATSW e temperaturas mínimas acima das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	106
Figura 4.70	Escores ROC entre as anomalias de TSM do PS abaixo das normais e temperaturas mínimas acima das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre as anomalias de TSM do PS acima das normais e temperaturas mínimas abaixo das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	107
Figura 4.71	Escores ROC entre o IOA abaixo das normais e temperaturas mínimas acima das normais na fase negativa (c) e positiva da ODP (d) e Escores ROC entre IOA acima das normais e temperaturas mínimas abaixo das normais na fase negativa (e) e positiva (f) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	108
Figura 4.72	Séries de anomalias mensais padronizadas de temperaturas máximas de Bagé (a), Passo Fundo (b), Porto Alegre (c), Santa Maria (d), Santa Vitória do Palmar (e) e São Luiz Gonzaga (f).....	110

Figura 4.73	Dispersões entre as séries de anomalias de temperaturas máximas com menor (a), e maior coeficiente de correlação (b).....	111
Figura 4.74	Escores ROC entre La Niña e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre El Niño e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	113
Figura 4.75	Escores ROC entre La Niña e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre El Niño e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	114
Figura 4.76	Escores ROC entre ATSW abaixo das normais e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre ATSW acima das normais e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	115
Figura 4.77	Escores ROC entre ATSW abaixo das normais e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre ATSW acima das normais e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	116
Figura 4.78	Escores ROC entre TSM do PS abaixo das normais e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre TSM do PS acima das normais e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	117
Figura 4.79	Escores ROC entre TSM do PS abaixo das normais e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre TSM do PS acima das normais e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	118

Figura 4.80	Escores ROC entre IOA abaixo das normais e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (c) e positiva da ODP (d) e Escores ROC entre IOA acima das normais e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (e) e positiva (f) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	119
Figura 4.81	Escores ROC entre IOA abaixo das normais e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre IOA acima das normais e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses.....	120
Figura 4.82	Espectro de ondaletas das anomalias de precipitação em Bagé (a), Passo fundo (b), Porto Alegre (c), Santa Maria (d), Santa Vitória do Palmar (e) e São Luiz Gonzaga (f).....	125
Figura 4.83	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ENOS e da Precipitação em Bagé de 1913 a 2006.....	126
Figura 4.84	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ENOS e da Precipitação em Passo Fundo de 1913 a 2006.....	126
Figura 4.85	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ATSW e da Precipitação em Bagé de 1913 a 2006.....	127
Figura 4.86	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ATSW e da Precipitação em Santa Maria de 1913 a 2006.....	128
Figura 4.87	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ATSW e da Precipitação em Passo Fundo de 1913 a 2006.....	128
Figura 4.88	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do PS e da Precipitação em Bagé de 1913 a 2006.....	129
Figura 4.89	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do PS e da Precipitação em Santa Vitória de 1913 a 2006.....	130
Figura 4.90	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do PS e da Precipitação em São Luiz Gonzaga de 1913 a 2006.....	130



Figura 4.91	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do IOA e da Precipitação em Bagé de 1913 a 2006.....	131
Figura 4.92	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do IOA e da Precipitação em Bagé de 1913 a 2006.....	132
Figura 4.93	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ODP e da Precipitação em Bagé de 1913 a 2006.....	133
Figura 4.94	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ODP e da Precipitação em Santa Maria de 1913 a 2006.....	133
Figura 4.95	Espectro de ondaletas das anomalias de temperaturas mínimas em Bagé (a), Passo fundo (b), Porto Alegre (c), Santa Maria (d), Santa Vitória do Palmar (e) e São Luiz Gonzaga (f).....	135
Figura 4.96	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ENOS e das Temperaturas Mínimas em Bagé de 1913 a 2006.....	136
Figura 4.97	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ENOS e das Temperaturas Mínimas em Passo Fundo de 1913 a 2006.....	136
Figura 4.98	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ATSW e das Temperaturas Mínimas em Bagé de 1913 a 2006.....	138
Figura 4.99	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ATSW e das Temperaturas Mínimas em Porto Alegre de 1913 a 2006.....	138
Figura 4.100	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do PS e das Temperaturas Mínimas em Porto Alegre de 1913 a 2006.....	139
Figura 4.101	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do PS e das Temperaturas Mínimas em Bagé de 1913 a 2006.....	139
Figura 4.102	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do IOA e das Temperaturas Mínimas em Passo Fundo de 1913 a 2006.....	140
Figura 4.103	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do IOA e das Temperaturas Mínimas em Santa	

	Vitória de 1913 a 2006.....	140
Figura 4.104	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas da ODP e das Temperaturas Mínimas em Bagé de 1913 a 2006.....	141
Figura 4.105	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas da ODP e das Temperaturas Mínimas em Porto Alegre de 1913 a 2006.....	141
Figura 4.106	Espectro de ondaletas das anomalias de temperaturas máximas em Bagé (a), Passo fundo (b), Porto Alegre (c), Santa Maria (d), Santa Vitória do Palmar (e) e São Luiz Gonzaga (f).....	143
Figura 4.107	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas da ENOS e das Temperaturas Máximas em Bagé de 1913 a 2006.....	144
Figura 4.108	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas da ENOS e das Temperaturas Máximas em Santa Vitória de 1913 a 2006.....	144
Figura 4.109	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ATSW e das Temperaturas Máximas em Santa Maria de 1913 a 2006.....	145
Figura 4.110	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do PS e das Temperaturas Máximas em Santa Vitória de 1913 a 2006.....	145
Figura 4.111	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do IOA e das Temperaturas Máximas em Passo Fundo de 1913 a 2006.....	146
Figura 4.112	Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do IOA e das Temperaturas Máximas em Porto Alegre de 1913 a 2006.....	147
Figura 4.113	Campos de anomalias mensais de pressão (hPa) de março de 1955 a novembro de 1956, período com precipitação abaixo das normais no RS.....	151
Figura 4.114	Campos mensais de anomalias (hachurado) e da magnitude do vento (m/s) em 200hPa, de março de 1955 a novembro de 1956, período com precipitação abaixo das normais.....	152
Figura 4.115	Campos mensais de linhas de corrente em 850hPa e anomalias de umidade específica (g/Kg) de março de 1955 a novembro de 1956, período com precipitação abaixo das normais.....	153
Figura 4.116	Campos de anomalias mensais da componente vertical do vento	

	$\omega$ (10 <sup>-2</sup> Pa/s), em 500hPa, de março de 1955 a novembro de 1956, período com precipitação abaixo das normais no RS.....	154
Figura 4.117	Campos de anomalias mensais de pressão (hPa) de junho de 1971 fevereiro de 1973, período com precipitação acima das normais no RS.....	157
Figura 4.118	Campos mensais de anomalias (hachurado) e da magnitude do vento (m/s) em 200hPa, de junho de 1971 fevereiro de 1973, período com precipitação acima das normais no RS.....	158
Figura 4.119	Campos mensais de linhas de corrente em 850hPa e anomalias de umidade específica (g/Kg) de junho de 1971 fevereiro de 1973, período com precipitação acima das normais no RS.....	159
Figura 4.120	Campos de anomalias mensais da componente vertical do vento $\omega$ (10 <sup>-2</sup> Pa/s), em 500hPa, de março de 1955 a novembro de 1956, período com precipitação abaixo das normais no RS.....	160
Figura 4.121	Campos de anomalias mensais de pressão (hPa) de setembro de 1954 a maio de 1957, período com temperaturas mínimas abaixo das normais no RS.....	163
Figura 4.122	Campos mensais de anomalias (hachurado) e da magnitude do vento (m/s) em 200hPa, de setembro de 1954 a maio de 1956, período com temperaturas mínimas abaixo das normais.....	164
Figura 4.123	Campos mensais de linhas de corrente em 850hPa e anomalias de temperatura (°C) de setembro de 1954 a maio de 1959, período com temperaturas mínimas abaixo das normais.....	165
Figura 4.124	Campos de anomalias mensais de pressão (hPa) de setembro de 1954 a maio de 1957, período com temperaturas mínimas abaixo das normais no RS.....	169
Figura 4.125	Campos mensais das anomalias (hachurado) e da magnitude do vento (m/s) em 200hPa, de dezembro de 1951 a agosto de 1953, período com temperaturas máximas acima das normais.....	170
Figura 4.126	Campos mensais de linhas de corrente em 850hPa e anomalias de temperatura (°C) de dezembro de 1951 a agosto de 1953, período com temperaturas máximas acima das normais.....	171



## LISTA DE TABELAS

		<u>Pág.</u>
Tabela 3.1	Tabela de Contingência 3 x 3.....	32
Tabela 4.1	Resultados dos Testes de Sequências e Mann-Kendall Modificado, bem como as tendências e autocorrelação significativas, para as séries do índice do Niño 3.4, IOS, ODP, ATSW, PS e IOA.....	42
Tabela 4.2	Início, fim, duração em meses, anomalias médias mensais e máximas dos eventos El Niño e La Niña entre 1900 e 2009.....	50
Tabela 4.3	Início, fim, duração em meses, anomalias médias mensais e máximas dos eventos de TSM do ATSW acima e abaixo das normais entre 1900 e 2009.....	52
Tabela 4.4	Início, fim, duração em meses, anomalias médias mensais e máximas dos eventos de TSM do PS acima e abaixo das normais entre 1900 e 2009.....	53
Tabela 4.5	Início, fim, duração em meses, anomalias médias mensais e máximas dos eventos de IOA acima e abaixo das normais entre 1900 e 2009.....	53
Tabela 4.6	Escore ROC para as tabelas de contingência que relacionam a ocorrência de eventos extremos de ENOS e anomalias de ATSW, PS e IOA com as fases da ODP.....	54
Tabela 4.7	Valores dos testes de Mann-Kendall, tendências lineares, teste de sequências, coeficientes de autocorrelação com defasagem de 1 mês para as séries de precipitação do RS.....	91
Tabela 4.8	Correlações amostrais entre as séries de precipitação no Rio Grande do Sul.....	91
Tabela 4.9	Valores dos testes de Mann-Kendall, tendências lineares, teste de sequências, coeficientes de autocorrelação com defasagem de 1 mês para as séries de temperatura mínima do RS.....	103
Tabela 4.10	Correlações amostrais entre as séries de anomalias temperaturas mínimas no Rio Grande do Sul.....	103
Tabela 4.11	Valores dos testes de Mann-Kendall, tendências lineares, teste de sequências, coeficientes de autocorrelação com defasagem de 1 mês para as séries de temperatura máximas.....	111
Tabela 4.12	Correlações amostrais entre as séries de anomalias temperaturas máximas no Rio Grande do Sul.....	111
Tabela 4.13	Resumo dos resultados do item 4.2.1.....	121
Tabela 4.14	Resumo dos resultados do item 4.2.2.....	122

Tabela 4.15	Resumo dos resultados do item 4.2.3.....	123
Tabela 4.16	Anomalias normalizadas de cada índice estudado e da precipitação média no RS.....	148
Tabela 4.17	Anomalias normalizadas de cada índice estudado e da precipitação média no RS.....	155
Tabela 4.18	Anomalias normalizadas de cada índice estudado e da temperatura mínima no RS.....	161
Tabela 4.19	Anomalias normalizadas de cada índice estudado e da temperatura máxima no RS.....	166

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ATSW	Atlântico Sudoeste
BAG	Bagé
CLAM	Camada Limite Atmosférica Marinha
CLO	Camada Limite Oceânica
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DJF	Dezembro, janeiro e fevereiro
ENOS	El Niño/Oscilação Sul
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOA	Índice de Oscilação Antártica
IOS	Índice de Oscilação Sul
IPCC	Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas
IRI	International Research Institute for Climate and Society
JJA	Junho, julho e agosto
MAM	Março, abril e maio
MEI	Índice do ENOS Multivariado
NINO3.4	Niño 3.4
NINO3.4-B&C	Índice do Niño 3.4 calculado através dos dados de Bunge e Clarke
NINO3.4-Smith	Índice do Niño 3.4 calculado através dos dados de Smith
NOOA	National Centers for Environmental Prediction
AO	Oscilação Antártica
ODP	Oscilação Decenal do Pacífico
PFU	Passo Fundo
POA	Porto Alegre
PS	Pacífico Sul
PSA	Pacific South America
PNM	Pressão ao Nível do Mar

RS	Rio Grande do Sul
SLG	São Luíz Gonzaga
SMA	Santa Maria
SON	Setembro, outubro e novembro
SSA	Atlântico Subtropical Sudoeste
SVP	Santa Vitória do Palmar
SVD	Decomposição de valor singular
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCPS	Zona de Convergência do Pacífico Sul



## LISTA DE SÍMBOLOS

°	Grau
m	Metro
$\omega$	Velocidade vertical (ômega)
%	Por cento
E	Leste
W	Oeste
N	Norte
S	Sul
hPa	Hecto Pascal
u	Componente zonal do vento horizontal
v	Componente meridional do vento horizontal
R	Coefficiente de correlação linear
$\sigma$	Desvio Padrão
$\Psi$	Ondaleta de Morlet
W	Transformada de ondaletas
$R^2$	Coerência quadrática de ondaletas
$\square$	Diferença de fase de ondaletas



## SUMÁRIO

	<b><u>Pág.</u></b>
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Clima do RS.....	5
2.2 Variabilidades das TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico e suas influências no clima do RS.....	6
2.2.1 El Niño/Oscilação Sul (ENOS).....	6
2.2.2 Impacto do ENOS no RS e seus mecanismos.....	8
2.2.3 Oscilação Decenal do Pacífico (ODP).....	14
2.2.4 Atlântico Subtropical (ATSW): Relações com o Pacífico e com o clima do RS.....	16
2.3 Índice de Oscilação Antártica (IOA).....	19
3 DADOS E METODOLOGIA.....	23
3.1 Dados.....	23
3.2 Metodologia.....	24
3.2.1 Definição dos índices de TSM.....	24
3.2.2 Análise de tendências nos índices de TSM.....	27
3.2.3 Relações de dependência entre os padrões de TSM.....	29
3.2.3.1 Correlações Simples.....	29
3.2.3.2 Tabelas de Contingência.....	31
3.2.3.3 Ondaletas Coerência e Fase.....	34
3.2.4 Avaliação e tratamento dos dados de Precipitação e de Temperaturas Mínimas e Máximas.....	35
3.2.5 Precipitação, Temperaturas Mínima e Máxima.....	36
3.2.6 Relações de cada padrão de TSM e do IOA com as temperaturas máximas e mínimas e precipitação no Rio Grande do Sul.....	38
3.2.7 Estudos de Casos.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
4.1 Parte 1 - Interações entre os índices de TSM.....	41
4.1.1 Escolha do Índice Niño 3.4.....	41
4.1.2 Climatologia e tendências dos índices de TSM e do IOA.....	48
4.1.3 Correlações entre os índices de TSM do Atlântico e Pacífico, IOA e ODP.....	54
4.1.3.1 Correlações Totais.....	54

4.1.3.2 Correlações Parciais.....	60
4.1.4 Tabelas de Contingência.....	69
4.1.4.1 Tabelas de Contingência pelo Escore ROC.....	69
4.1.4.2 Tabelas de Contingência pelo diagrama ROC.....	78
4.1.5 Ondaletas Coerência e Fase.....	84
4.2 Parte 2 - Impacto das TSM do Pacífico e do Atlântico e da Oscilação Antártica nas precipitações e temperaturas máximas e mínimas do RS.....	89
4.2.1 Relações entre os índices de TSM do Pacífico e do Atlântico e do IOA e a precipitação no RS, usando tabelas de contingência.....	89
4.2.2 Relações entre os índices de TSM do Pacífico e do Atlântico e do IOA e as temperaturas mínimas no RS, usando tabelas de contingência.....	101
4.2.3 Relações entre os índices de TSM do Pacífico e do Atlântico e do IOA e as temperaturas máximas no RS, usando tabelas de contingência.....	109
4.2.4 Variabilidade da Precipitação no RS e sua relação com a variabilidade do Pacífico, Atlântico e IOA, usando ondaletas.....	124
4.2.5 Variabilidade das Temperaturas Mínimas no RS e sua relação com a variabilidade do Pacífico, Atlântico e IOA, usando ondaletas.....	134
4.2.6 Variabilidade das Temperaturas Máximas no RS e sua relação com a variabilidade do Pacífico, Atlântico e IOA, usando ondaletas.....	142
4.3 Parte 3 – Estudo de Casos.....	148
4.3.1 1º Caso: Precipitação abaixo das normais.....	148
4.3.2 2º Caso: Precipitação acima das normais.....	155
4.3.3 3º Caso: Temperaturas Mínimas abaixo das normais.....	161
4.3.4 4º Caso: Temperaturas Máximas acima das normais.....	166
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	173
6 CONCLUSÃO.....	179
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	181
APÊNDICE A – Ondaletas coerência e fase.....	193

## 1 INTRODUÇÃO

A precipitação e as temperaturas máxima e mínima do ar destacam-se como elementos climatológicos importantes para as atividades humanas, visto que são preponderantes para tomada de decisões em diversos setores da sociedade. Um exemplo está na agricultura, onde o cultivo de determinados plantios depende fortemente de planejamento. Trabalhos como os de Mota (2000) e Baptista e Berlato (2004) enfatizam essa influência direta de valores definidos de temperatura e precipitação no rendimento de determinados cultivares agrícolas no Rio Grande do Sul (RS), onde a economia depende muito da agricultura. Mas o monitoramento do clima também é importante em outros setores, como geração de energia, saúde, defesa civil, ambiental, etc., especialmente num estado como o RS, onde a população seguidamente sofre com a ocorrência de extremos, tanto de temperatura como de precipitação.

Uma das escalas de variabilidade mais importantes, neste contexto, é a interanual. A maior parte da variabilidade interanual da atmosfera está relacionada aos oceanos tropicais, e o mais importante modo de variabilidade interanual do sistema oceano-atmosfera é o El Niño/Oscilação Sul – ENOS (KILADIS; MO, 1998). Os efeitos do fenômeno ENOS são observados em escala global e alteram principalmente o regime pluviométrico e térmico em diversas regiões do mundo (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; KILADIS; DIAZ, 1989), incluindo o RS, com um forte sinal.

Apesar de existirem diversos trabalhos sobre este assunto, a questão da variabilidade do ENOS ainda permanece como um desafio para os modelos climáticos. Joseph e Nigam (2006) afirmam que, ainda hoje, nenhum modelo climático do IPCC simula realisticamente o ENOS e seus impactos nas diversas partes do globo.

Além disso, deve-se considerar que o ENOS pode ser modulado por padrões climáticos de baixa frequência (ANDREOLI; KAYANO, 2005). Em meados da década de 90, pesquisadores identificaram e descreveram um padrão dominante de variabilidade decenal sobre o Pacífico, relacionado temporal e espacialmente ao ENOS (ZHANG et al., 1997), denominado Oscilação Decenal do Pacífico (ODP) (MANTUA et al., 1997). Atualmente, diversos estudos têm tentado determinar o efeito da ODP sobre o ENOS,

mas os resultados foram algumas vezes discordantes e inconclusivos. O que se sabe, é que ambos os padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) interagem em todas as escalas de tempo, e não podem ser considerados independentemente (NEWMAN et al., 2003).

Concomitantemente, outros padrões de TSM também afetam a variabilidade climática no Rio Grande do Sul. Nesse contexto, ressalta-se a importância do Atlântico, em especial o Atlântico Sudoeste, que se destaca pela proximidade com o Estado, banhando sua costa leste e sendo rota de sistemas transientes que o atingem (PEZZI et al., 2009). Também se configura como uma das zonas mais energéticas dos oceanos (PEZZI; SOUZA, 2009) por ser onde ocorre a confluência Brasil-Malvinas (GORDON, 1989), por ser uma região ciclogênica (GAN; RAO, 1991) e pela presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (KOUSKY, 1988). Além disso, já existem trabalhos que evidenciam a interação entre esse padrão e o ENOS (GRIMM; TOGATLIAN, 2002; ACEITUNO, 1988; SEVEROV et al. 2004) e também dele com o clima no Rio Grande do Sul (KAYANO; SANSIGOLO, 2008; STUDZINSKI; DIAZ, 1994; DIAZ et al., 1998).

Recentemente, passou-se a discutir a influência da Oscilação Antártica (OA) no clima de diversas regiões do Hemisfério Sul (SILVESTRI; VERA, 2003; GILLET et al., 2006, RENWICK e THOMPSON, 2006; HENDON et al.; 2006; REASON; ROUAULT, 2005). Esta Oscilação está associada à alteração das trajetórias de ciclones e modificação da intensidade da atividade frontogênica no sudeste da América do Sul, afetando, assim, os regimes de precipitação nesta região (REBOITA et al., 2009), que inclui o RS.

Dadas estas informações, torna-se necessário um estudo que aborde, localmente para o Rio Grande do Sul, como estes padrões oceânicos e atmosféricos sazonais supracitados se inter-relacionam, impactando a variabilidade climática no Estado. Esta abordagem mais abrangente deve considerar como se dão estas interações, em quais fases dos diferentes eventos, com que defasagens, em que época do ano e em qual região do Estado. Essa compreensão mais apurada visa prover melhores subsídios ao

monitoramento e à previsão climática sazonal no RS, e também pode ser estendida às demais regiões do país. A hipótese deste trabalho é que as TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico e a Oscilação Antártica influenciam as precipitações, temperaturas máximas e temperaturas mínimas no RS de forma combinada, sendo que essas relações são mais fortes para determinadas épocas do ano, fases dos eventos, fases da ODP e defasagens.

Assim, a partir dessas motivações, o objetivo geral desse trabalho é estudar a variabilidade climática interanual das temperaturas máximas, mínimas e das precipitações sazonais no Rio Grande do Sul, associadas às variabilidades inter-relacionadas das anomalias de TSM no Pacífico Equatorial, Pacífico Sul e Atlântico Sudoeste e a Oscilação Antártica, modulados pelo padrão decenal do Pacífico Norte (a ODP).

Os objetivos específicos são:

- Analisar as inter-relações entre os principais padrões mensais e sazonais de variabilidade das anomalias de TSM dos oceanos Pacífico Equatorial, Pacífico Sul e Atlântico Sudoeste, além da OA, e verificar como a ODP modula as anomalias de TSM do Pacífico Equatorial, Pacífico Sul e Atlântico Sudoeste e a OA;
- Investigar a influência dos padrões de anomalia sazonal de TSM no Pacífico Equatorial, Pacífico Sul e Atlântico Sudoeste e da OA na variabilidade sazonal das temperaturas máximas, mínimas e precipitações no Rio Grande do Sul, simultaneamente e defasadas;
- Comparar os resultados obtidos com diferentes metodologias: Correlações Cruzadas, Tabelas de contingência e ondaletas, considerando as suas vantagens, desvantagens e complementaridades, para uma melhor compreensão da variabilidade climática das temperaturas máximas e mínimas e das precipitações no Rio Grande do Sul (levando-se em conta a interação dos diferentes padrões de variabilidade das anomalias de TSM no Pacífico Equatorial, Pacífico Sul e Atlântico Sudoeste e a OA).





## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Clima do Rio Grande do Sul**

O estado do Rio Grande do Sul (RS) faz parte da Região Sul do Brasil e localiza-se na área de transição entre os trópicos e latitudes médias. Possui um relevo variado que contribui para os contrastes existentes nos regimes de precipitação e temperatura. Apresenta grande amplitude térmica anual se comparada às demais regiões do Brasil, devido à maior diferença entre a radiação solar recebida no verão e no inverno nas latitudes mais altas. O regime sazonal de temperatura é caracterizado por verões quentes e invernos frios, sendo influenciado predominantemente por sistemas atmosféricos de latitudes médias e altas (ANDRADE, 1972), além de fatores como relevo, continentalidade e maritimidade (NIMER, 1989). É válido ressaltar que temperaturas máximas e mínimas comportam-se de maneiras diferentes e as temperaturas médias mascaram estas diferenças. Firpo et al. (2012), por exemplo, mostram que existem diferenças nas variabilidades sazonais das ondas de frio e de calor no RS.

O regime pluviométrico do RS é aproximadamente uniforme, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, levemente mais fortes no inverno. Os principais mecanismos que regulam as precipitações no RS são: os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), especialmente nas estações de transição (VELASCO; FRITSCH, 1987; GRIMM, 2009) e as frentes frias, que incursionam a Região Sul do Brasil o ano inteiro, porém com maior frequência de maio a setembro, e menor no verão austral (CAVALCANTI; KOUSKY, 2003). Por consequência, estes mesmos mecanismos também influenciam as temperaturas.

Os CCM são aglomerados organizados de nuvens convectivas, definidos pela primeira vez por Maddox (1980). Em um trabalho pioneiro, Velasco e Fritsch (1987) identificaram a região sudeste da América do Sul como uma das que são mais influenciadas por esse tipo de formação. O motivo seria a associação do Jato Subtropical de oeste em altos níveis (com ar frio e seco), com o Jato de baixos níveis da América do Sul (ar quente e úmido), provocando instabilidade térmica que levaria à formação do CCM (UCCELLINI e JOHNSON, 1979; SEVERO et al., 1994). Guedes e

Silva Dias (1984) mostraram que, comumente, os CCM que se formam nesta região preferencial atingem o estado do RS.

A trajetória típica de sistemas frontais é dada pelo avanço da frente fria sobre o continente (sentido sudoeste-nordeste), provocando redução da pressão e aumento da temperatura na vanguarda. Durante a sua passagem sobre a América do Sul, as frentes frias estão intimamente relacionadas com a intensificação e distribuição das chuvas nessa região (CAVALCANTI; KOUSKY, 2003). Após sua passagem, a pressão aumenta e a temperatura diminui devido à penetração do ar frio do centro de alta pressão situado na retaguarda da frente (CAVALCANTI; KOUSKY, 2003). Andrade (2005) identificou as principais condições responsáveis pelo deslocamento das frentes, e entre estas está a intensidade e o posicionamento do jato subtropical. No inverno, devido à intensificação das ondas baroclínicas nos ventos de oeste, há aumento da atividade ciclogénica no RS e também mais incursões de frentes (GRIMM, 2009).

Segundo Viana (2009), dependendo da estação do ano, os sistemas atmosféricos que atuam na Região Sul do Brasil são diferentes, regulando o regime de precipitação: Nos meses mais quentes, são os CCM que atuam, isolados ou associados às frentes; no inverno, devido ao surgimento de bloqueios atmosféricos, as frentes frias permanecem estacionárias na região, causando as chuvas; e os ciclones extratropicais atuam nas estações de transição e no inverno, associados às frentes.

## **2.2 Variabilidades das TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico e suas influências no clima do RS**

### **2.2.1 El Niño/ Oscilação Sul (ENOS)**

A condição média do Oceano Pacífico Equatorial indica que, em geral, este apresenta águas mais quentes na parte oeste e mais frias no setor leste. Isso porque, normalmente, a circulação observada sobre o oceano Pacífico Equatorial caracteriza-se por ventos de leste (alísios), que “empilham” a água superficial mais aquecida para esta direção, e a depressão no Pacífico leste promove a inclinação da termoclina, causando ressurgência de águas frias e com nutrientes a oeste da América do Sul. Na porção oeste, devido ao

aquecimento, surge uma região de baixa pressão, com movimentos ascendentes, ao contrário do que ocorre a leste, onde por causa do esfriamento, há maior pressão e movimentos descendentes, formando-se uma célula de circulação, conhecida por Célula de Walker (WALKER, 1924).

Quanto há enfraquecimento dos ventos alísios (e posterior inversão), ocorre o empilhamento das águas superficiais mais quentes no Pacífico central e leste, que causa o aprofundamento da termoclina e, na atmosfera, divisão da célula de Walker, com ramo ascendente e conseqüente baixa pressão a oeste da América do Sul (latitude equatorial). A este fenômeno, foi dado o nome El Niño (PHILANDER, 1985).

Como este mecanismo apresenta acoplamento entre o oceano e a atmosfera, pode ser acompanhado através da observação de um ou de outro. A Oscilação Sul representa a componente atmosférica e o Índice de Oscilação Sul (IOS) é utilizado no monitoramento desta componente, sendo definido como a diferença entre os desvios normalizados da pressão na superfície entre as regiões do Oceano Pacífico: Taiti na Polinésia Francesa (17,5°S; 149,6°W), e Darwin, no norte da Austrália (12,4°S; 130,9°E). Já o El Niño, representa a contrapartida oceânica do fenômeno, monitorado principalmente através das TSM em regiões definidas ao longo do Oceano Pacífico equatorial. Essas regiões foram selecionadas, inicialmente, no início dos anos 1980, sendo em número de quatro: Região do Niño 1 (80°-90°W; 5°-10°S); do Niño 2 (80°-90°W; 0°-5°S); do Niño 3 (90°-150°W; 5°N-5°S) e do Niño 4 (150°-160°W; 5°N-5°S). Após essas definições, estudos surgiram no sentido de escolher regiões que melhor representassem o fenômeno do El Niño. As regiões do Niño 1 e 2 foram mescladas (Niño 1+2) e uma nova região foi apresentada em abril de 1996 pelo Centro de previsões Climáticas do NOAA (National Centers for Environmental Prediction), a Niño 3.4 (120°-150°W; 5°N-5°S), por estar mais bem correlacionada com o índice de oscilação Sul (<http://www.srh.noaa.gov/jetstream/tropics/enso.htm>).

Segundo Philander (1990) as fases extremas do ciclo do ENOS são comumente chamadas El Niño e La Niña. No caso do El Niño, tem-se IOS negativo e anomalias de

TSM no pacífico equatorial positiva (fase quente) e no caso de La Niña, o IOS é positivo e a anomalia de TSM é negativa (fase fria).

Atualmente ainda discute-se qual a melhor forma de caracterizarem-se os diferentes eventos ENOS, canônicos ou não, e nessa tentativa surgiram outros tipos de índices como o MEI (Índice do ENOS Multivariado) e o do El Niño Modoki. O primeiro é baseado em seis variáveis principais observadas sobre o Pacífico Tropical: a Pressão ao Nível do Mar, componentes zonal e meridional do vento à superfície, TSM, temperatura à superfície e a fração total de nebulosidade no céu (WOLTER, 1987). O El Niño Modoki é caracterizado por anomalias positivas de TSM do Pacífico Equatorial Central e negativas no Pacífico Equatorial Leste e Oeste (ASHOK et al., 2007). Mas segundo Lopes et al. (2007), o MEI não melhora a correlação com a precipitação nas regiões homogêneas do RS quando comparado aos eventos obtidos a partir das regiões do Niño 3 e Niño 3.4; já Tedeschi et al. (2012) mostraram que as relações encontradas entre o El Niño Canônico e a precipitação no RS (El Niño induz aumento na precipitação e La Niña, diminuição), nem sempre são encontradas e às vezes são inversas quando considerado o El Niño Modoki.

Do ponto de vista da previsão climática e monitoramento, a região do Niño 3.4 é um dos melhores índices para o ENOS, uma vez que é a mais bem correlacionada com o IOS. Porém, trabalhos mais recentes mostraram que as séries do índice de TSM do Niño 3.4 comumente utilizadas para monitorar o ENOS, em sua maioria, mostram problemas em representar as relações nas baixas frequências, especialmente no período anterior a 1950 (NEWMAN et al., 2003; BUNGE; CLARKE, 2009). Como os dados da série do Niño 3.4 anteriores a 1950 apresentam correlação baixa com o índice de Oscilação Sul, Bunge & Clarke (2009) tentaram corrigir esta incoerência física propondo uma reconstrução das séries temporais de El Niño 3.4 e IOS.

### **2.2.2 Impacto do Pacífico (ENOS e Pacífico Sul) no RS e seus mecanismos**

A ocorrência de eventos ENOS produz mudanças na circulação atmosférica e oceânica, gerando condições anômalas que afetam o clima de diversas regiões do mundo. A Região Sul do Brasil pertence à região sudeste da América do Sul (juntamente com o

nordeste da Argentina, Uruguai e Sul do Paraguai), que apresenta forte sinal do fenômeno ENOS (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; STUDZINKI; DIAZ, 1994).

O impacto do ENOS no clima na Região Sul e proximidades foi objeto de alguns estudos, que por vezes apresentaram resultados discordantes. Quanto ao efeito sobre a temperatura do ar, Halpert e Ropelewski (1992) observaram que alterações em seu comportamento estão associadas ao ENOS no Sul do Brasil, de forma tal que as temperaturas ficam acima da média de maio do ano antecedente a abril do ano de El Niño e abaixo de outubro do ano antecedente a maio do ano de La Niña. Puchalski (2000) mostrou que em anos de La Niña a temperatura média é inferior à normal, em praticamente todos os meses do ano. Já Barros et al. (2002) mostraram que, apesar das relações serem mais fracas do que para as precipitações, as temperaturas no oeste da região sudeste da América do Sul (que engloba grande parte do RS) também apresentaram-se relacionadas significativamente com os eventos de El Niño (anomalias positivas) e La Niña (anomalias negativas) durante o inverno do ano do evento (compostos para o período entre 1963 e 1990). Posteriormente, Lopes e Berlato (2003) constataram que esse efeito sobre a temperatura média no RS ocorre como consequência da diminuição da temperatura mínima em todos os meses do ano, mas com maior intensidade nos meses de outubro e novembro. Em condições de El Niño os efeitos associados são aproximadamente inversos. Neste trabalho, foi observado que as La Niñas estão associadas com temperaturas mínimas abaixo das normais na Primavera e início do Verão, enquanto os El Niños com mínimas acima das normais no Outono e início da Primavera.

Rusticucci e Vargas (2001) analisaram o efeito do El Niño na ocorrência das ondas extremas de temperatura sobre a Argentina, e apontam que as ondas de calor no inverno são mais persistentes no ano de El Niño e mais intensas no inverno seguinte. Já nos meses mais quentes, estas ondas se apresentam mais intensas quando ocorre La Niña. Quanto às ondas de frio que alcançam o norte do país, estas são mais persistentes em meses de La Niña, com o risco das massas de ar frio alcançarem latitudes menores nesta fase do ENOS. Analisando a variabilidade das anomalias de temperaturas extremas (mínimas e máximas) sobre a Argentina, Rusticucci e Vargas (2001) também

observaram que esta apresenta duas escalas: uma bianual e outra com uma frequência maior que 10 anos, o que é mais notável no verão do que no inverno, e na intensidade das ondas do que na sua persistência.

De acordo com Bidegain e Renom (2002), o ENOS influencia mais as localidades uruguaias que são continentais. Ainda, constataram que na fase fria as temperaturas mínimas são menores que as normais e que as máximas são maiores que o esperado, isto é, há maior amplitude térmica, enquanto que na fase quente a amplitude térmica diária é menor.

A relação entre os eventos El Niño e La Niña e os extremos de frio e calor no Cone Sul da América do Sul são discutidos por Grimm e Togatlian (2002). Neste trabalho, eles concluíram que o aumento da frequência de eventos severos frios durante La Niña é maior do que a diminuição de eventos severos quentes; assim como o aumento da frequência de eventos severos quentes durante El Niño é maior que a diminuição de eventos severos frios; ou seja, estes eventos contribuem para aumentar as variações da temperatura diária.

Ao analisarem o impacto sazonal dos eventos extremos de ENOS nas temperaturas médias do Rio Grande do Sul, Sansigolo et al. (2006) constataram que eventos de La Niña tiveram impacto significativo nas temperaturas médias abaixo das normais nas suas fases de desenvolvimento (primavera) e decaimento (outono). Eventos de El Niño associados a temperaturas acima das normais só estiveram significativamente relacionados com as temperaturas médias do inverno. Eles obtiveram, ainda, que o menor impacto de ambos os eventos se dá nas suas fases maduras (verão) e que no inverno a ocorrência de ambos os eventos influencia toda a região. Firpo et al. (2012) mostraram que ondas de calor no RS estão mais relacionadas com o El Niño no mês de Julho, e as de frio com a La Niña, em abril.

Quanto à influência do ENOS nas precipitações, existem numerosos estudos na Região Sul do Brasil. Além disso, eles são mais conclusivos, visto que as precipitações são mais diretamente afetadas pelos padrões de circulação e pelas incursões de transientes na Região, diferente das temperaturas que também sofrem com esses regimes, mas tem

uma variabilidade intrassazonal mais contrastante. Predominantemente, estes estudos indicam que há precipitação acima (abaixo) do esperado na Região Sul do Brasil perante a ocorrência da fase quente (fria) do ENOS, ou seja, o El Niño (La Niña) (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; RAO; HADA, 1990; FONTANA; BERLATO, 1997; DIAZ et al., 1998, GRIMM et al. 1998, PUCHALSKI, 2000, SANSIGOLO et al., 2004). Porém, apesar das conclusões serem semelhantes, não há acordo quanto ao período anual onde ocorrem os maiores impactos do ENOS nesta variável.

Ropelewski e Halpert (1987) observaram, através de análise de compostos de ENOS e precipitação na região Sudeste da América do Sul (Sul do Brasil, Uruguai e nordeste da Argentina), uma clara tendência de aumento da precipitação no período de novembro do ano de ocorrência do El Niño até fevereiro do ano seguinte. Rao e Hada (1990) notaram que a correlação entre as precipitações da primavera no Rio Grande do Sul e o IOS da mesma ou da estação do ano que a antecede é significativamente alta. Fontana e Berlato (1997) constataram que a influência do ENOS sobre as precipitações é mais intensa no oeste do RS, nos meses de outubro e novembro, meses em que se faz necessário razoável suprimento hídrico para o estabelecimento das culturas de primavera-verão. Cazes-Boezio et al. (2003), semelhantemente, encontraram maior impacto do ENOS nas precipitações do Uruguai durante a primavera (OND), sendo inexistente no verão (JF) e voltando, mas fraca, no outono e no inverno (MAMJJ). Diaz et al. (1998) mostraram relação entre ENOS e anomalias de precipitação no Uruguai durante fim de primavera-início do verão e fim do outono-início do inverno. Grimm et al. (1998) encontraram anomalias de precipitação do Rio Grande do Sul mais fortemente relacionadas com ENOS do que localidades da Argentina e Uruguai. As anomalias positivas (negativas) ocorreram durante a primavera do ano do evento quente (frio), com pico em novembro, para ambos os casos. A parte sudeste do Estado também mostrou tendência de aumento nas precipitações no inverno seguinte ao evento quente. Houve também, tendência de secas no ano anterior ao do evento quente. Sansigolo et al. (2004), usando tabelas de contingência, encontrou maior influência do El Niño (La Niña) nas precipitações acima (abaixo) das normais no 4º trimestre do ano, tanto simultaneamente quanto com defasagens de 1 a 6 meses, sendo que para o 3º trimestre os escores só foram

significativos para El Niño e precipitações acima das normais, de forma simultânea e defasada de 1 a 3 meses.

Quanto aos mecanismos, Arkin (1982) sugeriu que anomalias de TSM associadas ao ENOS induzem uma intensificação da corrente de jato em ambos os hemisférios, tendo influência nos padrões mensais e sazonais de precipitação e temperatura em várias regiões do globo. Uma das explicações para que isso ocorra está, provavelmente, nas conexões existentes entre as células de Walker e de Hadley com o ENOS, encontradas por Wang (2002). Na fase quente do ENOS, a circulação de Walker é enfraquecida e a célula de Hadley anômala no Pacífico leste configura-se contrária à do Pacífico oeste. Esses resultados convergem com o encontrado anteriormente por Bjerknes (1966) em seu trabalho pioneiro, onde se notou que na fase quente do ENOS, um aumento da circulação de Hadley, conduzida por forte convecção sobre o Pacífico Central, pode manter um forte jato subtropical pela transferência de fluxo meridional de momentum. Rao e Hada (1990) sugeriram que na fase negativa da Oscilação Sul, o fortalecimento da circulação de Hadley mantém o jato subtropical mais forte. Esta situação do escoamento em altitude mantém os sistemas frontais no sul do Brasil. Segundo Grimm (2003), episódios de El Niño onde o gradiente latitudinal de TSM foi fraco não produziram impacto significativo no sudeste da América do Sul. Isso porque esse gradiente fortalece o jato subtropical e favorece a propagação das ondas de Rossby do Pacífico Tropical leste em direção a essa Região.

Müller (2005) notou que uma maior frequência de geadas no Pampa Úmido Argentino é observada concomitantemente com a intensificação do jato subtropical sobre a América do Sul. Isso é atribuído ao mecanismo de teleconexão trópico-extratropical dado por uma amplificação do gradiente de pressão na Região, devido a uma maior atividade das Ondas de Rossby (MÜLLER et al. 2005).

Ao compararem, em um estudo observacional, os processos sinóticos de um ano de El Niño (1997) com um ano de La Niña (1996), Fedorova e Carvalho (2000) notaram maior ocorrência de frentes frias no ano de El Niño e também que em ano de El Niño as frentes têm maior frequência justamente nas regiões do Uruguai e Rio Grande do Sul.



Provavelmente, o fator mais importante para a variabilidade interanual na frequência destes eventos está relacionado com os padrões de bloqueio na circulação sobre a América do Sul e oceanos adjacentes. Bloqueios atmosféricos não permitem a penetração de sistemas frontais nas demais regiões brasileiras, mantendo-os estacionários ao sul (MORAN; MORGAN, 1996).

O estabelecimento de uma baixa (alta) anômala no Pacífico Subtropical leste durante o evento El Niño (La Niña) enfraquece (fortalece) a alta subtropical do Pacífico (ACEITUNO, 1988; GRIMM; TOGATLIAM, 2002), dificultando (favorecendo) a ocorrência de eventos severos frios e favorecendo (dificultado) a ocorrência de eventos severos quentes na Região Sul, uma vez que estimula o transporte de ar quente dos trópicos para esta região (GRIMM; TOGATLIAM, 2002; BARROS et al., 2002).

Segundo Mo e White (1985), as anomalias de chuva no Sul do Brasil estão associadas com um trem de ondas (PSA – Pacific South America) que se estende desde a área convectiva no Pacífico Tropical até a América do Sul. A partir de uma forçante do Pacífico Equatorial Sudeste, Ambrizzi et al. (1995) notaram um trem de ondas que segue a rota de um arco em direção ao Atlântico, passando pelo sudeste da América do Sul. Müller e Berri (2007) também identificaram um trem de onda de Rossby no Oceano Pacífico, na qual uma das formas básicas de propagação consiste em um trem de ondas na forma de arco que inicia no centro-leste do Pacífico e propaga pelas latitudes médias do hemisfério Sul, inicialmente para o polo, mas curvando-se em seguida para o equador, afetando o cone sul da América do Sul. Mas segundo Cardoso (2005), as anomalias de TSM do Pacífico Sul, na região da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS), podem agir como forçantes e afetarem diretamente os regimes de precipitação no Sul e Sudeste do Brasil, independente da região ser parte do caminho seguido pelos trens de onda que emanam dos trópicos. Severo (2007) reforçou essas ideias, através de simulações numéricas que mostraram padrões de ondas 3 e 4 emanando da Austrália ou da ZCPS que se propagaram até a América do Sul com rota semelhante a um dos modos do PSA, sendo que, com exceção do inverno, a resposta do modelo foi consistente com as anomalias de circulação típicas em eventos secos e

úmidos . Essas simulações mostraram as forçantes na região da ZCPS, sugerindo a conexão entre o Pacífico e os eventos de precipitação anômala no Sul do Brasil.

Outra questão relevante é a simetria nos impactos dos eventos extremos do ENOS. De acordo com Mason e Goddard (2001), em grande número de regiões do globo nota-se assimetrias nas anomalias de precipitação em resposta aos eventos La Niña e El Niño. Segundo estes autores, para muitas áreas não se pode afirmar que anomalias climáticas típicas de um evento extremo ENOS terão sinal oposto durante seu outro extremo. Existem assimetrias também quanto à duração e mudança dos eventos ENOS. Enquanto o El Niño, após entrar na fase madura, tende logo a mudar para La Niña, esta, após enfraquecer, permanece fraca por até 2 anos, para depois se tornar El Niño.

### **2.2.3 Oscilação Decenal do Pacífico (ODP)**

Além da clara influência do ENOS em conjunto com o Pacífico Subtropical, há também o interesse em avaliar os efeitos da variabilidade de baixa frequência presente no Pacífico. Segundo Mantua et al. (1997), o padrão ODP, identificado através da primeira componente principal das anomalias de TSM do Pacífico Norte acima de 20°, tem configuração espacial similar ao ENOS, mas com maiores amplitudes em latitudes médias do que em latitudes baixas e maior extensão meridional das anomalias, estando mais visível no Pacífico Norte. Porém, a principal diferença entre ENOS e ODP está na escala temporal, uma vez que eventos típicos do primeiro persistem entre 6-18 meses, com variabilidade de 2-6 anos (variabilidade interanual) e do segundo apresentam variabilidade da ordem de décadas (variabilidade decenal). Assim, foi definido um índice através do qual se identificam fases negativas da ODP nos períodos de 1900-1924 e 1947-1976 e fases positivas entre 1925-1946 e 1977 a meados da década de 90 (MANTUA et al.,1997; ZHANG et al., 1997).

Alguns estudos já tentaram determinar o efeito da ODP sobre o ENOS e vice versa, mas os seus resultados ainda são inconclusivos. Gershunov e Barnett (1998) observaram, para a América do Norte, que padrões atmosféricos tipicamente apresentados em anos de El Niño (La Niña) foram intensos e consistentes apenas quando a ODP apresentou sinal positivo (negativo). Isto não significa que a ODP controla fisicamente o ENOS,

mas sim que os padrões climáticos interagem um com o outro. Newman et al. (2003) mostraram através de uma análise de correlação defasada entre as médias móveis de 3 meses dos índices de ENOS e ODP, que em geral o ENOS precede a ODP por alguns meses, com correlações de 0,6. Eles também mostraram, usando ondaletas, uma forte relação entre o ENOS e a ODP no século passado devido a uma modulação interdecenal da potência nas diferentes bandas de frequência de cada índice. Concluíram que a ODP não pode ser considerada independente do ENOS, mesmo numa escala decenal. Verdon e Franks (2006), analisando dados paleoclimáticos dos últimos 400 anos, verificaram que a frequência da ODP é similar à observada no século 20 e que as fases positivas de ODP estão associadas com um aumento na frequência relativa de eventos El Niño, enquanto as negativas são mais favoráveis ao desenvolvimento de eventos La Niña.

Trabalhos recentes mostram a influência das fases da ODP nos efeitos dos eventos ENOS no Brasil. Ao avaliarem as relações da ODP com eventos no Atlântico intertropical e chuvas no Nordeste do país, Xavier e Xavier (2004) concluíram que a ODP apresenta uma correlação positiva com índice de Oscilação Sul e com as TSM nas áreas de Niño clássicas. Siqueira et al. (2006) encontraram que os impactos do evento ENOS no Nordeste e Norte brasileiros são distintos quando se considera as duas fases da ODP, separadamente. Confirmaram que o El Niño reduz a precipitação regional, mas afeta sub-regiões de forma diferente, dependendo da fase da ODP. Já a La Niña ocorrida na fase fria da ODP reduz a precipitação na região, contrariamente ao que comumente revela a literatura. Kayano e Andreoli (2007), ao analisarem os efeitos do ENOS na precipitação da América do Sul, observaram que esses são mais fortes quando ODP e ENOS estão na mesma fase e mais fracos quando estão em fases opostas. Segundo Capistrano (2012), a ODP atua influenciando os efeitos do ENOS na precipitação da América do Sul, de modo que quando estão em fase (ODP e ENOS) as anomalias de precipitação são mais intensas. Com a relação à temperatura, existem bem menos trabalhos explorando sua relação com ODP.

#### **2.2.4 Atlântico Sudoeste (ATSW): Relações com o Pacífico e com o clima do RS**

O Atlântico Sudoeste (ATSW) é importante para o tempo e o clima da América do Sul por ser uma região ciclogênica sensível às variações de TSM (GAN; RAO, 1991), além de ser rota de sistemas frontais, tempestades e ciclones que atingem a porção Sul e Sudeste do Brasil (PEZZI et al., 2009). A região de maior influência do Atlântico nas precipitações regionais do Sul do Brasil é a Sudoeste (10°-40°S; 10°-60°W), sendo esse impacto predominante no 2° trimestre do ano, com TSM e precipitação acima da normal, simultaneamente e com defasagem de 1 a 6 meses (SANSIGOLO et al., 2004).

No ATSW ocorre a confluência das correntes do Brasil e das Malvinas (GORDON, 1989). O maior contraste nas TSM do Atlântico aparece no limite oeste, quando as águas mais salinas e quentes da corrente do Brasil, para sul, encontram as águas frias e menos salinas da corrente das Malvinas, para norte, onde o gradiente de temperatura chega a 1°C/100m (VERA et al., 2003). De acordo com Pezzi et al. (2009), essa região ainda pouco estudada, apesar de ser umas das regiões oceânicas mais energéticas (CHELTON et al., 1990), tem um gradiente lateral que pode alcançar 3°C/100m à superfície e subsuperfície. Analisando o acoplamento entre a Camada Limite Oceânica (CLO) e a Camada Limite Atmosférica Marinha (CLAM), concluíram que a CLAM é modulada pelos fortes gradientes de temperatura presentes na superfície oceânica da região em questão. Esse contraste térmico entre as duas massas d'água contribui para a formação de intensos gradientes de momentum e calor entre oceano e atmosfera (PEZZI E SOUZA, 2009). A variabilidade do ATSW é marcada por forte sazonalidade, e um fator que contribui com isso é a Alta Subtropical do Atlântico Sul, que também oscila, meridionalmente, em escala sazonal. (PEZZI E SOUZA, 2009)

Venegas et al. (1996) usou análise de decomposição de valor singular (SVD) para determinar os modos acoplados da variabilidade da TSM e da PNM mensais para o Atlântico Sul (0-50°S/ 20°E-70°W) e encontrou no 3° modo de SVD, com 6% da variância quadrática total e caracterizado pelo deslocamento norte-sul do Anticiclone com período de flutuação de escala interanual da TSM numa banda ao longo do Atlântico Sul Central (25-30°S), fortemente correlacionado com ENOS.

Wainer e Venegas (2002) sugerem que as anomalias de TSM do Atlântico Subtropical são ocasionadas por variações na intensidade do limite oeste da corrente das Malvinas, guiadas atmosféricamente. Assim, a variabilidade multidecenal do ATSW, aparentemente, seria causada pela atmosfera.

Quanto à relação entre o ENOS e o Atlântico Sudoeste, Aceituno (1988) encontrou o sinal negativo do IOS associado com tendência de aumento de pressão no Atlântico Sul Tropical. Grimm e Togatlian (2002) observaram que há menor (maior) percentual de eventos severos frios durante El Niño (La Niña) no Atlântico subtropical próximo à costa do Brasil, havendo um aquecimento (resfriamento) nessa região associado ao ENOS. Porém, em latitudes mais altas, o Atlântico mostra tendência oposta, resultado da maior (menor) advecção de ar polar nessa região em anos de El Niño (La Niña). Severon et al. (2004) notaram que os eventos El Niño (registrados em dezembro de cada ano) são caracterizados pela anomalia negativa das TSM da corrente das Malvinas e positivas das TSM da corrente do Brasil. Nas La Niñas, ao contrário, ocorrem anomalias quentes na corrente das Malvinas e frias na do Brasil. Lentini et al. (2006) mostraram que, em média, os anos de El Niño (La Niña) são caracterizados por anomalias quentes (frias) nas TSM das regiões vizinhas à Corrente do Brasil, e seus resultados ainda confirmaram a correlação entre os eventos ENOS e a propagação a norte das anomalias de TSM ao longo do ATSW.

Mélice e Servain (2002) observaram que o índice de áreas de anomalias de TSM do Atlântico Sul, entre 5°N-20°S, ao contrário do mesmo índice referente ao Atlântico Norte, precede o índice de Oscilação Sul por cerca de 4 meses. Também encontraram alta correlação entre o Atlântico Sul, o campo global de PNM e a extensão de gelo marinho em torno da Antártica. Os resultados são exploratórios, ainda não se sabe como a TSM do Atlântico pode estar dinamicamente associada com o Oceano Sul ou se essa relação realmente existe. Mas esses resultados indicam que o Oceano Sul pode ser uma região chave para o entendimento de como varia a TSM do Atlântico Sul.

Outro fator importante no Atlântico Sudoeste é a presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (KOUSKY, 1988). De acordo com Grimm (2003), há indício para se

esperar que as anomalias de TSM do ATSW estejam vinculadas a ocorrência e posicionamento da ZCAS e da Alta Subtropical do Pacífico, o que é concordante com o resultado encontrado por Taschetto (2006), que conclui que as TSM do Atlântico Subtropical Sul auxiliam na configuração da posição e da intensidade da precipitação na ZCAS, no verão. De acordo com Taschetto e Wainer (2008), as TSM do Atlântico Subtropical Sul são mais importantes que ENOS no posicionamento da ZCAS sobre o sudeste do Brasil, no verão, enquanto o ENOS influencia mais na intensidade das ZCAS durante o outono. Mas é um ponto ainda controverso a relação das anomalias de TSM do ATSW com o surgimento e posicionamento de ZCAS (PEZZI; SOUZA, 2009), uma vez que em alguns estudos estes fatores estão associados às anomalias positivas da TSM do ATSW, e em outros às anomalias negativas (ROBERTSON; MECHOSO, 2000). Segundo Chaves e Nobre (2004), este resfriamento seria consequência do aumento de nebulosidade causado pela ZCAS, e não a sua causa. Cataldi et al. (2010) propuseram um modelo de circulação na qual anomalias positivas de TSM na região da Confluência Brasil-Malvinas acarretariam a intensificação dos sistemas de baixa pressão transientes nesta região, gerando um ramo ascendente no Atlântico Sul, descendente na Região Sul e novamente ascendente na Região Sudeste, levando a um favorecimento às condições de ZCAS, e diminuindo a precipitação na Região Sul do Brasil.

Carvalho e Jones (2009) observaram que fase quente de ENOS parece favorecer a persistência de ZCAS oceânica com mais de 4 dias. Em consequência da intensificação do jato subtropical de altos níveis sobre o Atlântico na fase quente do ENOS, há aumento na frequência de ocorrência de ZCAS com intensa atividade convectiva nos oceanos. Na Região Sudeste da América do Sul a diminuição (aumento) na precipitação está associada a forte (fraca) manifestação da ZCAS e deslocamento para Norte de sua posição climatológica. Anomalia quente (fria) de TSM em 20°-30°S e a oeste de 30°W está geralmente acompanhada por deslocamento para Sul (Norte) de ZCAS (BARROS et al., 2002).

Kayano e Sansigolo (2008), através da análise de ondaletas cruzadas notaram que no Rio Grande do Sul, a precipitação mostra mais alta coerência com o índice de TSM do Niño 3.4 do que com o índice do Atlântico Subtropical Sudoeste (SSA). Já com relação

aos índices de temperaturas (máxima e mínima), estes apresentaram maior coerência em relação ao índice SSA do que com o índice do Niño 3.4, sendo a coerência ainda mais pronunciada para o índice de temperatura mínima. Diaz et al.(1998) têm evidências da relação da TSM do ATSW com a precipitação no RS e no Uruguai, sendo que anomalias positivas (negativas) de TSM estão associadas com anomalias negativas (positivas) de precipitação no RS.

Recentemente, Kayano et al. (2012) mostraram, usando análise de componentes principais, que o Atlântico Sul Sudoeste (centrado em 30°S – 40°W) é fortemente dirigido pelo ENOS, e que ambos os índices destes padrões têm efeito combinado nas precipitações das regiões sul e sudeste da América do Sul.

### **2.3 Índice de Oscilação Antártica (IOA)**

Diversos estudos sobre a variabilidade climática em várias regiões do Hemisfério Sul apontam para associações com as TSM do Atlântico e do Pacífico, mas ainda são poucos os que tratam dos efeitos da Oscilação Antártica. A Oscilação Antártica (ou Modo Anular Sul) é o padrão de variabilidade dominante da circulação troposférica ao sul de 20°S, caracterizada por anomalias de pressão de sinais opostos centradas na Antártica e entre 40 e 50°S (GONG; WANG, 1999; THOMPSON; WALLACE, 2000). Gong e Wang (1999) definiram um índice objetivo para este fenômeno, o Índice de Oscilação Antártica (IOA), que é a diferença entre as anomalias zonais das pressões ao nível médio do mar entre 40 e 60°S; já Thompson e Wallace (2000) definiram outro índice para o chamado Modo Anular do Hemisfério Sul, como a primeira componente principal das anomalias mensais de altura geopotencial em 850hPa ao Sul de 20°S, que explica 22% da variância total. Numerosas outras nomenclaturas têm sido dadas ao IOA, como: Circulação do Hemisfério Sul (KAROLY et al., 1990), Modo de Altas Latitudes (KIDSON; WATTERSON, 1999), Modo Anular do Sul (GILLET et al., 2006, GUPTA; ENGLAND, 2006). Assim como diversas nomenclaturas, diferentes índices foram criados, como exposto por Ho et al. (2012), que comparando alguns dos índices mais utilizados atualmente, concluíram que aquele calculado por Fan e Wang (2004), utilizando a definição de Thompson e Wallace (2000), é um dos que melhor

representa a precipitação na Austrália. A fase positiva do IOA está associada com decréscimo da altura geopotencial na calota polar, com aumento da altura geopotencial nas latitudes médias e o deslocamento para o polo das trajetórias dos ciclones sobre o oceano sul; e a fase positiva do IOA está associada com temperaturas mais baixas na Antártica e aquecimento na península Antártica. (THOMPSON e WALLACE, 2000). Este aquecimento pode se estender até a extremidade da América do Sul (THOMPSON e SOLOMON, 2002).

Pohl et al. (2010) mostraram que a Oscilação Antártica está relacionada com o ENOS, de forma que o El Niño (La Niña) corresponde ao sinal negativo (positivo) do IOA. Além disso, na escala intrasazonal, foi observado que o IOA afeta o regime de precipitação na África do Sul, e esta influência parece ser mais intensa nos anos de La Niña.

Carvalho et. al. (2005) notaram um enfraquecimento do jato subtropical em altos níveis e seu deslocamento em direção ao polo e intensificação do jato polar na fase positiva do IOA, devido à inibição da convecção em grandes áreas do Pacífico equatorial, ocorrendo o oposto na fase negativa. Assim, a fase positiva do IOA ocorre quando as anomalias de TSM do Pacífico equatorial se assemelham à La Niña, e a fase negativa, ao El Niño.

Gupta e England (2006) examinaram, usando dados de reanálise e do modelo CCSM, as relações entre o IOA e as temperaturas e precipitações no Hemisfério Sul, e mostraram que a fase positiva do IOA está associada com condições quentes e secas na Nova Zelândia, Tasmânia e Sul da América do Sul, e condições frias e chuvosas na maior parte da Austrália.

Em um estudo mais abrangente, Gillett et al. (2006) identificaram, usando análise de correlação, a influência do IOA nas temperaturas e precipitação em várias regiões do Hemisfério Sul, sendo que sua fase positiva está associada com resfriamento na Antártica e a maior parte da Austrália, e aquecimento da Península Antártica, Argentina, Tasmânia e Sul da Nova Zelândia; além de condições secas na América do Sul, Nova



Zelândia e Tasmânia, devido ao deslocamento para sul da Stormtrack, e anomalias positivas de precipitação sobre Austrália e África do Sul.

Reboita et al. (2009) constataram que na fase negativa do IOA as trajetórias de ciclones no HS se deslocam para norte, se comparadas à fase positiva e que na América do Sul e no Atlântico Sul há intensa atividade frontogenética com anomalias positivas de precipitação na costa Sudeste desta região. Na fase negativa, condições inversas são geralmente observadas.

Vasconcellos e Cavalcanti (2010) também identificaram, através de análise de compostos, a influência do IOA nos centros ciclônicos anômalos sobre o Pacífico Sudeste nos casos secos (sinal nas latitudes médias) e chuvosos (latitudes polares), sendo que estes padrões contribuem para a circulação anômala sobre o sudeste do Brasil, responsável pelos casos extremos de precipitação.

Marques e Garcia (2010) observaram que as relações significativas da precipitação mensal no Rio Grande do Sul com IOA são predominantemente inversas e Sansigolo (2010) constatou que o impacto das fases do IOA nas temperaturas e precipitações do RS não é simétrico, mas variam conforme as estações do ano e que ainda o conhecimento das fases do IOA permitem, com razoável chance de acerto, prever sazonalmente as temperaturas máximas e mínimas no Sul do Brasil, com 3 a 6 meses de antecedência.



### 3 DADOS E METODOLOGIA

#### 3.1 Dados

Neste trabalho, foram utilizados:

- i) Dados mensais de temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação de 6 estações meteorológicas no Rio Grande do Sul, no período de 1913 a 2006. Estas estações pertencem ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e localizam-se nos municípios de Bagé (BAG), Passo Fundo (PFU), Porto Alegre (POA), Santa Maria (SMA), Santa Vitória do Palmar (SVP) e São Luiz Gonzaga (SLG). Além de estas estações apresentarem-se bem distribuídas espacialmente e de fazerem parte de regiões com diferentes tipos de relevos (Figura 3.1), também pertencem a diferentes regiões homogêneas de temperaturas médias (MEZZOMO, 2005), máximas e mínimas (DINIZ et al., 2003) e precipitação (MARQUES, 2005) no Rio Grande do Sul.

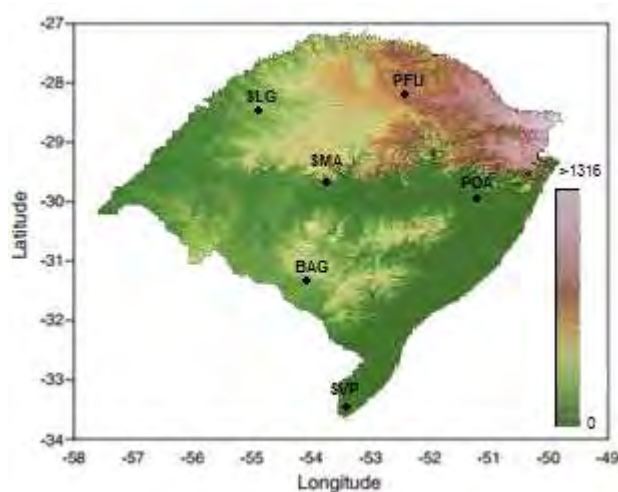


Figura 3.1 – Distribuição geográfica das Estações meteorológicas utilizadas no estudo sobre a topografia regional.

Fonte: Adaptado de <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/rs/index.htm>

- ii) Dados mensais de TSM reconstruídas e estendidas por Smith et al. (2008) – versão 3, com resolução espacial de 2° x 2°, no período de 1900 a 2009,

atualizadas e disponíveis no sítio <http://www.jisao.washington.edu/datasets/ersst/#data>, para o mesmo período.

- iii) Dados mensais do índice do Niño 3.4 corrigidos por Bunge Clarke (2009), disponíveis no sítio <http://ocean.fsu.edu/~bunge/page/ENSOindices.html>.
- iv) Dados mensais do índice da Oscilação Decenal do Pacífico (ODP), para o período de 1900 a 2009, disponíveis no sítio eletrônico <http://www.jisao.washington.edu/pdo/>.
- v) Dados mensais do Índice de Oscilação Antártica (IOA) obtidos por Thompson e Wallace (2002), atualizados para o período de 1948 a 2009, também disponíveis no sítio <http://www.jisao.washington.edu/ao/>.
- vi) Dados da reanálise do “National Centers for Environmental Prediction/Nacional Center for Atmospheric Research” (KALNAY ET AL., 1996), disponíveis em uma resolução espacial de 2,5° x 2,5°, para o período de 1948 a 2010. Deste conjunto de dados foram utilizados os campos mensais de Pressão ao Nível Médio do Mar (PNM), ventos horizontais (u,v), temperatura, umidade específica e componente vertical do vento ( $\omega$ ).

## 3.2 Metodologia

### 3.2.1 Definição dos índices de TSM

Foram utilizados 3 índices de TSM (de 1900 a 2009) e 1 atmosférico (de 1948 a 2009), testados como principais preditores climáticos para o Rio Grande do Sul, considerando as diferentes fases da ODP:

- Índice do Niño 3.4 (NINO3.4):

De acordo com Bunge e Clarke (2003), a região do Niño 3.4, situada na parte central do Pacífico equatorial, vem sendo a mais utilizada para a obtenção dos índices de anomalia de TSM na caracterização de El Niño e La Niña, principalmente quando o interesse é investigar impactos na Região Sul do Brasil (BERLATO; FONTANA, 2003). É a região utilizada pelo IRI (The International Research Institute for Climate and

Society/USA) e pelos Centros de Previsões Climáticas do NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Prediction Center/USA), e do CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/ Brasil) para monitoramento do ENOS. É a região preferida para monitoramento da TSM do Pacífico Equatorial por ser a mais bem correlacionada com o Índice de Oscilação Sul (<http://www.srh.noaa.gov/jetstream/tropics/enso.htm>).

A partir dos dados de TSM (SMITH et al., 2008), foi obtida a média espacial para a região correspondente ao Niño 3.4 (5°N–5°S, 120°–170°W) e as anomalias mensais foram normalizadas, dividindo-as pelo desvio padrão mensal. Essa série foi comparada com aquela corrigida por Bunge e Clarke (2009) (Item 4.1.1).

- Índice do Atlântico Sudoeste (ATSW):

O índice do ATSW foi calculado através das anomalias mensais padronizadas da TSM da região do Atlântico Sudoeste entre 10°S a 40°S e 60°W a 20°W. Essa região foi escolhida considerando as sugestões de trabalhos anteriores (SILVA, 2001; SANSIGOLO et al., 2004; CARDOSO, 2005; OLIVEIRA, 2008; PEZZI et al., 2009), levando-se em conta a importância da contribuição da parcela oceânica de ZCAS e da região de Confluência Brasil-Malvinas.

- Índice do Pacífico Sul (PS):

O índice do PS foi obtido através das anomalias mensais padronizadas da TSM na região do Pacífico Sul entre 20°S a 40°S e 170°W a 130°W, área correspondente a zona de convergência do Pacífico Sul (BARROS; SILVESTRI, 2002; OLIVEIRA, 2008)

Ainda foram utilizados os índices da ODP e da OA:

- Índice da Oscilação Decenal do Pacífico (ODP):

Disponibilizado pelo *Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO)* da Universidade de Washington/EUA, consiste num índice calculado a partir da

primeira componente principal das TSM do Oceano Pacífico Norte acima de 40°N. As fases da ODP são mostradas na Figura 3.2.

- Índice de Oscilação Antártica (IOA):

Também disponibilizado pelo *JISAO*, o IOA consiste no primeiro modo da EOF (que explica 33% da variância) das anomalias mensais da espessura da camada à 850mb para a região a partir de 20°S de latitude em direção ao pólo Sul. Esta série mensal é normalizada pelo desvio padrão.

As regiões correspondentes aos índices estão representadas na Figura 3.3.

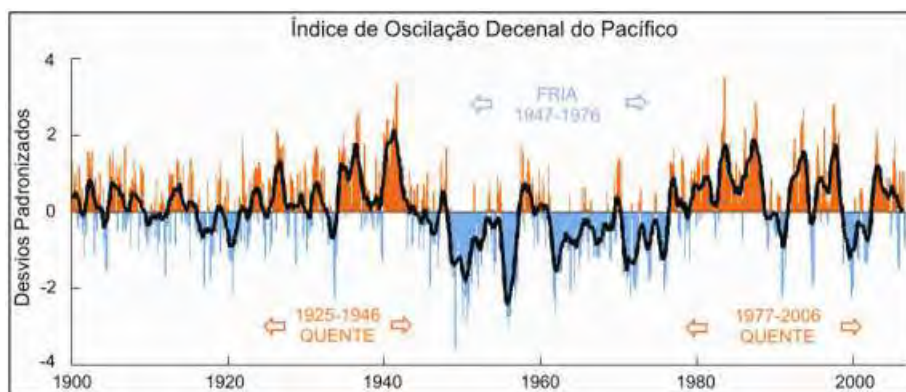


Figura 3.2 - Fases da Oscilação Decenal do Pacífico (ODP)  
Fonte: Adaptada por Gerólamo (2008)

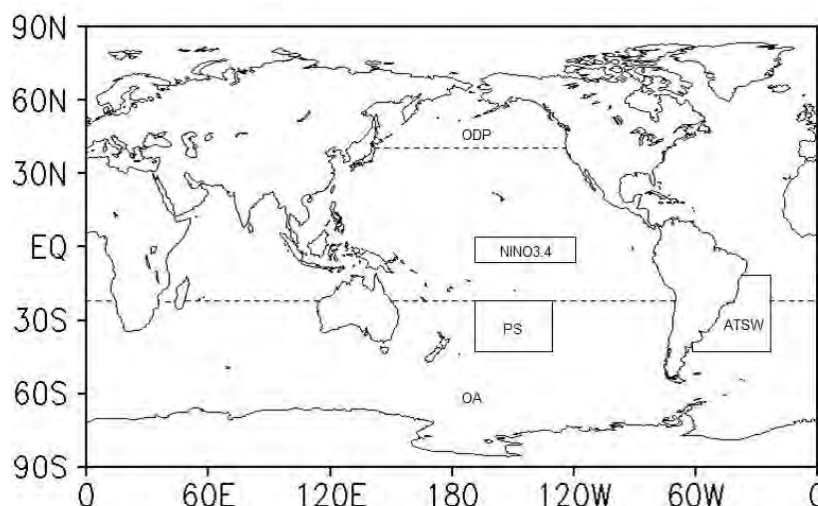


Figura 3.3 - Regiões selecionadas para o cálculo dos índices oceânicos NINO3.4, ATSW e PS a partir da média das TSM; em pontilhado, região selecionada de obtenção das componentes principais para ODP (acima do pontilhado superior) e AO (abaixo do pontilhado inferior).

### 3.2.2 Análise de tendências nos índices de TSM

O teste não-paramétrico de Mann-Kendall, proposto por Sneyers (1975), é considerado um dos mais adequados para detectar tendências em séries temporais (GOOSSENS; BERGER, 1986) e deve ser aplicado a séries aleatórias. Dentre as vantagens da utilização deste método está a capacidade de identificar o sentido e o ponto inicial da tendência, além do fato dos dados não precisarem pertencer a uma distribuição específica e seu resultado não ser afetado por valores extremos, uma vez que o cálculo é baseado no sinal e não nos valores das diferenças da variável do teste (ÖNÖZ; BAYAZIT, 2003).

A aleatoriedade de cada índice foi avaliada pelo Teste não-paramétrico de Sequências, que verifica se os elementos da série são mutuamente independentes. Se o Teste de Sequências (Run test) falha, é porque a série tem, no mínimo, uma componente periódica, que deve ser removida da série.

O Teste de Sequências foi usado, então, para avaliar a correlação serial nas séries (persistência de curto prazo). Dada uma sequência com  $N$  elementos com  $N_1$  número de sequências do tipo-I (por exemplo, anomalias negativas) e  $N_2$  número de sequências do tipo-II (por exemplo, anomalias positivas), a distribuição amostral do número de sequências ( $r$ ) aproxima-se de uma distribuição Gaussiana com a média e variância dadas por:

$$E(r) = \frac{2N_1N_2}{n} + 1 \quad (3.1)$$

$$Var(r) = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - n)}{n^2(n-1)}, \quad (3.2)$$

sendo  $n = N_1 + N_2$ .

A hipótese nula de que a distribuição amostral do número de sequências tem uma distribuição normal e a aleatoriedade da amostra pode ser testada utilizando:

$$z(r) = \frac{r - E(r)}{\sqrt{Var(r)}} \quad (3.3)$$

Este  $z$  calculado é comparado com o  $z$  da distribuição normal. A hipótese nula não é rejeitada se o  $z$  calculado for menor que o  $z$  da distribuição gaussiana para um determinado nível de confiança. Nesse trabalho, foi adotado o nível de significância de 5%, para isso, o  $z$  deve ser menor do que  $|1,96|$ . Se for maior do que esse valor, então a distribuição amostral é não aleatória.

Após o teste de sequências, foi aplicado às séries o teste de tendências de Mann-Kendall (SNEYERS, 1975). Considerando-se uma dada série temporal  $X_i$  com  $N$  elementos, o teste estatístico de Mann-Kendall é dado por:

$$t = \sum_{i=2}^N m_i \quad (3.4)$$

Onde  $m_i$  é o número de termos da série relativo ao valor  $X_i$  cujos termos são precedentes  $X_j$  ( $j < i$ ) e inferiores ao mesmo ( $X_j < X_i$ ). Considerando-se que  $t$  tem uma distribuição normal (para  $N$  grande e sob hipótese nula de ausência de tendência), a média e a variância serão dadas por:

$$E(t) = \frac{N(N-1)}{4} \quad (3.5)$$

$$Var(t) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{72} \quad (3.6)$$

Para testar a significância estatística de  $t$  para a hipótese nula, utilizou-se a estatística definida por:

$$z(t) = \frac{(t - E(t))}{\sqrt{Var(t)}} \quad (3.7)$$



O valor da probabilidade  $\alpha_1$  associada a  $z(t)$  da distribuição foi obtida por meio de um tabela de distribuição normal reduzida. A hipótese nula é rejeitada a um nível de significância  $\alpha_0$  se  $\alpha_1 > \alpha_0$ . Foi considerado o nível de significância de 5% ( $z=1,96$ ). Esse teste também fornece o sentido da tendência, que é crescente se  $z(t)>0$  e decrescente de  $z(t)<0$ . Além disso, uma análise progressiva pode definir o ponto a partir do qual a tendência passou a ser significativa num dado nível de probabilidade.

As tendências lineares foram computadas usando-se regressão linear simples e aquelas significativas a 5% foram removidas das séries. Considerando-se a equação da reta do tipo:

$$Y = aX + b , \quad (3.8)$$

a tendência linear é constatada se o coeficiente angular  $a$  for significativamente diferente de zero.

### **3.2.3 Relações de dependência entre os padrões de TSM**

Foi analisada a relação da ODP com os índices de TSM das 3 regiões escolhidas, citadas no item 3.2.1: NINO3.4, ATSW, PS, além do índice da OA. Também foram estimadas as relações entre os índices, considerando as diferentes fases da ODP. Para isso, foram utilizadas diferentes metodologias e seus resultados, comparados. São elas: Correlação Simples, Correlação Parcial, Tabelas de Contingência (avaliadas pelo escore ROC) e Ondaletas cruzadas. Para as correlações e tabelas de contingência foi feita análise sazonal, simultânea e defasada de até 12 meses. Ondaletas simples e cruzadas foram utilizadas para a análise espectral, com dados mensais.

#### **3.2.3.1 Correlações Simples**

O método de Correlação Simples consiste em obter o grau de relacionamento de duas variáveis X e Y, coletadas como pares de valores, através do cálculo do coeficiente de correlação. As hipóteses necessárias à utilização da Correlação: A relação entre X e Y deve ser linear, ambas as variáveis devem ser aleatórias, as distribuições de X e Y devem ser normais. (SPIEGEL, 1985)

O coeficiente de correlação R, de acordo com Spiegel (1985), é dado por:

$$R = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \sqrt{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}} \quad (3.9)$$

Ou

$$R = \frac{\sigma_{XY}}{\sqrt{\sigma^2_X} \sqrt{\sigma^2_Y}} \quad (3.10)$$

Onde R é o coeficiente de correlação linear; n é o número de pares de valores (X,Y) observados;  $\sigma_X$  é o desvio padrão da variável X;  $\sigma_Y$  é o desvio padrão da variável Y;  $\sigma_{XY}$  é a covariância de X e Y.

De modo geral, a hipótese nula de interesse é que o coeficiente de correlação populacional seja igual a zero, pois se essa hipótese for rejeitada ao nível de significância  $\alpha$  estipulado, podemos concluir que efetivamente existe uma relação de dependência entre as variáveis estudadas.

Foi verificado o grau de significância das correlações através do teste t de Student, com n-2 graus de liberdade, onde o valor de t é dado por (SPIEGEL,1985):

$$t = \frac{R}{\sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}}} \quad (3.11)$$

Onde: t é o valor do teste; n é o valor amostral da série de dados; R é o coeficiente de correlação linear e  $R^2$  é o coeficiente de determinação.

Além das correlações simultâneas e defasadas, foram examinadas as correlações totais e parciais, isto é, a correlação entre dois índices de TSM removendo a influência de um terceiro. De acordo com Panofsky e Brier (1968) a correlação parcial que mede a relação exclusiva entre as variáveis  $X_1$  e  $X_3$  excluindo a influência de uma terceira  $X_2$  é dada por:

$$r_{13,2} = \frac{(r_{13} - r_{12} \cdot r_{23})}{\sqrt{(1 - r_{12}^2)}\sqrt{(1 - r_{23}^2)}} \quad (3.12)$$

onde,  $r_{13}$ ,  $r_{12}$  e  $r_{23}$  são, respectivamente, as correlações entre as variáveis  $X_1$  e  $X_3$ ,  $X_1$  e  $X_2$  e entre  $X_2$  e  $X_3$ , respectivamente. Assim como nas correlações totais, a significância estatística dos coeficientes de correlação parcial foi determinada pelo teste t de Student. Como o número de graus de liberdade das séries em estudo é 108, para as correlações serem significativas a 5%, é necessário, pelo teste t-Student, um coeficiente de correlação com módulo superior a 0,16 (Exceto para a série do IOA. Neste caso  $n=60$  e o coeficiente de correlação, para ser significativo, deve ser superior em módulo a 0,22).

### 3.2.3.2 Tabelas de Contingência

De acordo com Sansigolo et al. (2006) apesar de correlação e regressão serem os métodos mais usados para análise de compostos, não são os mais efetivos para algumas situações. Isso porque as relações entre o ENOS e o clima de uma dada região são, em geral, assimétricas (para El Niño e La Niña) e variam de intensidade em diferentes épocas do ano, além dos coeficientes de correlação serem sensíveis à hipótese de normalidade dos dados. Uma alternativa simples e robusta é usar as tabelas de contingência, que permitem avaliar a influência de uma variável independente na probabilidade de ocorrência de um evento climático pré-determinado.

Tabelas sazonais foram organizadas, para considerar a influência das fases inicial (SON), madura (DJF) e de dissipação (MAM) dos eventos ENOS (El Niño/La Niña). O período de inverno (JJA) também foi considerado, pois além de ser a época do ano em que a amplitude térmica do RS é maior, os impactos das temperaturas mínimas são mais alarmantes devido ao maior número de passagens de frentes (CAVALCANTI; KOUSKY, 2003).

Para obter as inter-relações entre os índices, estes foram alocados em tabelas de contingência 3 x 3, como mostra a tabela 3.1. Para análise de correspondência nestas tabelas, os índices de Niño 3.4 foram classificados em tercis (El Niño, Neutro, La Niña), assim como os do ATSW e PS (categorias abaixo, normal, acima das normais) e os do

IOA (categorias abaixo, normal, acima das normais, ou fase negativa, neutra, positiva). A significância do número de vezes que a ocorrência de um determinado índice X em um dado tercil coincidiu com a ocorrência de um outro índice Y, em um outro ou no mesmo tercil, foi calculada de forma semelhante ao mostrado por Sansigolo et al. (2006) ao buscarem relações entre a ENOS e temperatura média no Rio Grande do Sul. Na Tabela 3.1, **k** é o total de anos, destes, **h (g)** é o total de anos em que o valor do Índice X ficou no tercil superior (inferior), das quais **f (e)** coincidiram com a ocorrência de Y no tercil inferior, de um total **i**, e **m (l)** com a ocorrência de Y no tercil superior, de um total de **j** anos.

Da mesma forma, foi analisado o impacto da ODP para cada um dos índices de TSM selecionados nesse trabalho e no IOA.

Tabela 3.1 - Tabela de Contingência 3 x 3

<b>Índice X</b>	<b>Índice Y</b>			Total
	<i>Tercil inferior</i>	<i>Tercil médio</i>	<i>Tercil superior</i>	
<i>Tercil inferior</i>	e	g-e-l	l	g
<i>Tercil médio</i>	i-e-f	k-i-j-g-h+f+e+l+m	j-l-m	k-g-h
<i>Tercil superior</i>	f	h-f-m	m	h
Total	i	k-i-j	j	n

As relações entre os índices foram avaliadas através do cálculo da taxa de acerto (TA) e do falso alarme (FA) e, a partir destes, o ROC e o seu escore de destreza. Esses índices são calculados em tabelas de contingência 2 x 2, reduzidas da tabela 3 x 3 (Tabela 3.1) como mostrado na Figura 3.4.

As taxas de acerto e de falso alarme são dadas por:

$$TA = a/(a + c) \quad (3.13)$$

$$FA = b/(b + d) \quad (3.14)$$

e a diferença entre suas variáveis reduzidas da distribuição normal é dada por:  $Dif = z(TA) - z(FA)$  (WILKS, 1995). Na Figura 3.5 encontra-se um exemplo de Diagrama ROC.

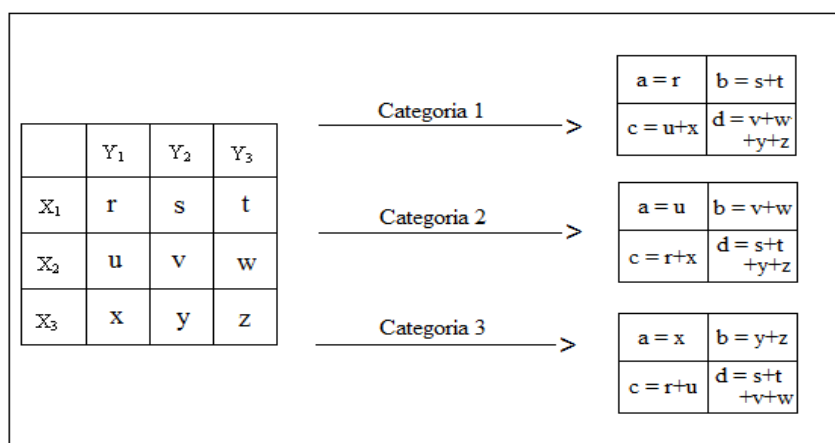


Figura 3.4 – Redução de tabela de contingência 3 x 3 em 3 tabelas 2 x 2. (a–eventos esperados e observados; b–eventos esperados e não observados; c–eventos não esperados e observados; d–eventos não esperados e não observados).

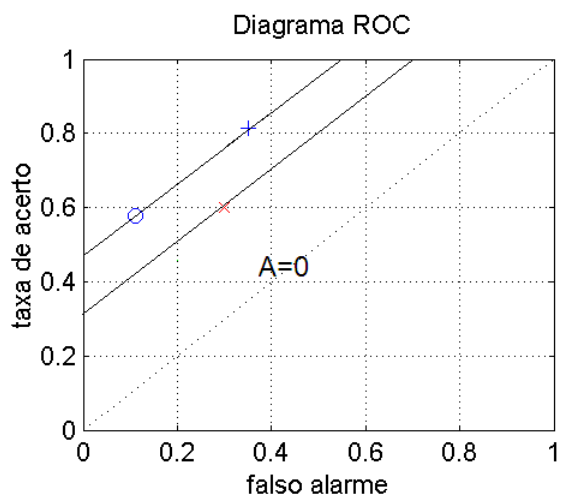


Figura 3.5 - Diagrama ROC. Qualquer valor sobre a diagonal que liga os pontos (0,0) e (1,1) é considerado aleatório; os classificadores em azul mostram praticamente o mesmo desempenho e o vermelho, mostra um desempenho inferior.

O escore ROC é dado por:

$$E_{ROC} = 2 \cdot A - 1 \tag{3.15}$$

E corresponde à área de interesse sob a curva normal ROC. Em (3.15), A representa a área sob a curva normal, e é dada pela probabilidade de Dif, ou  $A = P[z(TA) - z(FA)]$ . O escore ROC representa o ganho (percentual) sobre climatologia, cuja chance de ocorrência é de 50% (ROC=0).

### 3.2.3.3 Ondaletas Coerência e Fase

A transformada de Ondaletas é uma técnica utilizada para análise espectral, e tem como diferencial o fato de ser viável na investigação de fenômenos que possuem sinais não estacionários ou aqueles em que o sinal muda bruscamente de frequência. Uma série temporal não estacionária é aquela em que os momentos estatísticos, para diferentes intervalos de períodos constantes, apresentam-se distintos (BARBOSA; BLITZKOW, 2008). Assim, essa técnica possui janelas móveis, no tempo ou espaço, que se comprimem/dilatam, o que permite capturar sinais de baixa/alta frequência. Por esse motivo, tornou-se uma ferramenta comum para analisar variações locais de energia numa série temporal e é capaz de determinar os modos dominantes de variabilidade, e como estes variam no tempo (TORRENCE; COMPO, 1998; BARBOSA; BLITZKOW, 2008).

Neste trabalho, foi utilizada a Ondaleta base de Morlet, que consiste em uma exponencial complexa, modulada por uma gaussiana, tendo a seguinte forma:

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0\eta} e^{-\eta^2/2} \quad (3.17)$$

Onde  $\eta$  e  $\omega_0$  são parâmetros unidimensional de tempo e frequência, respectivamente (TORRENCE; COMPO, 1998).

A fim de comparar as frequências de duas séries temporais, foi utilizada a análise de coerência e diferença de fase. Para duas séries temporais X e Y, ela explica quanto da variabilidade de uma determinada variável pode ser explicada pela variabilidade da outra (BARBOSA; BLITZKOW, 2008). De acordo com Torrence e Webster (1999), dadas as transformadas em Ondaletas das séries supracitadas como  $W_n^X(s)$  e  $W_n^Y(s)$ , respectivamente, onde n é um índice temporal e s é a escala, o espectro da Ondaleta Cruzada é definido como:

$$W_n^{XY}(s) = W_n^X(s)W_n^{Y*}(s) \quad (3.18)$$

Onde o índice (\*) indica o complexo conjugado.

De acordo com Torrence e Webster (1999), a Transformada de Coerência entre duas séries temporais é definida como:

$$R_n^2(s) = \frac{|S(s^{-1}W_n^{XY}(s))|^2}{S(s^{-1}|W_n^X(s)|^2) \cdot S(s^{-1}|W_n^Y(s)|^2)} \quad (3.19)$$

Sendo S o operador de suavização e  $s^{-1}$  funciona como conversor da Ondaleta Coerência em densidade de energia.

Pode-se notar a semelhança entre a expressão acima e a do coeficiente de correlação. Por isso, pode-se pensar na Ondaleta Coerência como a medida do coeficiente de correlação localizado em tempo-freqüência (BARBOSA; BLITZKOW, 2008). O nível de significância da Ondaleta Coerência será estimado pelo método de Monte Carlo, com nível de confiança de 95%.

Também foi analisada a diferença de fase das relações, isto é, se há e qual é a defasagem entre as correlações dos espectros das variáveis. A diferença de fase da Ondaleta Coerência é dada por:

$$\phi_n(s) = \tan^{-1} \left( \frac{\text{Im}\{s^{-1}W^{XY}(s)\}}{\text{Re}\{s^{-1}W^{XY}(s)\}} \right) \quad (3.20)$$

Onde (Im) e (Re) denotam a parte imaginária e real de  $W^{XY}(t)$ , respectivamente (TORRENCE; WEBSTER, 1999).

### **3.2.4 Avaliação e tratamento dos dados de Precipitação e de Temperaturas Mínimas e Máximas**

Averiguar a qualidade dos dados consiste num importante passo antes do cálculo dos índices, visto que erros podem causar sérios impactos nos resultados obtidos. Sendo assim, essa etapa da metodologia consistiu em testar as séries de dados observacionais de temperaturas máxima, mínima e precipitação. Para isso, foi aplicado o teste de homogeneidade das séries temporais. O objetivo foi verificar se ocorreram mudanças

durante o período de observação nas condições de medida. Um método quantitativo para esse tipo de análise é o Teste das Razões (ALEXANDERSSON, 1986). Esse teste consiste em construir séries de razões  $q_i$  entre os valores da série temporal de uma dada estação a ser testada e uma de referência (neste caso, a média das demais séries estudadas), que são posteriormente normalizadas  $z_i = (q_i - \bar{q})/s_q$ . Usando a técnica padrão de razões de verossimilhança, obtém-se uma estatística  $T_0$  que permite testar homogeneidade, definir o ponto de quebra e a razão da variação, que pode ser usada para correção:

$$T_0 = \underset{i \leq v < n}{\text{máx}} [v\bar{z}_1^2 + (n-v)\bar{z}_2^2]$$

(3.21)

Onde:  $\bar{z}_1 = 1/v \sum_{i=1}^v z_i$  e  $\bar{z}_2 = 1/(n-v) \sum_{i=v+1}^n z_i$

Sendo  $v$  o número de graus de liberdade e  $n$  o total da amostra. Assim, se  $T_0$  é maior do que certo valor crítico (ALEXANDERSSON, 1986), a série é não homogênea num certo nível de confiança. O ano ou mês de quebra mais provável é o anterior a esta ocorrência. A razão  $(\bar{q}_2/\bar{q}_1)$  fornece uma medida relativa da mudança, que será usada para a correção.

### 3.2.5 Precipitação, Temperaturas Mínima e Máxima

As Figuras 3.6, 3.7 e 3.8 mostram as distribuições mensais das séries de precipitação, temperaturas mínimas e máximas, respectivamente, que, após terem suas anomalias normalizadas, foram comparadas com os índices de TSM citados anteriormente.



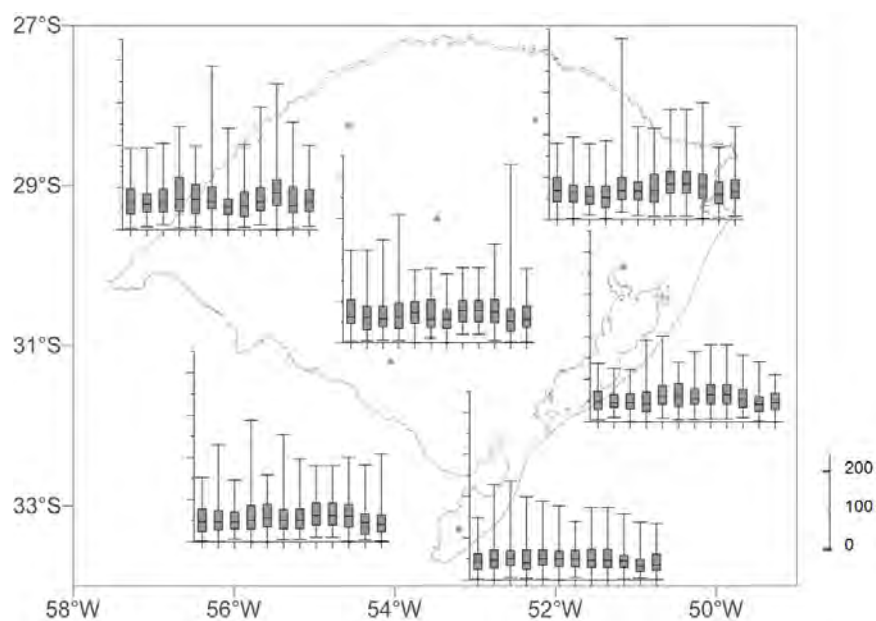


Figura 3.6 - Box-plots mensais para as precipitações das 6 estações do estudo. Em cada Box-plot: O traço superior representa o valor mais alto das séries, o inferior, o mais baixo. O limite superior da caixa representam os valores do percentil 75, o inferior, do percentil 25. O traço central da caixa corresponde ao valor da mediana.

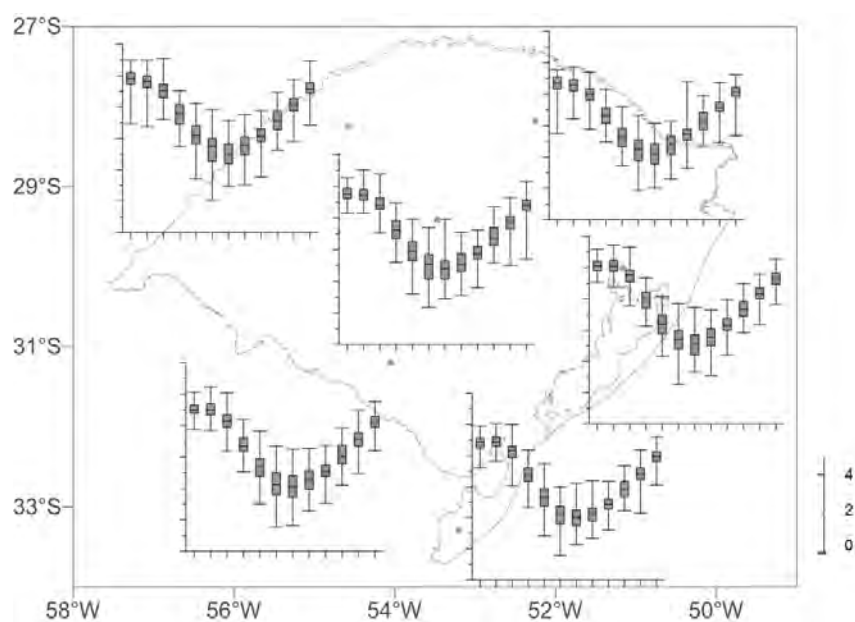


Figura 3.7 - Idem a Figura 3.6, mas para as temperaturas mínimas.

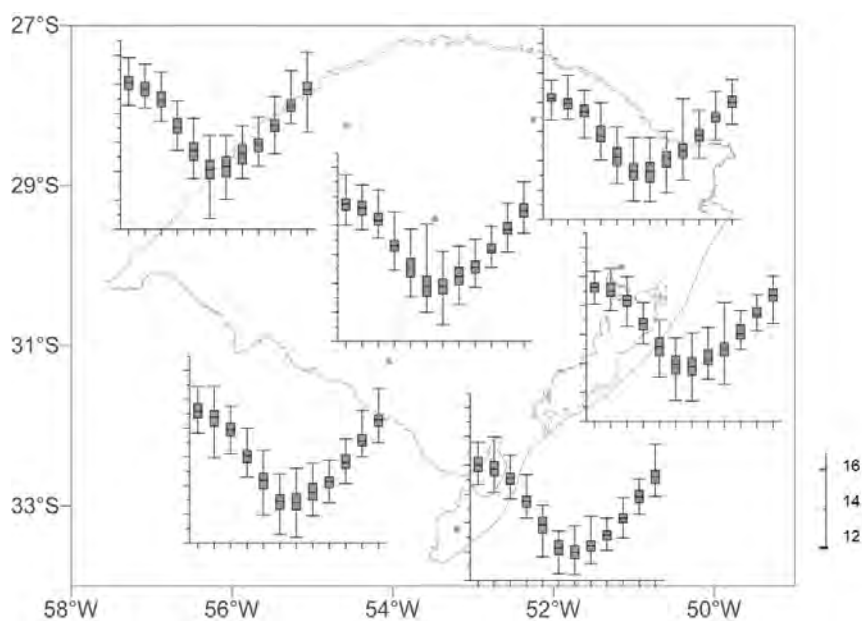


Figura 3.8 - Idem a Figura 3.6, mas para as temperaturas máximas.

### 3.2.6 Relações de cada índice de TSM e IOA com as temperaturas máximas e mínimas e precipitação no Rio Grande do Sul

Assim, como foi feito entre os índices de TSM e o IOA, foi averiguada a relação entre cada um desses com os índices climáticos de temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação. A metodologia utilizada será a mesma do item 3.2.3, isto é serão utilizadas Correlação Simples, Tabelas de Contingência e Ondaletas.

Com os dados mensais, disponíveis a partir de 1913, foram avaliadas a influência dos índices NINO3.4, PS, ATSW e o IOA nas diferentes fases da ODP.

### 3.2.7 Estudos de Casos

Após a identificação das principais combinações dos índices de TSM do NINO3.4, PS e ATSW e o IOA, nas fases da ODP, foram selecionados 4 casos em que todos os sinais corroboraram para: Precipitação abaixo das normais, precipitação acima das normais, temperatura mínima abaixo das normais e temperatura máxima acima das normais.

A partir destes casos, analisou-se o provável comportamento anômalo nos campos atmosféricos que mostrassem as influências conjuntas dos Oceanos Atlântico e Pacífico e do IOA nas precipitações e nas temperaturas máximas e mínimas do RS. Para isso, foi observada, no decorrer de cada evento, a evolução dos campos de anomalias de PNM, anomalia do escoamento em 200hPa e escoamento em 850hPa com anomalia de umidade específica ou temperatura em 850hPa, dependendo do caso em análise. Foram levados em conta aspectos que revelassem alguma alteração nos mecanismos de propagação e de manutenção dos principais sistemas que afetam o clima na região de estudo. Cabe ressaltar que essas análises são de caráter complementar e não visam verificar os mecanismos de teleconexão do ENOS, PS, ATSW e OA até o RS, e de que forma esses impactos se dão nas precipitações e nas temperaturas mínimas e máximas na região. Para isso seria necessário um estudo exploratório mais avançado e sofisticado, o que não é o objetivo deste trabalho. O que se propõe neste item é uma análise simples de campos meteorológicos, a fim de observar se as alterações nestes são coerentes com o esperado de acordo com os resultados obtidos nos itens anteriores dos resultados deste trabalho, que mostram, usando uma metodologia robusta, como são as relações entre os índices do ENOS, PS, ATSW e OA e as precipitações e temperaturas extremas do RS.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Parte 1 - Interações entre os índices de TSM

#### 4.1.1 Escolha do Índice Niño 3.4

A Figura 4.1 apresenta, para fins comparativos, as séries temporais dos índices de TSM da região do Niño 3.4 calculados a partir dos dados reconstruídos e estendidos por Smith et al. (2008) (de agora em diante, NINO3.4-Smith) e os corrigidos por Bunge e Clarke (2009) (de agora em diante, NINO3.4-B&C). Nota-se uma semelhança entre as duas séries, e a sua coesão é reforçada na Figura 4.2, que mostra o gráfico de dispersão entre os dois índices, com um coeficiente angular próximo a 1 e coeficiente de correlação de 0,82. Já outras séries temporais para o Niño 3.4, frequentemente usadas na literatura, como as baseadas nas TSM de Kaplan (Kaplan et al., 1998) e HadSST (Rayner et al., 2003) apresentam diferenças mais acentuadas em relação ao NINO3.4-B&C, como mostrado por Bunge e Clarke (2009).

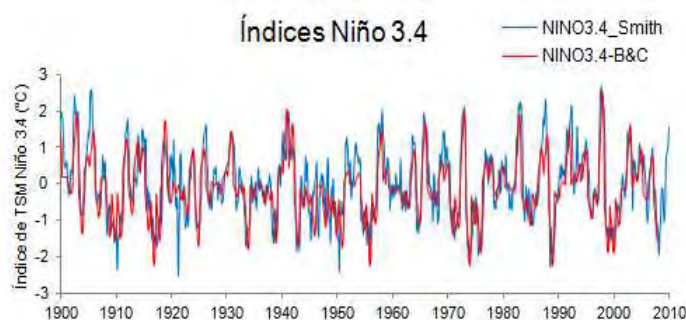


Figura 4.1- Séries temporais dos índices NINO3.4-Smith e do NINO3.4-B&C.

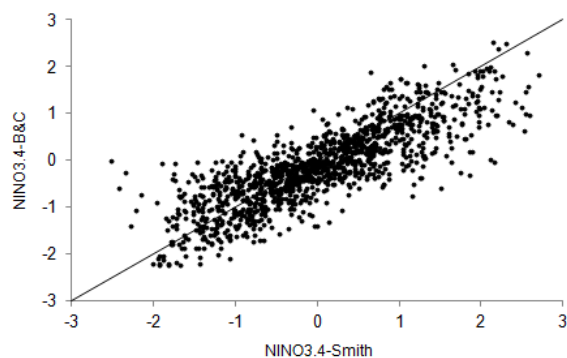


Figura 4.2 - Dispersão entre os índices NINO3.4-Smith e NINO 3.4-B&C. A linha indica a inclinação com coeficiente angular 1.

Ambas as séries referentes ao Niño 3.4 utilizadas neste trabalho apresentaram tendências lineares positivas e significativas a 5%. Mesmo depois de removidas estas tendências, as séries foram rejeitadas pelo teste de sequências, como mostrado na Tabela 4.1. Isso significa que, além de tendências, as séries também apresentam persistência significativa (autocorrelação) e o Teste de Mann Kendall pode apresentar problemas, pois supõe aleatoriedade das séries. Então, foi aplicada uma versão modificada deste teste (Yue e Wang, 2004), a um nível de significância de 5%.

Tabela 4.1 - Resultados dos Testes de Sequências e Mann-Kendall Modificado, bem como as tendências e autocorrelação significativas, para as séries do índice do Niño 3.4, IOS, ODP, ATSW, PS e IOA.

	Tendência (/100anos)	Teste Seq. (2)	Auto correl. (lag 1)	MK Modificado
NINO3.4-Smith	0,79	-29,29	0,94	0,12
NINO3.4-B&C	0,39	-31,73	0,96	0,08
IOS	-0,33	-16,08	0,64	0,56
ODP	-0,07	-19,66	0,75	0,48
ATSW	2,51	-19,99	0,75	0,37
PS	1,93	-5,23	0,85	-0,86
IOA	3,06	-6,56	0,35	0,21

Após a remoção das tendências lineares (0,79/100 anos para NINO3.4-Smith e 0,39/100 anos para NINO3.4-B&C, lembrando que não há unidade pois as séries estão normalizadas), foram calculados os coeficientes de autocorrelação de lag 1, o tamanho efetivo da amostra e a variável reduzida de acordo com a estatística de Mann-Kendall modificado das duas séries. Após este procedimento, ambas as séries passaram pelo teste de Mann-Kendall Modificado. A Tabela 4.1 ainda mostra que a série temporal do índice de ODP também apresentou tendência significativa, apesar de pequena, que também foi removida.

Além da série NINO3.4-B&C apresentar menor tendência em relação a NINO3.4-Smith, nota-se que as séries têm diferentes tendências parciais, nas diferentes fases da ODP (Figura 4.3). Como mostrado na Figura 3.2 no item 3.2.1, a série da ODP entre

1900 e 2009 apresenta duas fases negativas (1900-1924; 1947-1976) e duas positivas (1925-1946; 1977-final dos anos 90, aqui consideramos 1999) bem estabelecidas, havendo ainda dúvidas quanto ao seu sinal após o ano 2000, representadas na Figura 4.3 com uma interrogação. A série de Smith et al.(2008) começa com uma tendência negativa na primeira fase negativa da ODP, que, independentemente das fases, vai diminuindo, tornando-se nula e, após a segunda fase positiva da ODP, inverte o sinal, tornando-se positiva. A tendência não mostra relação com a ODP, mas aparenta ter um espectro de mais baixa frequência. Já a série de Bunge (2009) mostra tendências negativas em ambas as fases positivas da ODP.

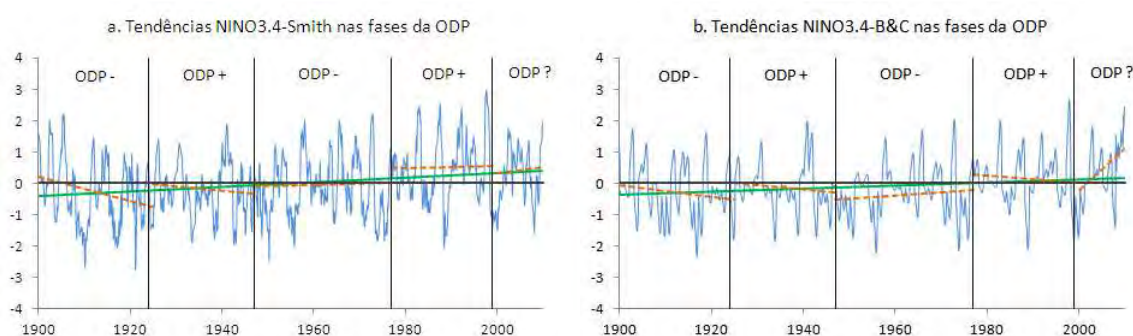


Figura 4.3 - Tendências (linha contínua verde) dos índices NINO3.4-Smith (a) e NINO 3.4-B&C (b), e tendências parciais (em pontilhado vermelho) considerando as fases da ODP.

Com relação ao acoplamento dos índices do Niño 3.4 com o IOS, a Figura 4.4 mostra que o NINO3.4-Bunge apresenta resultados mais coesos. O coeficiente de correlação melhora de 0,60 para 0,90 quando se utilizam as séries corrigidas por Bunge e Clarke (2009), tanto para o ENOS como para IOS. As Ondaletas cruzadas mostram, ainda, que quando cruzados os espectros do IOS com NINO3.4-Smith (Figura 4.5a) há uma falta de coerência no período anterior a 1950, para as baixas frequências. Já quando relacionados os espectros do IOS e ENOS corrigidos por Bunge (2009) (Figura 4.5b) nota-se que há coerência em todo o período analisado, para a faixa de frequência que varia de 2 a 30 anos.

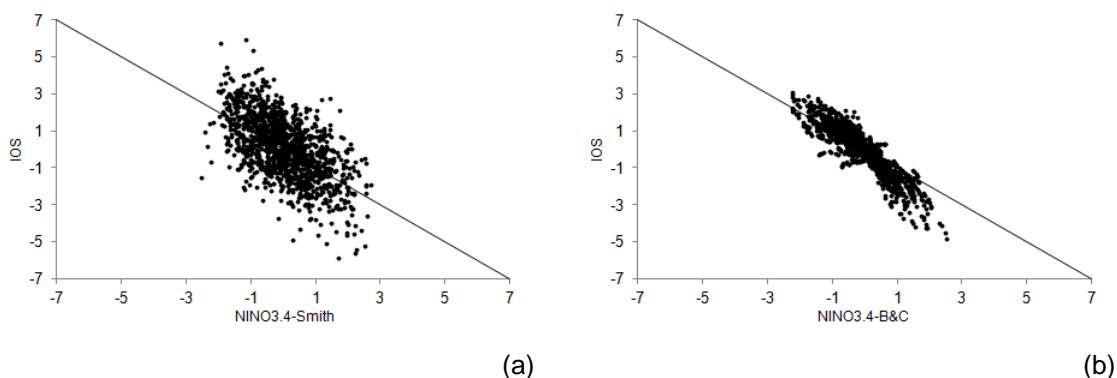


Figura 4.4 - Dispersão entre o IOS e os índices NINO3.4-Smith (a) e NINO3.4-Bunge (b)

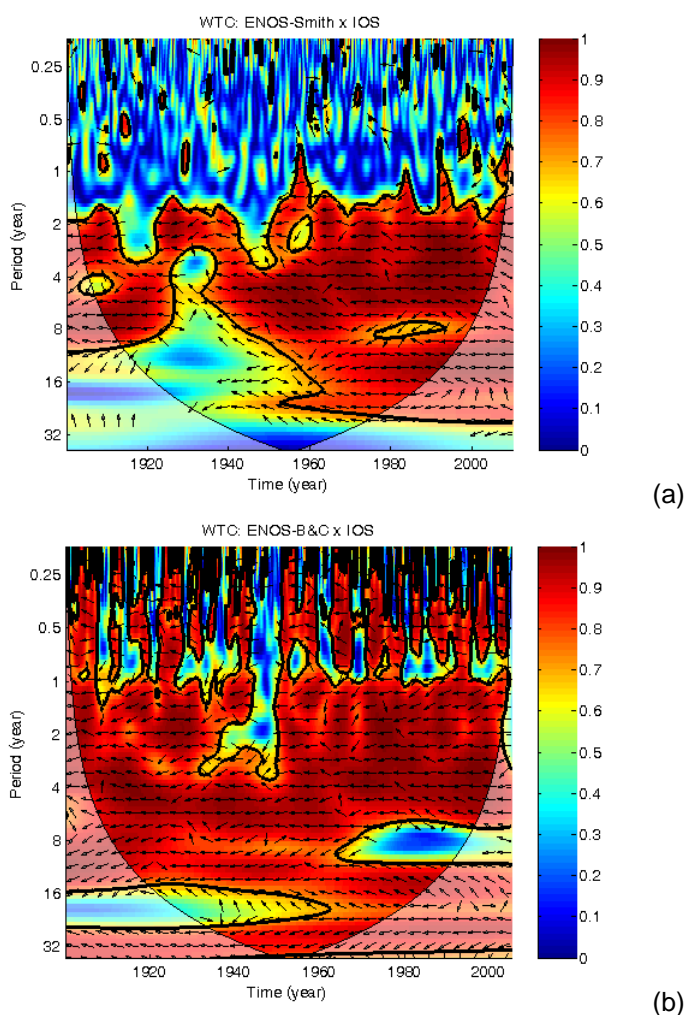


Figura 4.5 - Coerência e Fase das ondaletas cruzadas entre IOS e os índices NINO3.4-Smith (a) e NINO3.4-Bunge (b). O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência), que se encontram delimitados pelo cone de influência. Os vetores representam as fases, e podem apontar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (IOS precedendo o El Niño), a 90° para baixo (El Niño precedendo IOS).



A Figura 4.6 mostra a escala de ocorrência das oscilações ODP e ENOS, reforçando que ODP ocorre numa escala de 20-30 anos, mas que também tem componentes que oscilam numa escala de 4-8 anos. Já o ENOS varia de 4-8 anos, mas o NINO3.4-Bunge apresenta variabilidade na escala da ODP mais alta do que o NINO3.4-Smith.

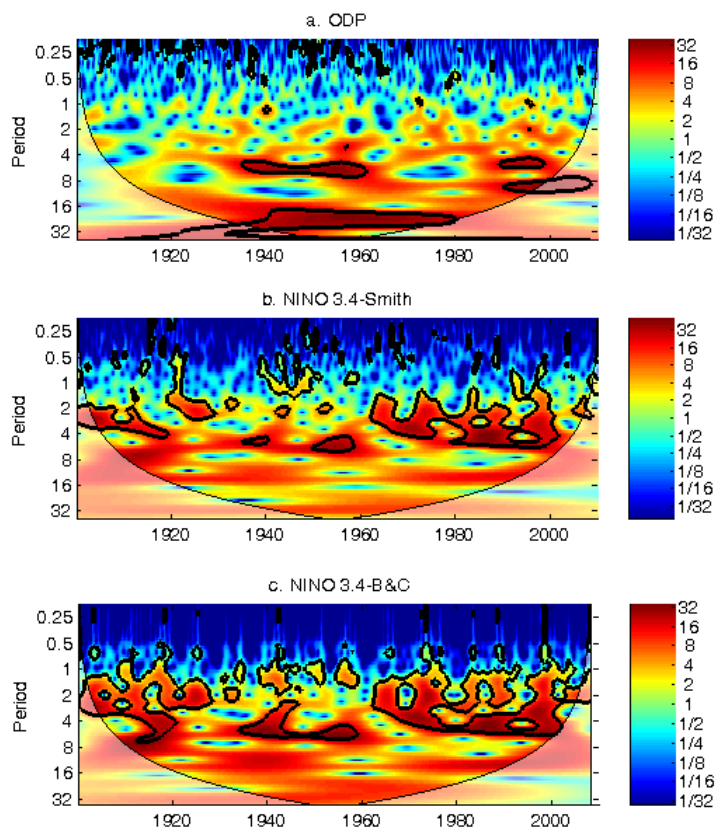


Figura 4.6 - Espectro de Ondas da ODP (a), NINO3.4-Smith (b) e NINO3.4-Bunge (c). O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência), que se encontram delimitados pelo cone de influência.

A Ondaleta coerência e fase entre ODP e NINO3.4-Smith (Figura 4.7a) mostra que essas oscilações interagem principalmente na escala do ENOS, e que o mesmo não é observado, significativamente, na escala da ODP. Numa escala de variabilidade interanual (2-8 anos) observa-se uma alta coerência significativa (entre 0,8 e 0,95) no período de 1925 a 1967. Também se vê um período de coerência significativa entre 1970 e 1985, mas numa escala interanual mais limitada (3-4 anos) e com intensidade menor (entre 0,7 e 0,8). Ainda, analisando as fases, nota-se o ENOS precede a ODP por cerca de 3 meses à 1 ano (inclinação de, aproximadamente,  $45^\circ$  corresponde a  $1/8$  do

período). Esse resultado é consistente com trabalhos anteriores no que diz respeito à ideia de que ENOS e ODP estão relacionados. Porém, ele é discordante com os resultados encontrados por Zhang et al. (1997) e Newman et al. (2003), que concluem que ambos os padrões ENOS E ODP interagem tanto na escala de tempo de um como de outro. O fato de alguns trabalhos anteriores encontrarem relações significativas diferentes desta pode ser devido a dois fatores: A diferença nas metodologias aplicadas; e a questão da tendência nos dados de ENOS serem praticamente da mesma ordem de frequência da ODP. Como a ODP é da ordem de 20 - 30 anos, sendo o período analisado de cerca de 100 anos, torna-se difícil separar as tendências naturais da série de ENOS, do que é o impacto da ODP neste. Para tirar essa dúvida, foi gerada a mesma figura (não mostrada), sem retirar as tendências das séries temporais. A configuração encontrada foi similar a da Figura 4.7a, com relação ENOS/PDO significativa apenas na escala do ENOS, com um sinal mais coerente, mas não significativo, após 1950. Newman et al. (2003) já haviam mostrado que apesar da ODP e do ENOS terem espectros de ondaletas semelhantes, ambos os espectros só eram significativos após 1950.

A Figura 4.7b mostra que os resultados são bem mais coerentes quando utilizada a série temporal NINO3.4-B&C, que corrige as inconsistências para baixa frequência anteriores a 1950. A alta coerência na escala interanual (2 – 8 anos) também é observada, porém com algumas diferenças. Com o NINO3.4-B&C, a coerência entre os espectros de ENOS e ODP se mostra mais intensa, especialmente no período de 1940 a 1960 (acima de 0,95). As setas que indicam fase têm uma inclinação menor, o que significa menor defasagem entre as séries. O ENOS, ainda, precede a ODP (20 – 80 dias, devido à inclinação de, aproximadamente,  $10^\circ$  que corresponde a  $1/36$  do período), sendo esta influência quase simultânea. Mas, principalmente, nota-se uma coerência significativa entre os espectros de ENOS e ODP também numa escala de baixa frequência (16-28 anos), quando usada a série do NINO3.4-B&C. Essa coerência alcança valores entre 0,8 e 0,95. Quanto à fase, nota-se que a inclinação das setas é oposta àquela observada na alta frequência, o que significa, por convenção, que a ODP está precedendo o ENOS. Como a inclinação é também de aproximadamente  $10^\circ$  ( $1/36$

do período), pode-se dizer que a ODP precede o ENOS por 5 – 10 meses. Assim, ODP e ENOS apresentam coerência espectral em ambas as escalas, sendo que na escala do ENOS este precede a ODP, e na escala da ODP, ele é precedido por alguns meses.

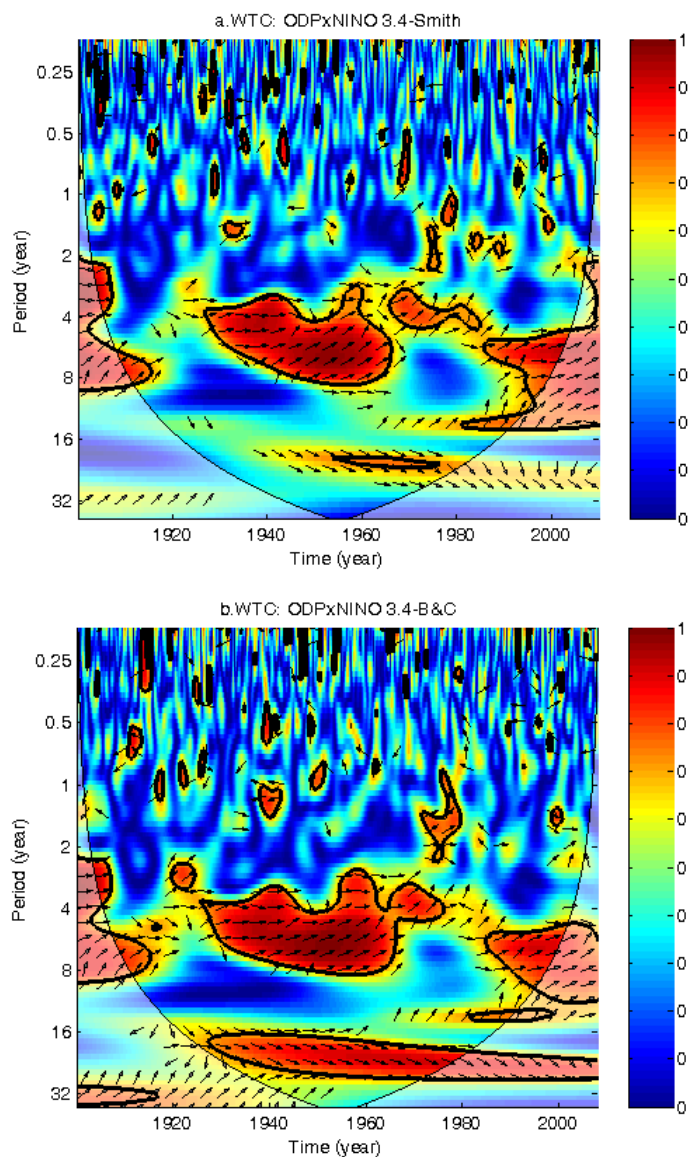


Figura 4.7 - Ondaletas Coerência e fase entre ODP e ENSO utilizando-se os índices NINO3.4-Smith (a) e NINO3.4-B&C (b). O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência), que se encontram delimitados pelo cone de influência. Os vetores representam as fases, e podem apontar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (ENOS precede a ODP), a 90° para baixo (ODP precede ENOS).

Fisicamente, as componentes oceânica e atmosférica do ENOS estão acopladas sendo esperada alta correlção entre o ENOS e o IOS (Mantua et al., 1997; Zhang et al., 1997). Neste sentido, a série NINO3.4-B&C mostrou representar melhor as relações com IOS e com a baixa frequência do que o tradicionalmente usado NINO3.4-Smith. Por isso, neste trabalho, a série NINO3.4-B&C foi escolhida para representá-lo no estudo das relações com demais índices, análises estas que seguem nos próximos itens.

#### **4.1.2 Climatologia e tendências dos índices de TSM e do IOA**

Definida a utilização da série do NINO3.4-Bunge para representar o ENOS, também foram analisadas as séries temporais referentes aos demais índices utilizados neste trabalho: ODP, ATSW, PS e IOA.

Na Figura 4.8a observam-se as tendências do índice das anomalias do ATSW nas diferentes fases da ODP e para todo o período. Nota-se forte tendência de aumento na série, que chega a 2,5° em 100 anos (Tabela 4.1). Nas duas primeiras fases da ODP a tendência aumentou e diminuiu após esse período, voltando a aumentar após 2000. Provavelmente, esta tendência tenha caráter cíclico, mas retirando-se a tendência linear, que é alta, e considerando a autocorrelação serial, a série passou no teste de Mann-Kendall, tornando-se apta para as análises de correlação. As séries das anomalias do PS (Figura 4.8b) e do IOA (Figura 4.8c) também apresentam tendências positivas não apenas para todo o período, mas também em todas as fases da ODP. A exceção é o período dos últimos 10 anos do PS, que assim como para o ATSW, apresentou tendência negativa. Ambas foram retiradas e as séries passaram no teste de Mann-Kendall modificado (Tabela 4.1). A série da ODP também apresentou tendência significativa, apesar do valor baixo (Tabela 4.1). Considerando-se a autocorrelação da série, esta também passou no teste de Mann-Kendall.

A Tabela 4.2 apresenta as principais características dos eventos El Niño e La Niña entre 1900 e 2009 nas diferentes fases da ODP, a Tabela 4.3, dos eventos com anomalia de TSM no ATSW acima e abaixo do normal, a Tabela 4.4, dos eventos com anomalia de TSM no PS acima e abaixo do normal, e a Tabela 4.5, dos eventos com anomalia do IOA acima e abaixo do normal, utilizando o mesmo critério adotado para o ENOS

(Trenberth, 1997), considerando os índices escolhidos neste estudo e o período de 1900 a 2009. Foram notadas algumas similaridades nos eventos, mas também diferenças de acordo com as fases da ODP.

Na Tabela 4.2 observa-se que, em geral, tanto os eventos como La Niña se iniciam no inverno e acabam no verão. No período, foram computados 25 eventos de El Niño, que duram em média cerca de 12 meses, com anomalia média de  $0,96^{\circ}\text{C}$ , mas chegando a  $2,68^{\circ}\text{C}$ . As La Niñas não mostraram muita diferença neste ponto, contando-se 28 eventos, com anomalia média de  $-0,85^{\circ}\text{C}$  e máxima de  $-2,36^{\circ}\text{C}$ . A Tabela 4.6 mostra os escores ROC das tabelas de contingência que relacionam os eventos extremos negativos/positivos (abaixo do percentil 30/acima do percentil 70) de cada índice com as fases negativas/positivas da ODP. A partir dela, observa-se que os eventos ENSO são mais afetados pelas fases da ODP (El Niño pela fase positiva e La Niña pela negativa) quanto à duração do que quanto à frequência e intensidade. Ou seja, não se pode afirmar que ocorrem mais eventos ou que estes serão mais fortes em determinada fase da ODP, mas pode-se esperar diferenças nas suas durações.

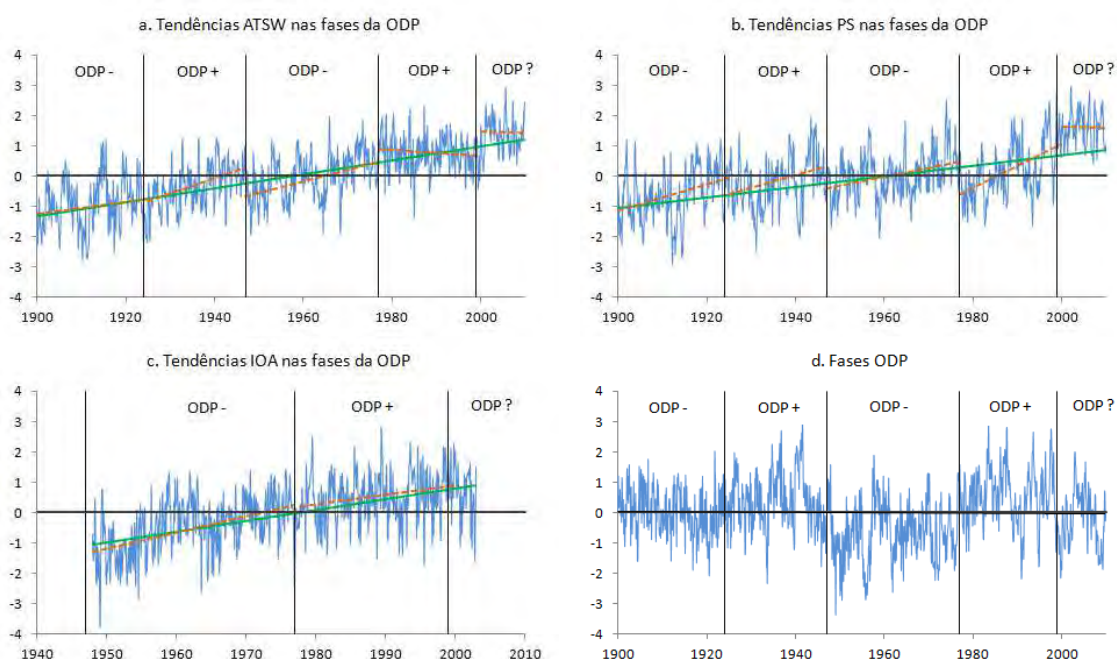


Figura 4.8 - Tendências para o período do estudo e tendências parciais para as fases da ODP das séries de ATSW (a), PS (b) e OA (c) e a série da ODP, com suas fases representadas (d).

A Tabela 4.3 mostra que ocorreram 24 eventos extremos positivos das anomalias de TSM no ATSW no período, com duração média de 12 meses, e anomalias de 0,7°C, em média, alcançando o valor mensal máximo de 1,76°C. Os extremos negativos não foram tão diferentes, com 28 ocorrências, duração média de cerca de 11 meses, com anomalia média de -0,68°C, porém com valor máximo de anomalia chegando a -2,21°C. A diferença do ATSW quanto ao ENSO, no que diz respeito à relação com ODP, é que neste caso, a frequência sofreu maior impacto, seguida pela duração, e não o oposto (Tabela 4.6). Mas também as análises feitas quanto a duração apresentaram escore acima de 0,3. Isso significa que os eventos extremos de anomalia da TSM do ATSW acima/abaixo da normal ocorrem em maior número e com maior duração nas fases positivas/negativas da ODP.

Tabela 4.2 - Início, fim, duração em meses, anomalias médias mensais e máximas dos eventos El Niño e La Niña entre 1900 e 2009. Os períodos em branco representam as fases negativas da ODP e os cinzas, as positivas. O cinza mais claro representa o período com fase ainda indefinida.

El Niño					La Niña				
Início	Fim	Duração	Média	Máxima	Início	Fim	Duração	Média	Mínima
<b>mai/02</b>	mar/03	11	1,25	1,73	<b>jun/03</b>	mar/04	10	-1,17	-1,55
<b>set/04</b>	mar/06	19	0,73	1,28	<b>jun/06</b>	mar/07	10	-0,81	-1,07
<b>jun/11</b>	fev/12	9	0,84	1,08	<b>mai/08</b>	mar/11	35	-1,15	-1,72
<b>jun/13</b>	abr/14	11	0,71	1,00	<b>jun/12</b>	fev/13	9	-0,76	-0,98
<b>jul/14</b>	fev/15	8	0,71	0,87	<b>jun/15</b>	mar/18	34	-1,29	-2,36
<b>jun/18</b>	mar/19	10	1,23	1,62	<b>ago/19</b>	fev/20	7	-0,56	-0,65
<b>jul/23</b>	fev/24	8	0,69	0,84	<b>set/21</b>	fev/22	6	-0,50	-0,56
<b>jun/25</b>	fev/26	9	0,68	0,87	<b>jun/22</b>	fev/23	9	-0,75	-0,96
<b>mai/30</b>	mar/31	11	0,97	1,35	<b>mai/24</b>	mar/25	11	-1,31	-1,82
<b>mar/40</b>	mar/42	25	1,19	2,00	<b>ago/26</b>	fev/27	7	-0,52	-0,61
<b>jun/57</b>	abr/58	11	1,03	1,48	<b>abr/33</b>	abr/34	13	-1,18	-1,86
<b>jun/63</b>	fev/64	9	0,76	0,97	<b>ago/36</b>	fev/37	7	-0,53	-0,61
<b>mai/65</b>	mar/66	11	1,22	1,69	<b>out/37</b>	mar/39	18	-0,91	-1,68
<b>ago/68</b>	fev/69	7	0,59	0,69	<b>mai/42</b>	mai/43	13	-1,09	-1,73
<b>mai/72</b>	mar/73	11	1,48	2,05	<b>ago/43</b>	fev/44	7	-0,59	-0,69
<b>jul/76</b>	mar/77	9	0,58	0,74	<b>ago/44</b>	mar/46	20	-0,79	-1,44
<b>jul/77</b>	fev/78	8	0,63	0,76	<b>mai/47</b>	mar/51	47	-0,91	-1,75
<b>mai/82</b>	mar/82	11	1,46	2,02	<b>jun/54</b>	fev/57	33	-1,09	-2,23
<b>jun/86</b>	fev/88	21	0,92	1,46	<b>set/61</b>	fev/62	6	-0,53	-0,59
<b>mai/91</b>	abr/91	12	1,07	1,61	<b>ago/62</b>	jan/63	6	-0,56	-0,65
<b>jul/93</b>	fev/95	19	0,68	1,08	<b>jun/64</b>	fev/65	9	-0,86	-1,09
<b>abr/97</b>	mar/98	12	1,83	2,68	<b>jun/70</b>	fev/72	21	-0,89	-1,33
<b>mai/02</b>	abr/02	12	1,19	1,79	<b>mai/73</b>	mar/76	35	-1,16	-2,17
<b>mai/04</b>	mar/05	11	0,81	1,13	<b>ago/83</b>	fev/84	7	-0,52	-0,61
<b>jun/05</b>	fev/07	9	0,75	0,95	<b>mai/84</b>	mar/84	11	-0,74	-1,02
					<b>mai/88</b>	abr/88	12	-1,41	-2,12
					<b>jul/95</b>	fev/96	8	-0,65	-0,78
					<b>jun/98</b>	mar/01	34	-1,04	-1,73

Os eventos extremos positivos e negativos de anomalia de TSM do PS também mostraram semelhanças entre si (Tabela 4.4). Os eventos acima da normal ocorreram 22 vezes no período, durando em média 14 meses, com anomalia média de 1,04°C e máxima de 2,29°C. Não muito diferente, os eventos extremos negativos totalizaram 23 ocorrências, com mesma duração dos positivos, anomalia média de -0,8°C e máxima de -2,24°C. Neste caso, o impacto da ODP foi muito baixo, sendo o maior escore aquele referente a duração, que foi de apenas 0,17 (Tabela 4.6).

Os eventos extremos do IOA também foram analisados e notou-se que ocorreram 15 positivos, com cerca de 11 meses de duração média, anomalia média de 0,91 e máxima de 2,43, enquanto os negativos foram 13, durando em média 11 meses, com anomalia de -0,59 e máxima de -2,76 (Tabela 4.5). A frequência dos eventos foi influenciada pela ODP, com um escore ROC de 0,53, assim com a duração, com escore de 0,41. Apesar destes altos valores, é válido ressaltar que a análise para o IOA foi feita considerando-se uma série temporal menor (1948-2009) do que para os demais índices.

Assim, numa avaliação preliminar, nota-se que o impacto da ODP ocorre, principalmente, na duração do ENOS e na duração e frequência dos eventos extremos de TSM Atlântico Sudoeste e no IOA, não mostrando influência na intensidade dos mesmos. Ressalta-se que esta é apenas uma abordagem simples e preliminar, com algumas limitações tais como: utilização de médias (o que supõe normalidade das séries e mascara os extremos), consideração de simetria dos eventos, generalização dos eventos, etc.

Tabela 4.3 - Início, fim, duração em meses, anomalias médias mensais e máximas dos eventos de TSM do ATSW acima e abaixo das normais entre 1900 e 2009. Os períodos em branco representam as fases negativas da ODP e os cinzas, as positivas. O cinza mais claro representa o período com fase ainda indefinida.

Eventos ATSW acima da normal					Eventos ATSW abaixo da normal				
Início	Fim	Duração	Média	Máxima	Início	Fim	Duração	Média	Mínima
jan/02	out/02	10	0,71	1,38	out/00	mai/01	8	-0,56	-1,00
jul/05	jul/07	25	0,83	1,63	out/04	mai/05	8	-0,71	-1,28
jun/13	nov/15	31	0,98	1,59	abr/09	nov/11	32	-0,97	-1,68
mar/19	mai/19	15	0,96	1,62	mar/16	dez/16	10	-0,36	-1,07
jul/22	jun/23	12	0,61	1,31	abr/17	out/17	7	-0,43	-1,68
mai/26	nov/26	7	0,30	0,56	jul/18	dez/18	6	-1,00	-1,25
ago/32	abr/25	9	0,78	1,73	dez/21	mai/22	6	-0,29	-0,44
dez/33	set/34	10	0,42	0,83	set/23	fev/25	18	-0,88	-1,51
abr/36	set/36	6	0,86	1,68	jul/27	mar/28	9	-0,65	-1,01
jun/38	set/39	16	0,63	0,99	abr/29	set/29	6	-0,62	-1,08
abr/40	mar/41	12	1,11	1,58	jun/31	jan/32	8	-0,85	-1,16
out/41	abr/42	7	0,64	0,84	nov/36	jun/37	8	-0,49	-0,84
dez/42	mai/42	6	0,69	1,14	ago/47	ago/48	13	-0,93	-1,78
jan/44	out/44	10	0,57	0,79	jul/49	abr/50	10	-0,75	-1,48
nov/52	ago/53	10	0,69	1,24	dez/50	mar/52	16	-0,71	-1,49
jun/58	jun/59	13	0,58	1,11	fev/55	jun/57	29	-0,73	-1,43
set/65	fev/66	6	0,90	1,71	fev/62	out/62	9	-0,59	-1,07
out/71	set/73	24	0,63	1,43	fev/63	jun/65	29	-0,93	-2,11
jan/77	mar/78	15	0,70	1,42	fev/68	dez/68	11	-1,05	-2,21
jan/80	ago/80	8	0,74	1,49	dez/74	jun/75	7	-0,42	-0,90
abr/91	nov/91	8	0,44	0,71	abr/76	set/76	6	-0,65	-0,88
jan/92	jul/92	7	0,46	0,84	out/84	jun/85	9	-0,69	-2,06
dez/00	jun/03	31	0,69	1,32	abr/88	nov/88	8	-0,78	-1,29
abr/05	dez/05	9	0,88	1,76	jan/95	jun/95	6	-0,60	-0,94
					mai/96	out/96	6	-0,56	-1,34
					mar/97	jul/98	17	-0,61	-1,25
					mar/99	nov/99	9	-0,72	-1,46
					mai/00	out/00	6	-0,61	-0,91



Tabela 4.4 - Início, fim, duração em meses, anomalias médias mensais e máximas dos eventos de TSM do PS acima e abaixo das normais entre 1900 e 2009. Os períodos em branco representam as fases negativas da ODP e os cinzas, as positivas. O cinza mais claro representa o período com fase ainda indefinida.

Eventos PS acima da normal					Eventos PS abaixo da normal				
Início	Fim	Duração	Média	Máxima	Início	Fim	Duração	Média	Mínima
<b>mai/01</b>	mar/02	11	1,28	2,23	<b>mai/00</b>	jan/01	9	-0,72	-1,24
<b>out/03</b>	abr/04	7	1,23	2,14	<b>jan/03</b>	ago/03	8	-0,47	-0,88
<b>abr/10</b>	set/10	6	1,09	1,54	<b>mar/05</b>	nov/05	9	-0,79	-1,31
<b>abr/16</b>	jan/17	10	0,99	1,49	<b>fev/12</b>	mai/13	16	-1,20	-2,07
<b>mai/17</b>	out/18	18	1,21	1,84	<b>fev/14</b>	nov/14	10	-1,20	-1,87
<b>mar/20</b>	mar/21	13	0,97	1,73	<b>mai/30</b>	jul/31	15	-0,90	-1,99
<b>set/21</b>	jul/23	23	0,96	1,88	<b>abr/32</b>	fev/33	11	-0,77	-1,08
<b>mar/25</b>	set/25	7	1,01	1,58	<b>mai/40</b>	abr/41	12	-1,16	-1,70
<b>mar/27</b>	set/27	7	1,17	2,02	<b>dez/47</b>	jan/49	14	-0,72	-1,47
<b>set/28</b>	abr/29	8	0,77	1,08	<b>mai/49</b>	dez/49	8	-0,65	-1,13
<b>jun/38</b>	out/39	17	1,06	1,77	<b>mai/53</b>	nov/53	7	-0,71	-1,26
<b>abr/42</b>	nov/44	32	1,14	2,25	<b>jan/58</b>	set/59	21	-0,87	-2,03
<b>abr/50</b>	out/50	7	0,53	1,13	<b>mar/60</b>	ago/60	6	-0,62	-0,90
<b>mai/56</b>	fev/57	10	1,15	1,67	<b>set/63</b>	abr/64	8	-0,54	-1,07
<b>set/73</b>	nov/74	15	1,22	2,29	<b>fev/65</b>	dez/66	23	-0,69	-1,61
<b>ago/88</b>	set/89	14	0,81	1,42	<b>jun/77</b>	nov/80	42	-0,98	-1,85
<b>jan/96</b>	jul/97	19	1,03	1,82	<b>mai/82</b>	nov/84	31	-0,97	-2,04
<b>set/98</b>	set/99	13	0,94	2,08	<b>mai/85</b>	dez/85	8	-0,47	-1,08
<b>mai/01</b>	fev/05	46	1,04	2,29	<b>mar/86</b>	dez/87	22	-0,75	-1,55
<b>set/05</b>	jul/06	11	1,17	1,99	<b>mai/91</b>	jun/91	14	-0,71	-1,22
<b>abr/07</b>	nov/07	8	1,11	1,68	<b>set/92</b>	dez/93	16	-0,98	-2,24
<b>mar/08</b>	jun/09	16	1,01	1,62	<b>mar/94</b>	abr/95	14	-0,86	-1,35
					<b>nov/97</b>	mai/98	7	-0,87	-1,61

Tabela 4.5 - Início, fim, duração em meses, anomalias médias mensais e máximas dos eventos de IOA acima e abaixo das normais entre 1900 e 2009. Os períodos em branco representam as fases negativas da ODP e os cinzas, as positivas. O cinza mais claro representa o período com fase ainda indefinida.

Eventos IOA acima da normal					Eventos IOA abaixo da normal				
Início	Fim	Duração	Média	Máxima	Início	Fim	Duração	Média	Mínima
<b>jul/58</b>	mar/59	9	1,09	2,00	<b>jul/48</b>	mar/49	9	-1,12	-2,76
<b>set/59</b>	mai/60	9	0,78	1,76	<b>nov/49</b>	jun/50	8	-0,41	-1,37
<b>set/61</b>	mar/63	19	0,84	1,90	<b>mar/51</b>	jul/52	17	-0,60	-1,40
<b>jul/69</b>	out/70	16	0,66	1,68	<b>set/52</b>	fev/54	18	-0,45	-1,48
<b>ago/73</b>	mai/74	10	0,74	1,38	<b>jan/65</b>	nov/65	11	-0,42	-1,64
<b>out/78</b>	set/79	12	0,99	2,43	<b>set/68</b>	mar/68	7	-0,47	-1,19
<b>dez/81</b>	ago/82	9	0,81	1,41	<b>jan/72</b>	ago/72	8	-0,44	-0,85
<b>mai/85</b>	dez/85	8	0,90	1,90	<b>set/76</b>	jul/77	11	-0,60	-2,43
<b>jan/89</b>	ago/89	8	0,89	2,37	<b>jan/80</b>	jul/80	7	-0,34	-1,10
<b>mai/93</b>	fev/94	10	0,92	1,77	<b>abr/91</b>	ago/92	17	-0,64	-1,90
<b>mar/98</b>	out/98	8	0,66	1,46	<b>jul/96</b>	fev/97	8	-0,56	-1,67
<b>fev/03</b>	fev/05	25	1,06	1,69	<b>jul/00</b>	abr/00	10	-0,68	-1,97
<b>set/05</b>	jul/06	11	1,17	1,99	<b>mar/02</b>	dez/02	10	-0,94	-2,48
<b>abr/07</b>	nov/07	8	1,11	1,68					
<b>mar/08</b>	jun/09	16	1,01	1,62					

Tabela 4.6 - Escore ROC para as tabelas de contingência que relacionam a ocorrência de eventos extremos de ENOS e anomalias de ATSW, PS e IOA com as fases da ODP. Análise quanto à frequência, duração e intensidade dos eventos.

	Frequência	Duração (meses)	Intensidade (Média)	Intensidade (Extremos)
ENOS	-0,04	0,27	0,09	0,14
ATSW	0,43	0,37	-0,06	-0,06
PS	-0,07	-0,17	-0,09	-0,06
OA	0,53	0,41	0,07	0,07

### 4.1.3 Correlações entre os índices de TSM do Atlântico e Pacífico, IOA e ODP

#### 4.1.3.1 Correlações Totais

A Figura 4.9 mostra as correlações sazonais, simultâneas e defasadas entre o Niño 3.4 e ATSW. Em 4.9a, notam-se correlações significativas mais altas para o período de outono austral (MAM) com o ENOS precedendo o ATSW de 2 a 4 meses, com coeficiente de correlação de 0,4 aos 3 meses de defasagem, e no verão (DJF), com 5 a 6 meses de defasagem, e coeficiente de 0,34. No inverno (JJA) também se observam correlações significativas, mas com uma defasagem maior (8 a 10 meses). Considerando as fases da ODP, estas diferenças são notáveis. Na fase negativa (Figura 4.9b), as correlações se tornam mais intensas, alcançando valores acima de 0,58, que são até 45% mais alto do que para o período inteiro. Já na fase positiva (Figura 4.9c), os valores de correlação são tão baixos que, praticamente, deixam de ser significativos.

A Figura 4.10 apresenta as correlações sazonais negativas do Niño 3.4 com PS. Na Figura 4.10a, notam-se correlações significativas mais altas para os períodos de verão e outono com o ENOS precedendo o PS de 3 a 6 meses. Na fase negativa (Figura 4.10b), nota-se, como para o ATSW, que as correlações intensificam-se. Os valores chegam a -0,7, e são até 40% mais altos do que para o período inteiro, isso ocorre especialmente para MAM, com 4 a 5 meses de defasagem. Já na fase positiva (Figura 4.10c), os valores são ainda mais altos e significativos, porém para períodos diferentes. Esses valores alcançam seus máximos em DJF (0-2 meses de defasagem), JJA (4-7 meses) e SON (0-6 meses), mas também têm valores significativos em MAM.

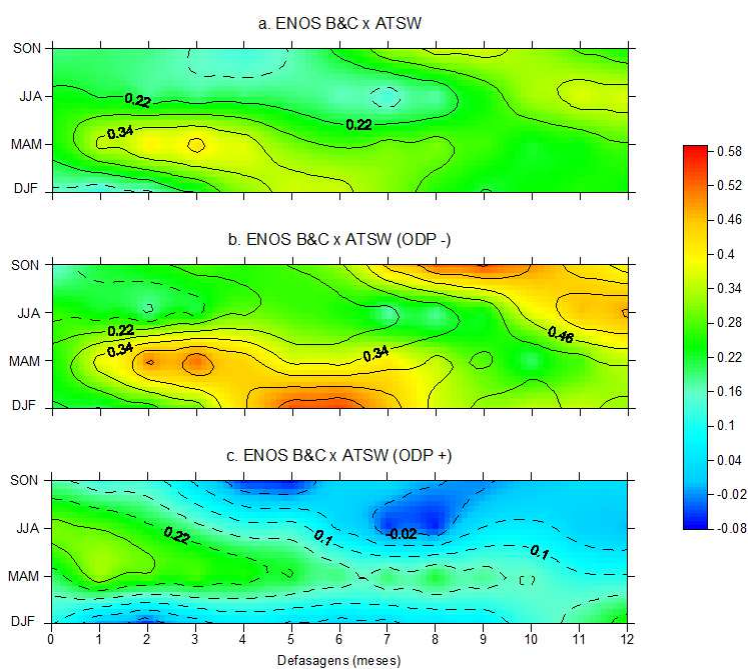


Figura 4.9 - Correlações entre ENOS e ATSW para a) período completo (1900-2009), b) fases negativas da ODP e c) fases positivas da ODP. As linhas contínuas indicam as correlações significativas a 5%.

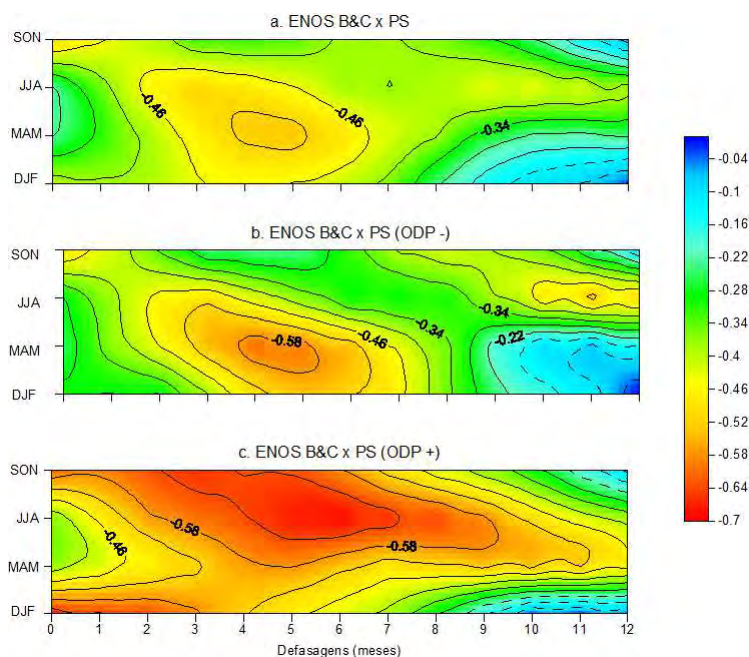


Figura 4.10 - Correlações entre ENOS e PS para a) período completo (1900-2009), b) fases negativas da ODP e c) fases positivas da ODP. As linhas contínuas indicam as correlações significativas a 5%.

Na Figura 4.11a, notam-se correlações negativas e significativas entre o PS e o ATSW no inverno, simultânea e com defasagens de até 5 meses. Considerando as fases da ODP separadamente, observam-se correlações mais fortes. Na fase negativa (Figura 4.11b), o valor do coeficiente até dobra, para o mesmo período. Porém, nota-se também um período com correlações positivas, no verão, persistindo até 4 meses. Já na fase positiva (Figura 4.11c), as correlações são bem mais intensas, com valores alcançando -0.57, no inverno (até 4 meses de defasagem) e no outono (até 2 meses).

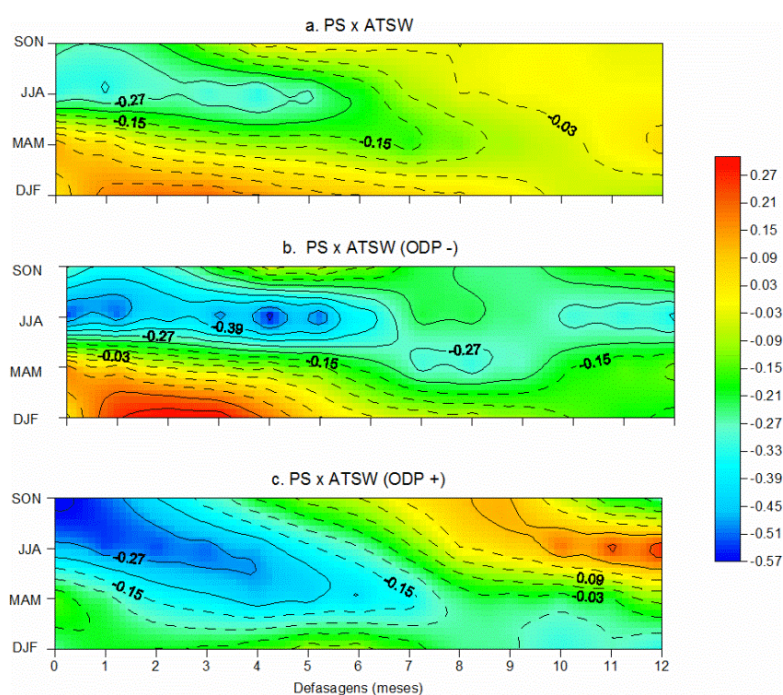


Figura 4.11 - Correlações entre o PS e o ATSW para a) período completo (1900-2009), b) fases negativas da ODP e c) fases positivas da ODP. As linhas contínuas indicam as correlações significativas a 5%.

A Figura 4.12 mostra as correlações entre ENOS e OA na qual se notam valores de correlações negativas significativas entre ambos, sendo que em DJF e MAM o ENOS precede a OA por até 2 meses, em JJA por 3 a 6 meses e em SON por 1 mês. Correlações negativas entre ENOS e OA também foram encontradas por Pohl et al. (2010), porém seus resultados foram significativos apenas no verão austral. Na fase negativa da ODP (Figura 4.12b) nota-se que esta correlação fica mais forte em MAM, porém aparece correlação predominantemente positiva com maiores defasagens (7-12

meses) para os períodos mais quentes do ano (SON e DJF). Já para ODP positiva (Figura 4.12c) identifica-se uma intensificação do quadro mostrado em (Figura 4.12a), no que diz respeito aos períodos de JJA e SON, onde se notam, para as mesmas defasagens, correlações de até 0,62.

Quanto às relações entre OA e ATSW, a Figura 4.13a evidencia correlações negativas em DJF (com OA precedendo por 1-3 meses) e MAM (por 3-5 meses). Situação diferente ocorre na fase negativa da ODP (Figura 4.13b), onde se observa correlação positiva em SON, com defasagem de até 1 mês. Já na fase positiva da ODP (Figura 4.13c) aparece configuração semelhante a da Figura 4.13a, porém, com maior intensidade da correlação, que chega ao valor de -0,56.

A Figura 4.14 mostra que as correlações entre OA e PS são significativas apenas na fase negativa da ODP e para JJA, com OA precedendo PS por 8 a 11 meses.

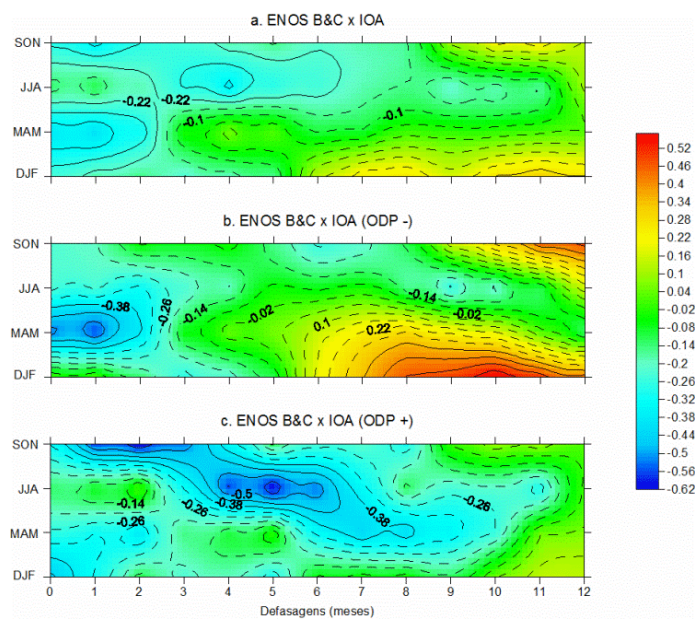


Figura 4.12 - Correlações entre o ENOS e a OA para a) período completo (1900-2009), b) fases negativas da ODP e c) fases positivas da ODP. As linhas contínuas indicam as correlações significativas a 5%.

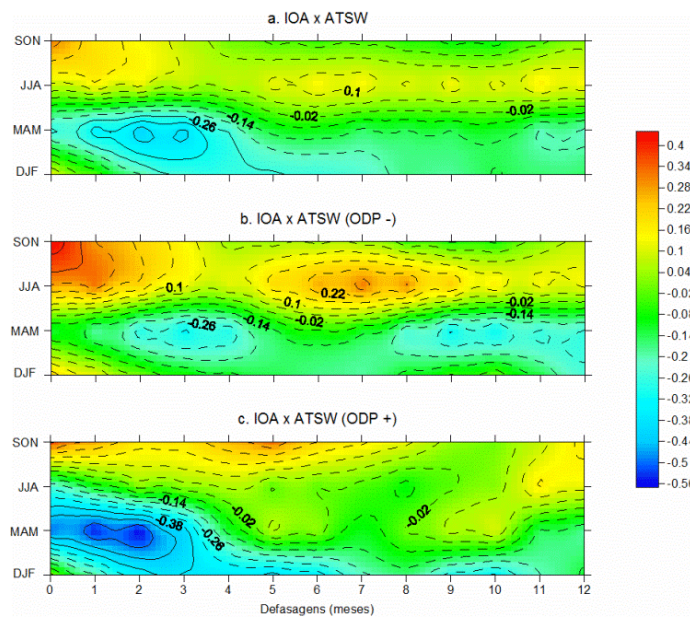


Figura 4.13 - Correlações entre a OA e o ATSW para a) período completo (1900-2009), b) fases negativas da ODP e c) fases positivas da ODP. As linhas contínuas indicam as correlações significativas a 5%.

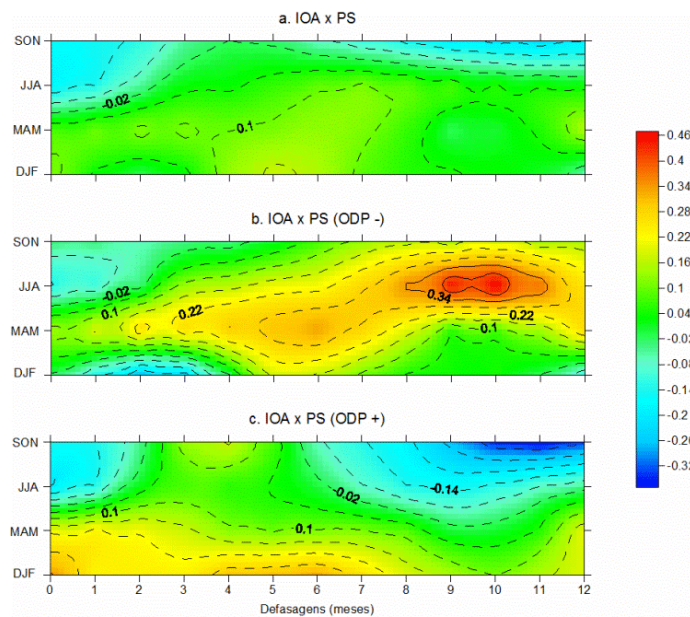


Figura 4.14 - Correlações entre a OA e o PS para a) período completo (1900-2009), b) fases negativas da ODP e c) fases positivas da ODP. As linhas contínuas indicam as correlações significativas a 5%.

A Figura 4.15 mostra como a ODP está correlacionada sazonalmente com ENOS, OA, ATSW e PS. Nota-se (Figura 4.15a) que a correlação mais forte ocorre com o ENOS, sendo positiva e persistindo por 3 meses, sendo que no inverno essa persistência é

maior, entendendo-se por até 8 meses. As relações entre ODP e OA (Figura 4.15b) e também com ATSW (Figura 4.15c) são bem mais fracas. Já com PS é negativa e significativa, especialmente nos meses mais frios, com sua persistência estendendo-se principalmente até 6 meses (Figura 4.15d).

Ainda pela Figura 4.15 pode-se observar que a ODP influencia mais o ENOS e o PS, ou seja, sua influencia estaria restrita ao Pacífico, e ocasionaria diferentes impactos no ATSW e na OA devido a esta influência indireta. Analisando as Figuras 4.9 a 4.14 nota-se que basicamente as correlações derivam de algumas relações principais. Assim, o ENOS é claramente influenciado pela ODP e o ATSW não (Figura 4.15), mas as correlações (positivas) do ENOS com ATSW (Figura 4.9) são mais fortes na fase negativa da ODP. As correlações entre ENOS e PS têm sinal oposto (negativo) e também oposta é a fase da ODP, com sinal de correlação mais alto (positiva). O mesmo ocorre com as relações entre PS e ATSW, ENOS e IOA e IOA e ATSW; voltando a inverter (correlação positiva e ODP negativa) na relação IOA e PS.

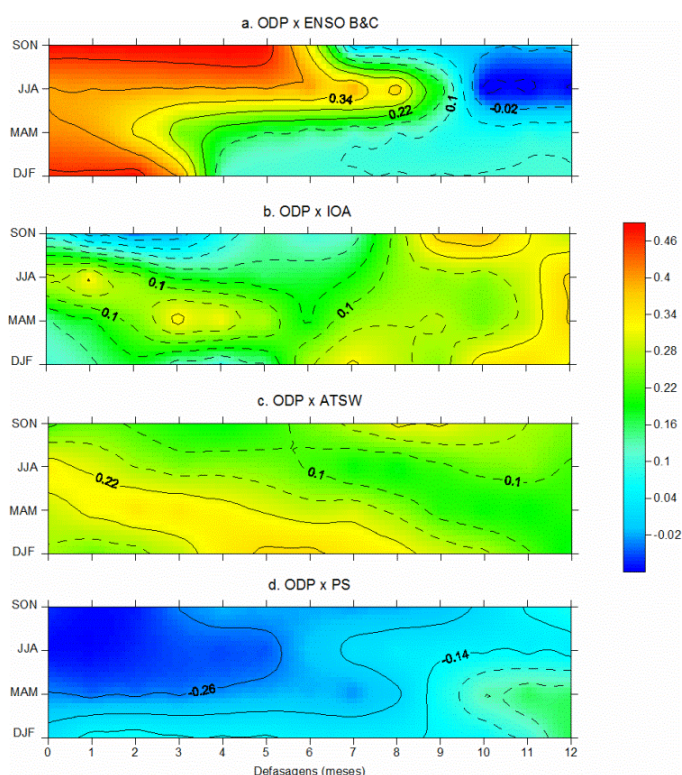


Figura 4.15 - Correlação entre a ODP e a) o ENSO, b) a OA, c) o ATSW e d) o PS para o período completo (1900-2009). As linhas contínuas indicam as correlações significativas a 5%.

Concluindo, estudos de correlação envolvendo o impacto do ENOS no Pacífico Sul e no Atlântico Sudoeste, ou entre esses dois oceanos indiretamente, ou mesmo envolvendo índices atmosféricos (IOA), devem considerar as fases da ODP. Também é importante salientar as diferentes defasagens e a sazonalidade, que são características de cada correlação entre os diferentes índices, e que devem ser levadas em conta, pois as correlações mais intensas nem sempre ocorrem simultaneamente e há uma estação do ano preferencial na qual o sinal é mais forte.

#### **4.1.3.2 Correlações Parciais**

Na Figura 4.16, tem-se as correlações cruzadas sazonais do ENOS com o ATSW, comparadas com as parciais sem a influência da ODP. Em todas as estações do ano, nota-se que os valores de correlação são mais baixos sem a influência da ODP. Isso indica a importância de considerar o impacto da ODP nas relações entre ENOS e ATSW. Em DJF, observa-se que a correlação desconsiderando-se o impacto da ODP diminui em até 29%, justamente nas defasagens que correspondem aos valores mais altos (5 e 6 meses). Para MAM, o maior coeficiente de correlação ocorre com 3 meses de defasagem, e seu valor sem a influência da ODP reduz-se em até 16%. Nos meses de inverno, as correlações mais altas ocorrem numa defasagem maior, que chega a 11 meses. Neste caso, o impacto da ODP nas correlações é menor (cerca de 6%). Já em SON, o impacto do ENOS no ATSW é mais acentuado com 8 a 9 meses de defasagem, sendo que sem o impacto da ODP este valor é reduzido em até 19%.

Na Figura 4.17, nota-se que o impacto da ODP no ATSW é menor do que do ENOS (Figura 16), e que desconsiderada a influência do ENOS, os valores de correlação ficam ainda menores, deixando mesmo de serem significativos a 5%. Elas diminuem em até 48% em DJF, de seu valor máximo que ocorre com 5-6 meses de defasagem; até 58% em MAM, para o máximo com 3 meses de defasagem; 28% em JJA, simultaneamente; e 69% em SON com 8 meses de defasagem. Isto mostra que a ODP tem impacto no ATSW, mas que o provável mecanismo associado à esta ligação é o ENOS, uma vez que desconsiderando sua atuação, as correlações deixam de ser significativas.



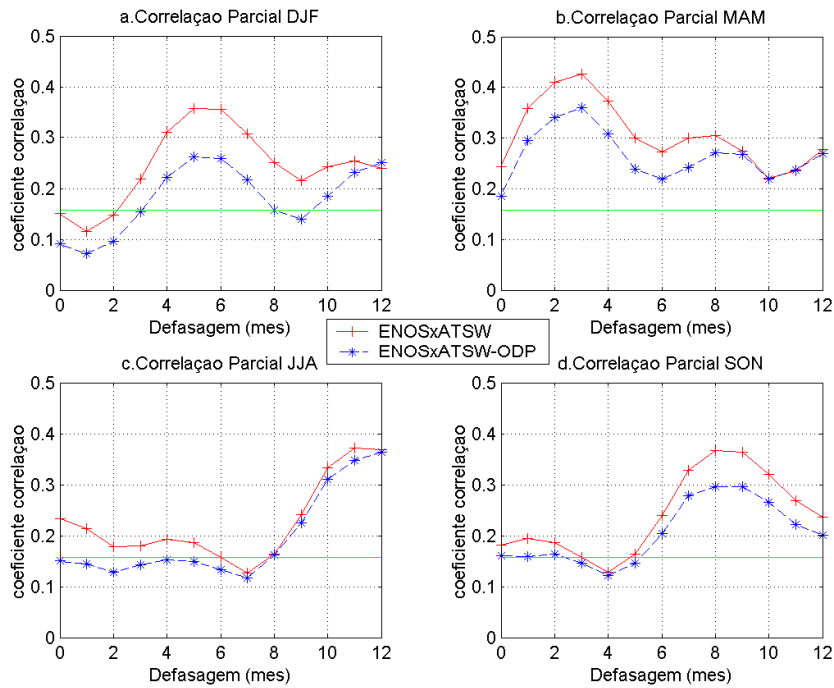


Figura 4.16 - Correlações totais do ENOS com o ATSW (linha vermelha) e parciais do ENOS com o ATSW menos a influência da ODP (linha azul) para a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON. A linha verde indica nível de significância 5%.

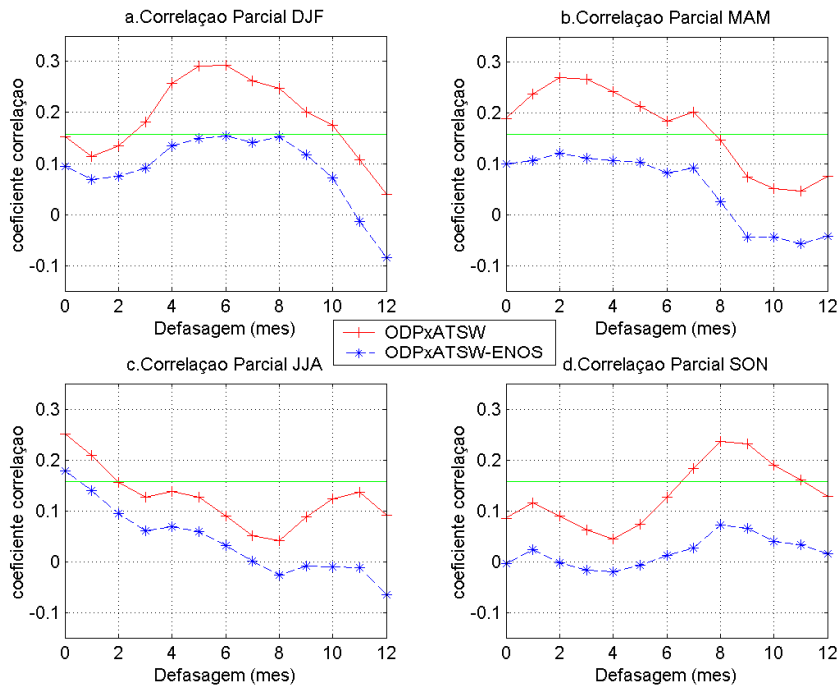


Figura 4.17 - Correlações totais da ODP com o ATSW (linha vermelha) e parciais da ODP com o ATSW menos a influência do ENOS (linha azul) para a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON. A linha verde indica nível de significância 5%.

Na primavera e no verão, nota-se pela Figura 4.18, que as correlações entre ENOS e ATSW são mais intensas quando é retirada a influência do Pacífico. É válido lembrar que os sinais das correlações entre PS e ENOS, e PS e ATSW são negativas, muitas vezes. No outono e no inverno, essa diferença é muito pequena para correlações significativas. A Figura 4.19 também mostra que as correlações entre PS e ATSW são maiores quando é retirada a influência do ENOS, a menos quando essas correlações são negativas. Isto, aliado ao resultado da Figura 4.18, indica que, provavelmente, o ENOS pode influenciar o ATSW não somente através do PS, mas também via atmosfera, e que a influência do PS no ATSW também pode ser independente do ENOS, portanto, há a possibilidade de ambas serem construtivas ou destrutivas.

Na Figura 4.20 verifica-se que, com exceção do verão, na qual as diferenças são desprezíveis, os demais períodos do ano mostram que os valores dos coeficientes de correlação ficam mais baixos (em módulo, pois esta correlação é negativa) entre ENOS e PS quando a ODP é desconsiderada. Também se observam as diferenças sazonais com relação às defasagens das correlações. Em DJF e MAM, os máximos valores de correlação ficam entre 4-5 meses, enquanto para JJA esse valor ocorre em 3 meses e para SON, simultaneamente.

Em relação à Figura 4.21, nota-se que se retirando o impacto do ENOS, a correlação entre ODP e PS, que já era baixa, torna-se não significativa, assim como ocorreu para o ATSW (Figuras 4.20 e 4.21). Isso indica que, tanto para o ATSW como para o PS, o agente é o ENOS, que influencia as duas áreas, com a ODP intensificando estas relações.

A Figura 4.22 mostra que a correlação entre ENOS e OA não tem grandes variações quando desconsiderada a ODP. Nota-se que não há um padrão entre os períodos do ano e que as mudanças que ocorrem dentro dos valores significativos não são maiores que 0,5 nos coeficientes de correlação. O mesmo se dá nas correlações entre ODP e OA (Figura 4.23), desconsiderando-se a influência do ENOS.

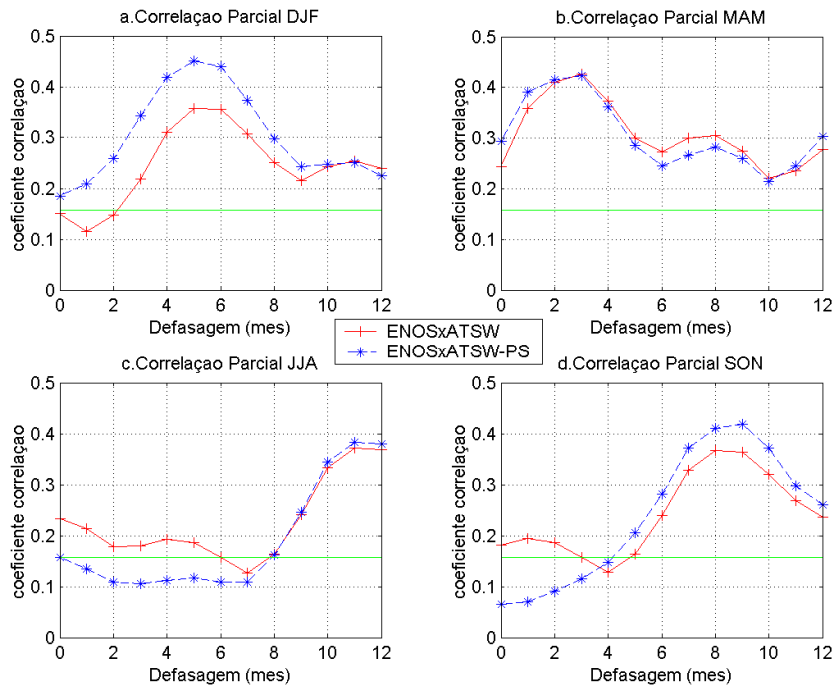


Figura 4.18 - Correlações totais do ENOS com o ATSW (linha vermelha) e parciais do ENOS com o ATSW menos a influência do PS (linha azul) para a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON. A linha verde indica nível de significância 5%.

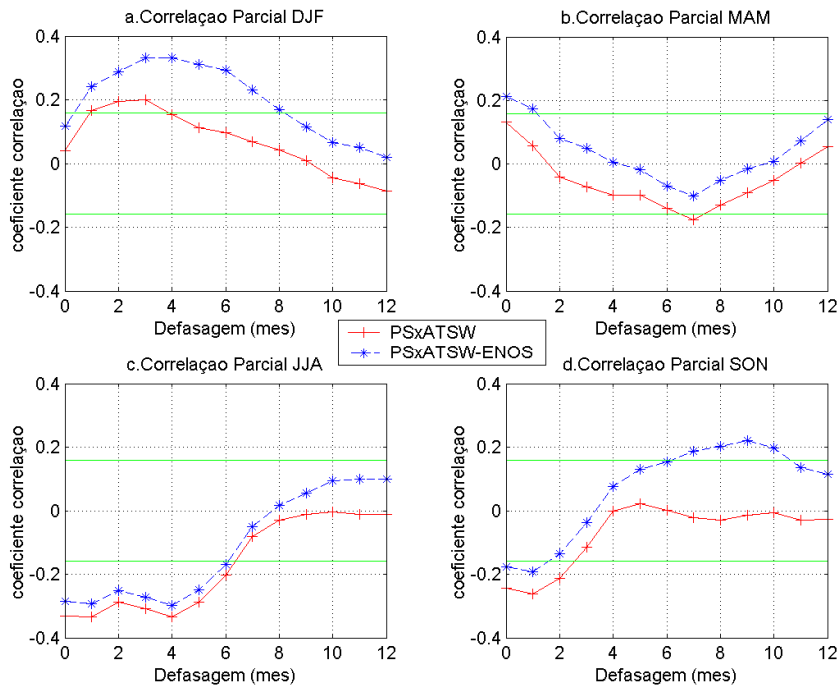


Figura 4.19 - Correlações totais do PS com o ATSW (linha vermelha) e parciais do PS com o ATSW menos a influência do ENOS (linha azul) para a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON. A linha verde indica nível de significância 5%.

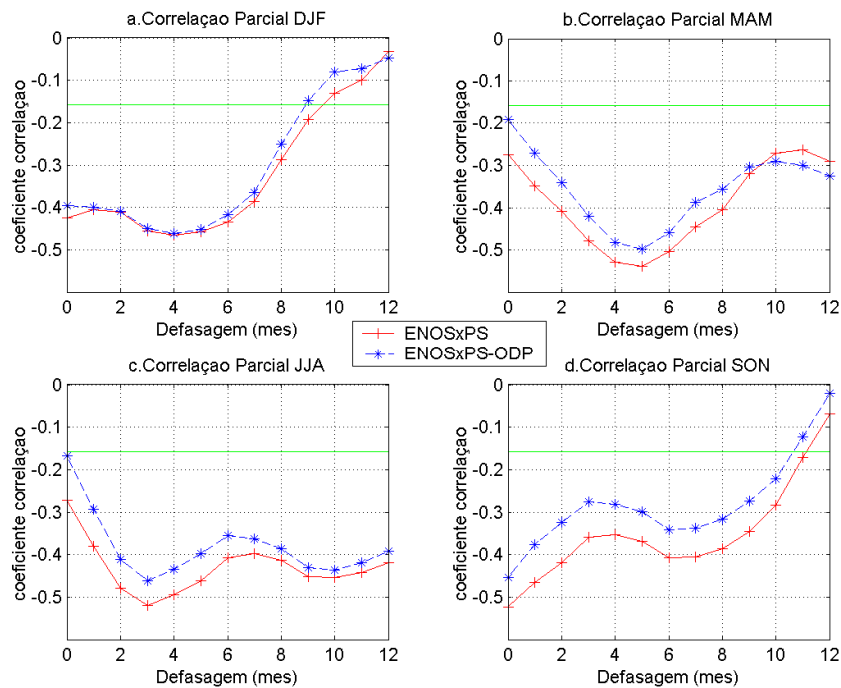


Figura 4.20 - Correlações totais do ENOS com o PS (linha vermelha) e parciais do ENOS com o PS menos a influência da ODP (linha azul) para a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON. A linha verde indica nível de significância 5%.

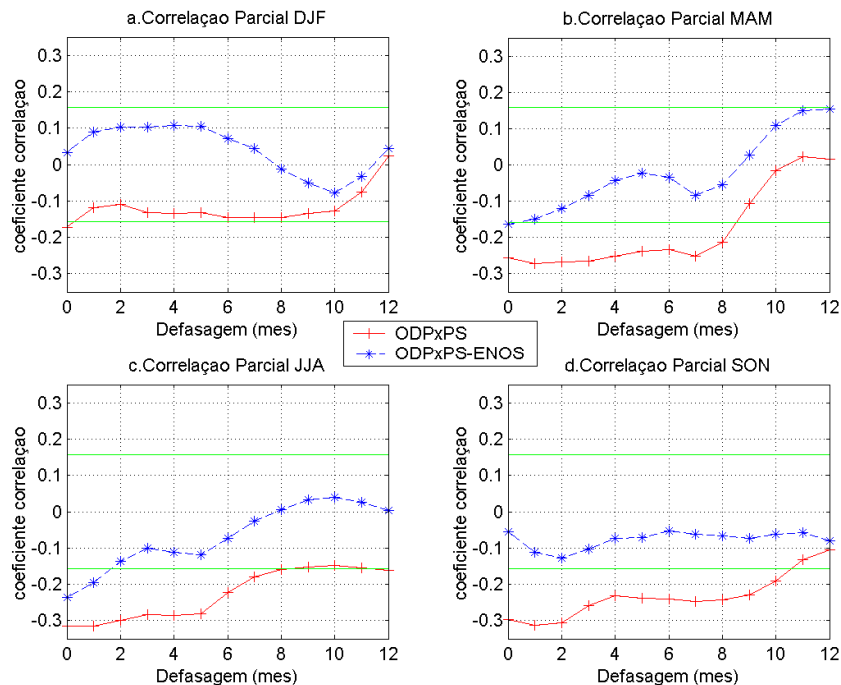


Figura 4.21 - Correlações totais da ODP com o PS (linha vermelha) e parciais da ODP com o PS menos a influência do ENOS (linha azul) para a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON. A linha verde indica nível de significância 5%.

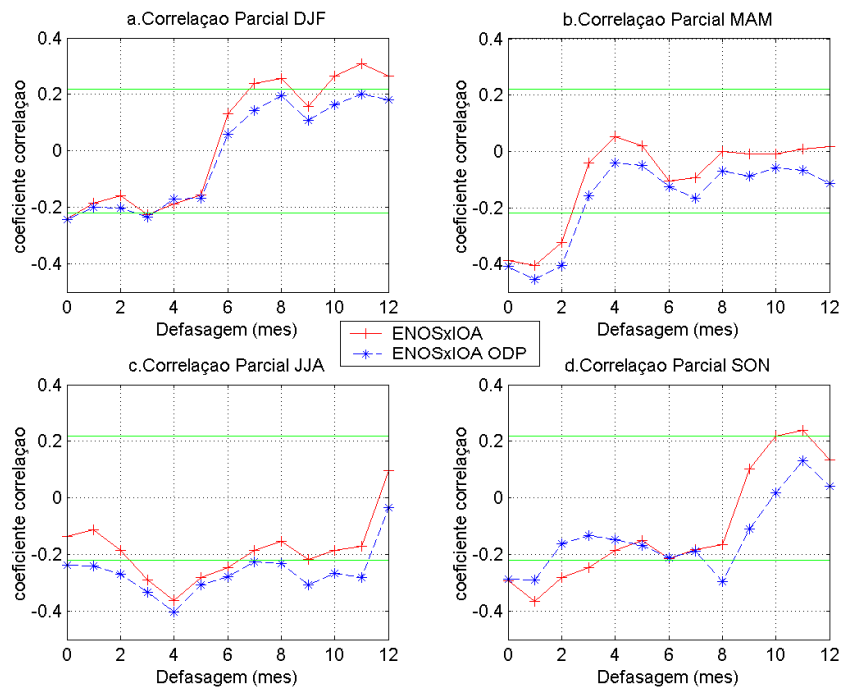


Figura 4.22 - Correlações totais do ENOS com a OA (linha vermelha) e parciais do ENOS com a OA menos a influência da ODP (linha azul) para a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON. A linha verde indica nível de significância 5%.

Quanto à influência da OA nas relações entre ENOS e ATSW (Figura 4.24), nota-se que, desconsiderando-a, as correlações diminuem em até 20% em DJF e MAM. Observa-se aqui que as correlações podem mudar de sinal, dependendo da estação do ano. Já as correlações entre a OA e o ATSW (Figura 4.25) ficam sempre maiores sem o ENOS, mas como estas correlações são predominantemente negativas, desconsiderando o ENOS as relações ficam menos significativas, especialmente em DJF e MAM. Esses coeficientes são pequenos e as diferenças também.

Para as relações do PS com ENOS e ATSW (Figuras 4.26 e 4.27), é praticamente negligenciável a influência da OA, o mesmo ocorrendo quanto a influência do PS nas correlações entre OA e ATSW (Figura 4.28).

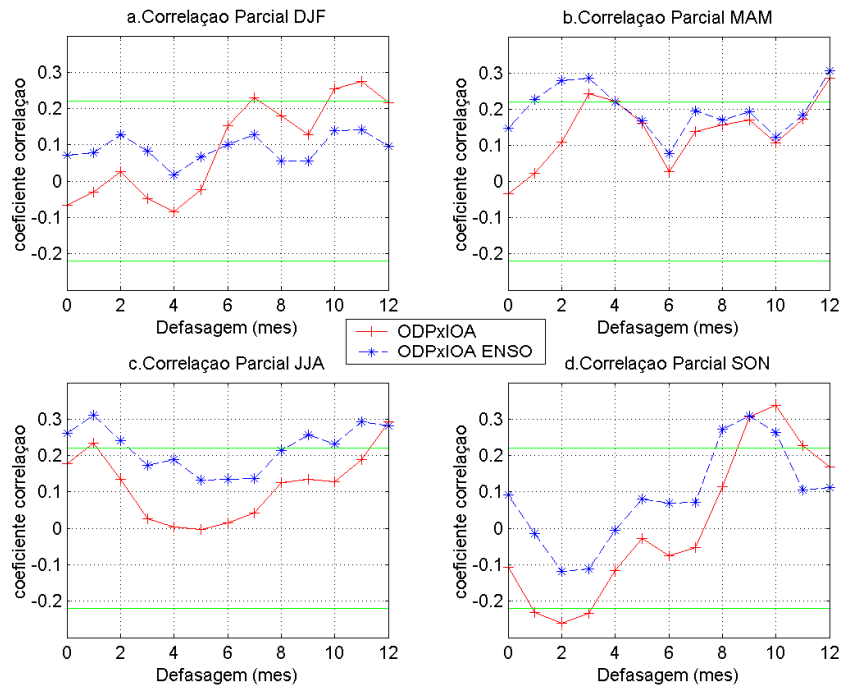


Figura 4.23 - Correlações totais da ODP com a OA (linha vermelha) e parciais da ODP com a OA menos a influência do ENOS (linha azul) para a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON. A linha verde indica nível de significância 5%.

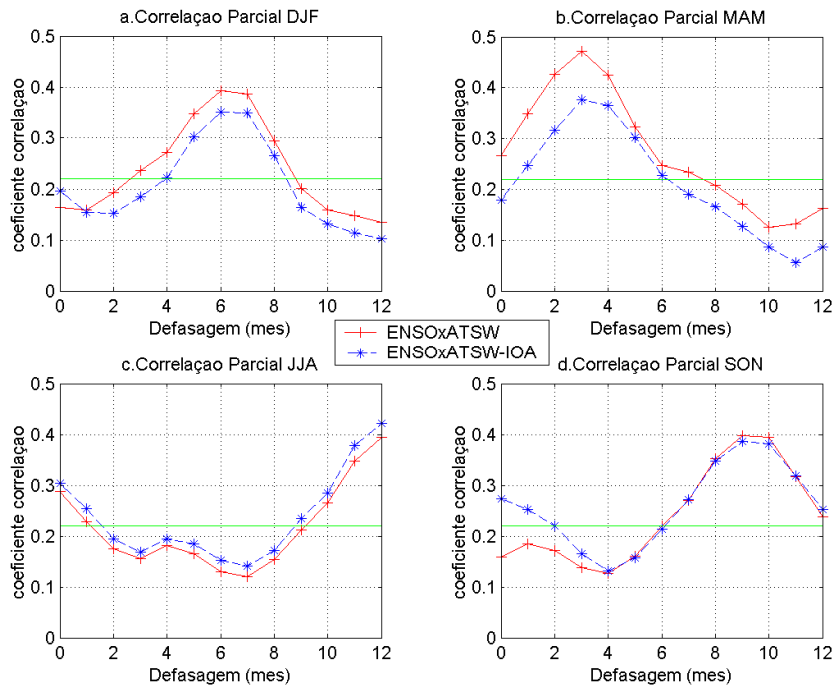


Figura 4.24 - Correlações totais do ENOS com o ATSW (linha vermelha) e parciais do ENOS com o ATSW menos a influência da OA (linha azul) para a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON. A linha verde indica nível de significância 5%.

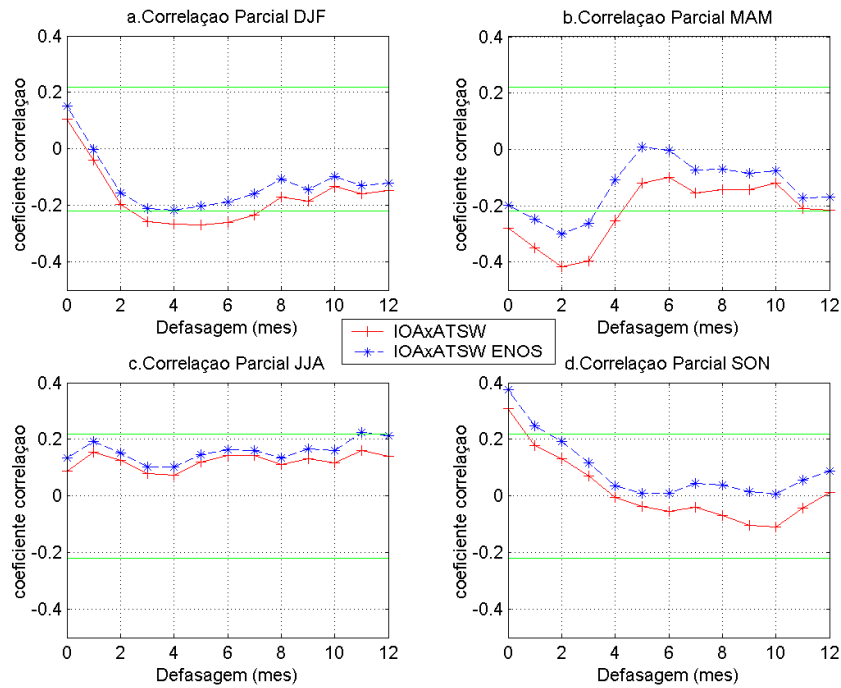


Figura 4.25 - Correlações totais da OA com o ATSW (linha vermelha) e parciais da OA com o ATSW menos a influência do ENOS (linha azul) para a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON. A linha verde indica nível de significância 5%.

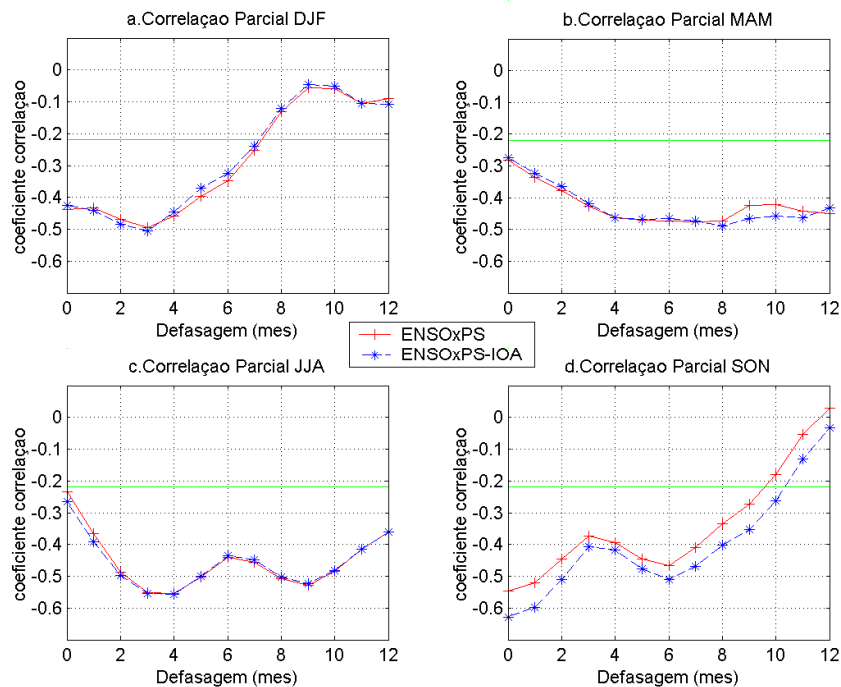


Figura 4.26 - Correlações totais do ENOS com o PS (linha vermelha) e parciais do ENOS com o PS menos a influência da OA (linha azul) para a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON. A linha verde indica nível de significância 5%.

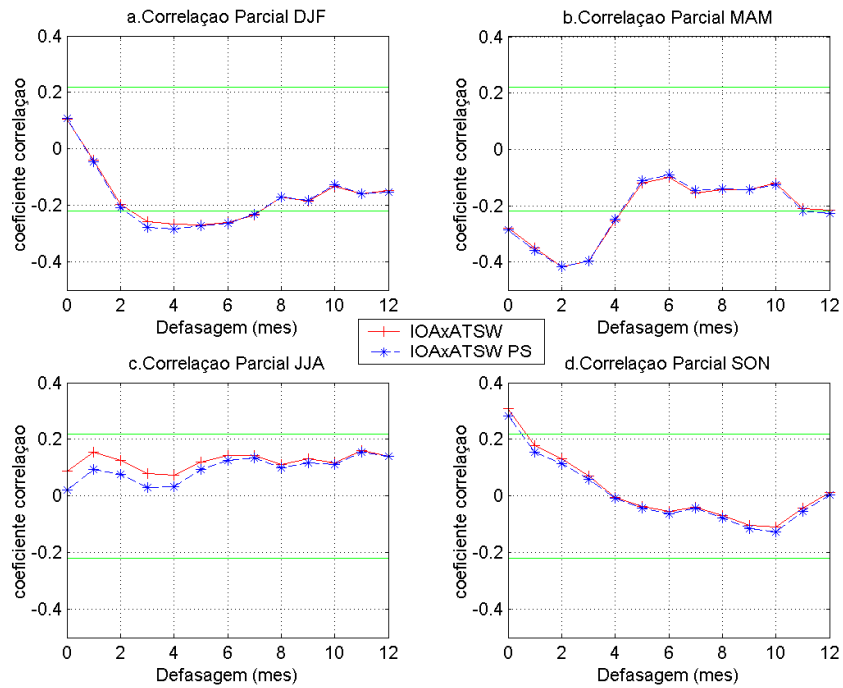


Figura 4.27 - Correlações totais da OA com o ATSW (linha vermelha) e parciais da OA com o ATSW menos a influência do PS (linha azul) para a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON. A linha verde indica nível de significância 5%.

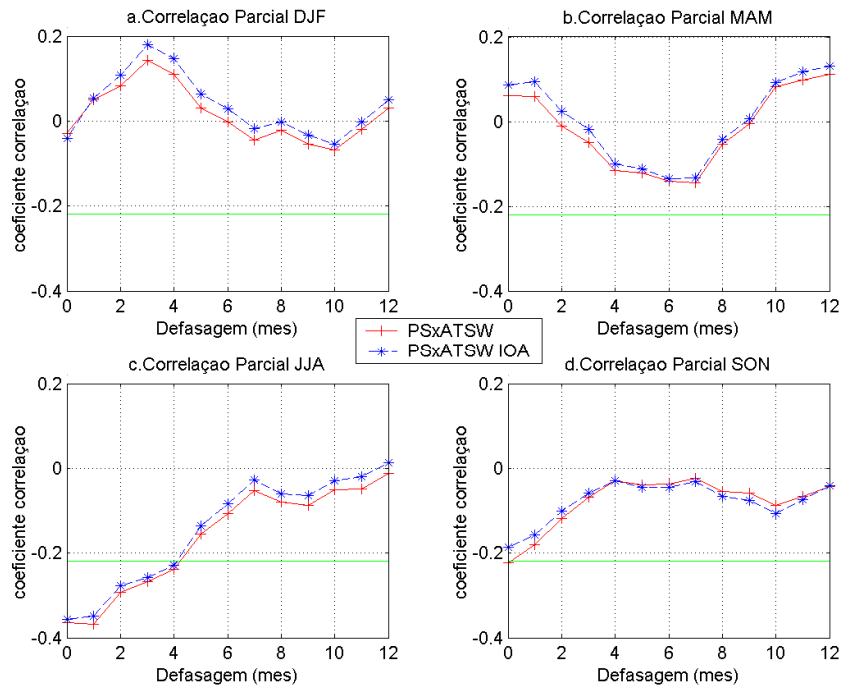


Figura 4.28 - Correlações totais do PS com o ATSW (linha vermelha) e parciais do PS com o ATSW menos a influência da OA (linha azul) para a) DJF, b) MAM, c) JJA e d) SON. A linha verde indica nível de significância 5%.



#### **4.1.4 Tabelas de Contingência**

##### **4.1.4.1 Tabelas de Contingência pelo Escore ROC**

As Figuras 4.29 e 4.30 apresentam os escores ROC obtidos na análise de tabelas de contingência considerando-se a influência do ENOS no ATSW, condicionados às fases da ODP. O impacto é direto, isto é, TSM acima/abaixo das normais no Pacífico Equatorial (El Niño/La Niña) estão associadas com TSM acima/abaixo das normais no ATSW. Este resultado é concordante com o encontrado por Severov et al. (2004), que mostram que eventos El Niño estão associados ao aumento das TSM da corrente do Brasil, enquanto eventos La Niña estão associados com a diminuição da TSM nesta região. Desses gráficos observam-se diferenças, em todas as estações do ano, quanto ao impacto da La Niña associado às TSM abaixo das normais no ATSW e do El Niño às TSM acima das normais. Isso significa que a influência do ENOS não é exatamente antissimétrica no ATSW. Apesar de o serem quanto ao sinal, não o são quanto à intensidade e a defasagem. Ainda assim, os resultados permitem que se façam as seguintes observações: Tanto para El Niño como para La Niña, os valores máximos dos escores variam entre 0,66 e 0,91 (numa escala de 0 a 1), que são considerados valores altos. Estes máximos ocorrem sempre na fase negativa do ODP. Além disso, para ambas as fases do ENOS, a defasagem deste valor máximo depende da estação do ano, sendo de 5-6 meses para DJF, 2-3 meses para MAM, 12 meses para JJA e 9-10 meses para SON. Isso é, os impactos convergem para o inverno seguinte à fase madura do evento, que ocorre no verão austral. Pereira et al. (2005) também encontraram que as maiores diferenças nos campos das anomalias de TSM do ATSW nas diferentes fases do ENOS ocorrem nos meses de inverno. O impacto mais fraco foi verificado em MAM (outono, ou fase de dissipação dos eventos La Niña e El Niño) e o mais forte em SON (primavera, fase de desenvolvimento).

Quanto à influência do ENOS no PS, observa-se nas Figuras 4.31 e 4.32 que os resultados para El Niño e La Niña, mais uma vez, mostraram semelhanças. Os Escores máximos também apresentam valores altos, variando entre 0,84 e 0,92, na fase positiva da ODP. As defasagens destes máximos são de 1-4 meses em DJF, 1-7 meses em

MAM, variam entre 1-4 e 5-11 em JJA e 0-2 e 4-7 em SON. Isso mostra que há dois períodos em que os impactos estão mais concentrados: MAM (outono) e SON (primavera). Este resultado difere do encontrado para o ATSW.

Menos intensas e definidas são as relações entre PS e ATSW (Figuras 4.33 e 4.34). Os únicos Escores máximos acima de 0,6 são aqueles referentes ao período de inverno, que é de 0,81, na fase negativa da ODP. Porém as defasagens são diferentes, dependendo do sinal da anomalia de TSM do PS. Quando a anomalia é negativa, o impacto é simultâneo, se positiva, é de 4 meses.

O ENOS também está associado à OA (Figuras 4.35 e 4.36), tanto para eventos de La Niña como El Niño, em DJF com defasagem de 4 meses e em MAM com 1 mês. Portanto, esta associação se dá no outono seguinte à fase madura do ENOS (verão). Ambos os Escores máximos foram de 0,71 e ocorreram na fase negativa da ODP. O El Niño ainda mostrou escore de 0,75 em JJA com defasagem de 11 meses e em SON de 8 meses (ou o inverno seguinte à fase madura), porém para a fase positiva da ODP.

Mais intensos foram as relações entre a OA e o ATSW (Figuras 4.37 e 4.38), no período de MAM, com defasagem de 3 meses. Nestes casos, o escore chegou a 0,92 (quando IOA é positivo) e 0,99 (IOA negativo), tendo sinal oposto no ATSW, para ODP +. Ainda aparecem, em ambos os casos, escore de 0,71 para DJF, mas com defasagem de 12 meses, mas neste caso, para ODP -.

Das Figuras 4.39 e 4.40 nota-se a associação da OA com o PS, que é mais intensa (escore ROC=0,87) em SON com defasagem de nove meses, quando o IOA é negativo, na fase negativa da ODP e em MAM (0,92) com defasagem de 2-6 meses, quando o IOA é positivo, na fase positiva da ODP. Sendo assim, a relação mais forte com o Pacífico Sul vai ocorrer, para os dois casos, no inverno.

As Figuras 4.41 e 4.42 abordam o impacto da ODP no ATSW, ENOS, PS e OA. Nota-se que, predominantemente, o ENOS é o mais impactado, sendo sua influência maior no verão, já que para ODP positiva o escore para o ENOS chegou a 0,67 para DJF, com 0-2 meses de defasagem, para JJA, 0,53 com 8 meses e SON, 0,6 com 5-6 meses; e para a

fase negativa, em JJA, 0,32 com 8 meses e em SON, 0,61 com 0 a 5 meses, todos convergindo, assim, para o período quente.

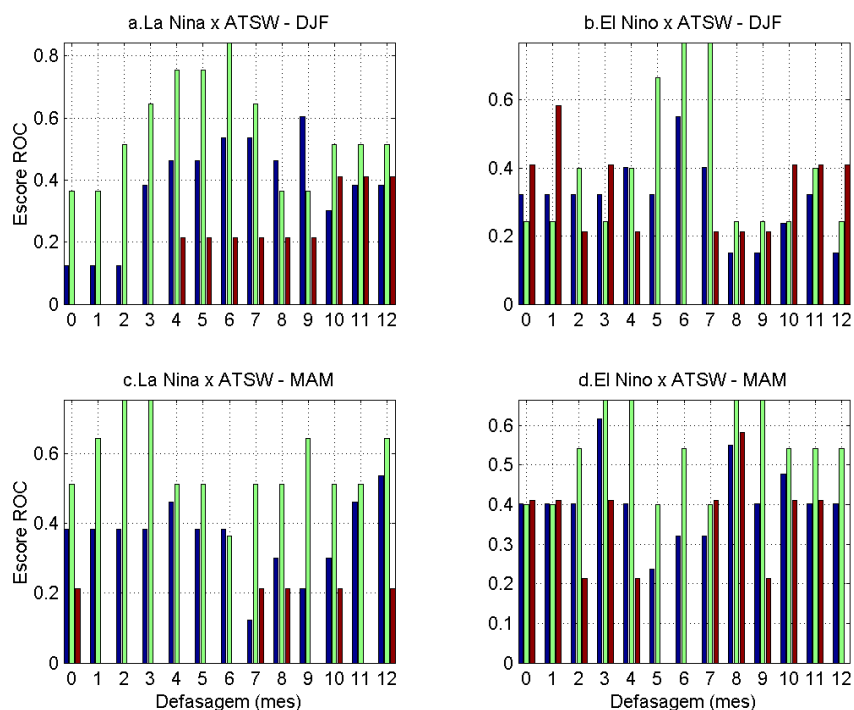


Figura 4.29 - Escores ROC obtidos da análise de tabelas de contingência considerando-se o impacto da La Niña associado às TSM abaixo das normais do ATSW em DJF (a), do El Niño associado às TSM acima das normais do ATSW em DJF (b) da La Niña associado às TSM abaixo das normais do ATSW em MAM (c), do El Niño associado às TSM acima das normais do ATSW em MAM (d) simultâneos e defasados em até 12 meses. As barras azuis representam os resultados para todo o período do estudo, as verdes para as fases negativas da ODP e as vermelhas, as fases positivas.

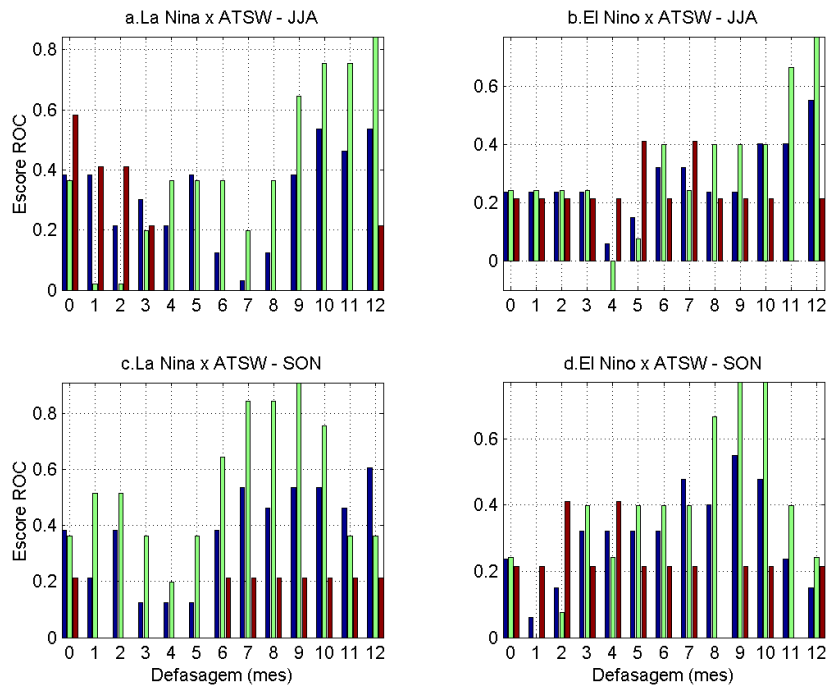


Figura 4.30 - Idem a Figura 4.29, mas para JJA (a) e (b) e SON (c) e (d).

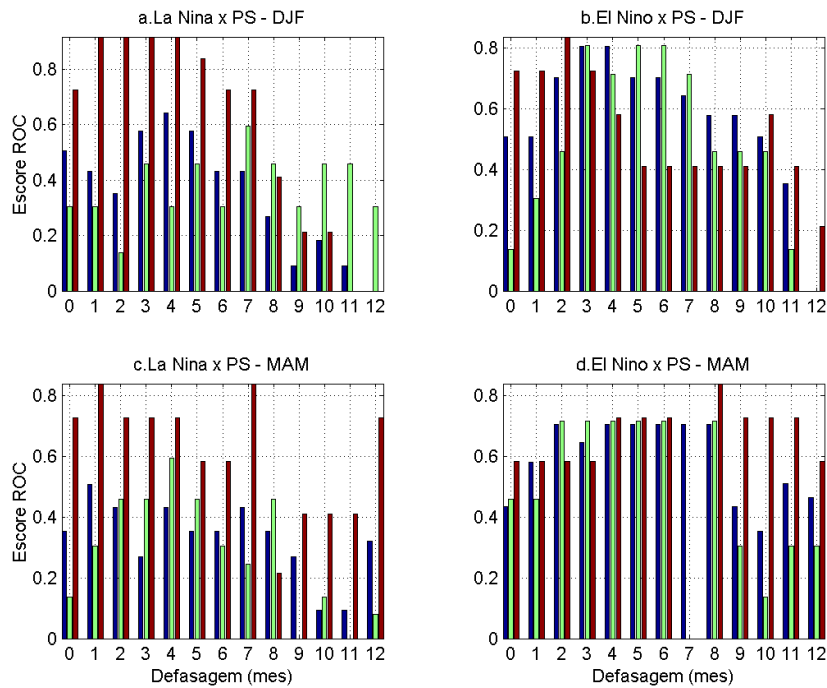


Figura 4.31 - Idem a Figura 4.29, considerando-se o impacto da La Niña associado às TSM do PS acima das normais em DJF (a), do El Niño associado às TSM do OS abaixo das normais em DJF (b) da La Niña associado às TSM do PS acima das normais em MAM (c), do El Niño associado às TSM do PS abaixo das normais em MAM (d) simultâneos e defasados em até 12 meses.

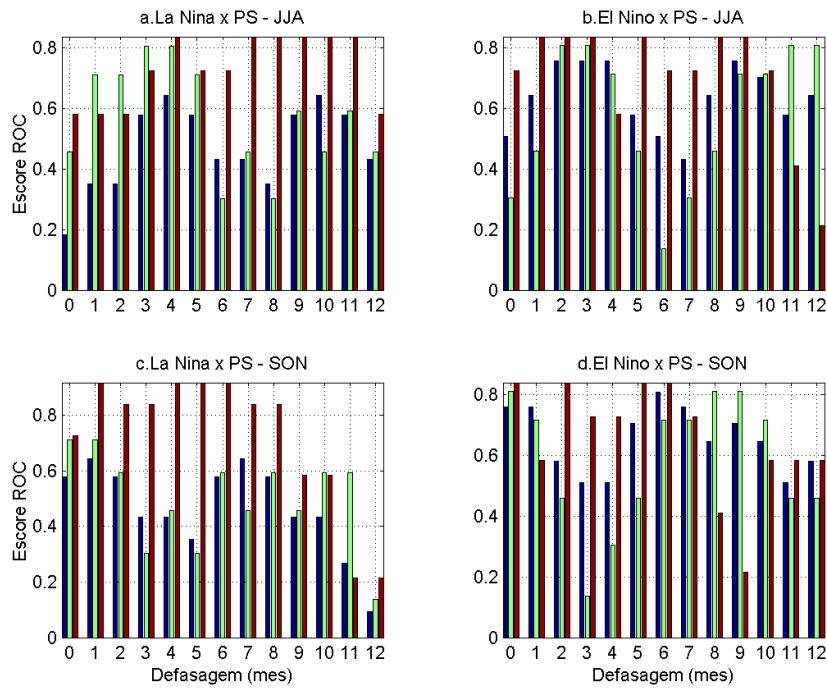


Figura 4.32 – Idem a Figura 4.31, mas para JJA (a) e (b) e SON (c) e (d).

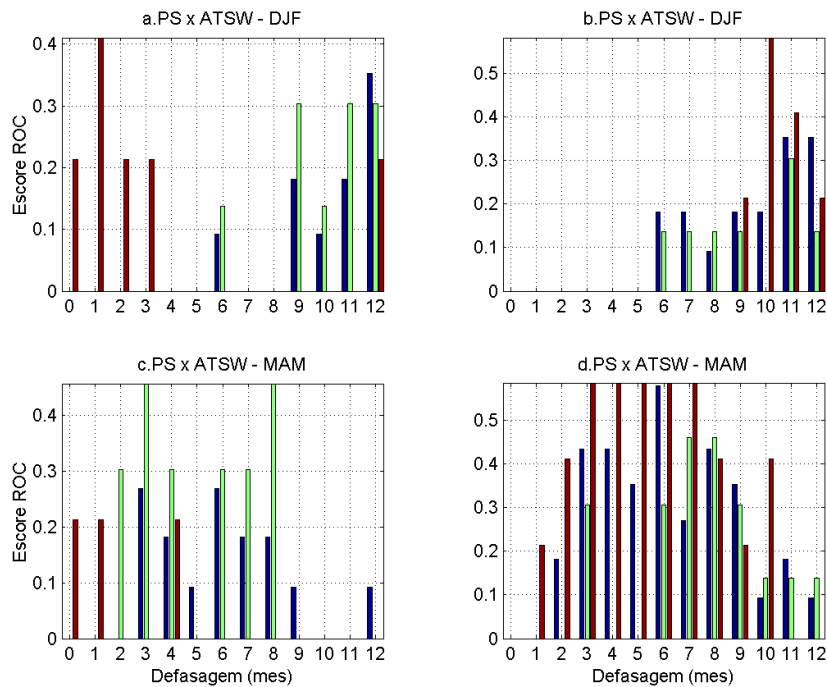


Figura 4.33 - Idem a Figura 4.29, considerando-se o impacto do PS com TSM abaixo das normais associado às TSM do ATSW acima das normais em DJF (a), do PS com TSM acima das normais associado às TSM do ATSW abaixo das normais em DJF (b) do PS com TSM abaixo das normais associado às TSM do ATSW acima das normais em MAM (c), do PS com TSM acima das normais associado às TSM do ATSW abaixo das normais em MAM (d) simultâneos e defasados em até 12 meses.

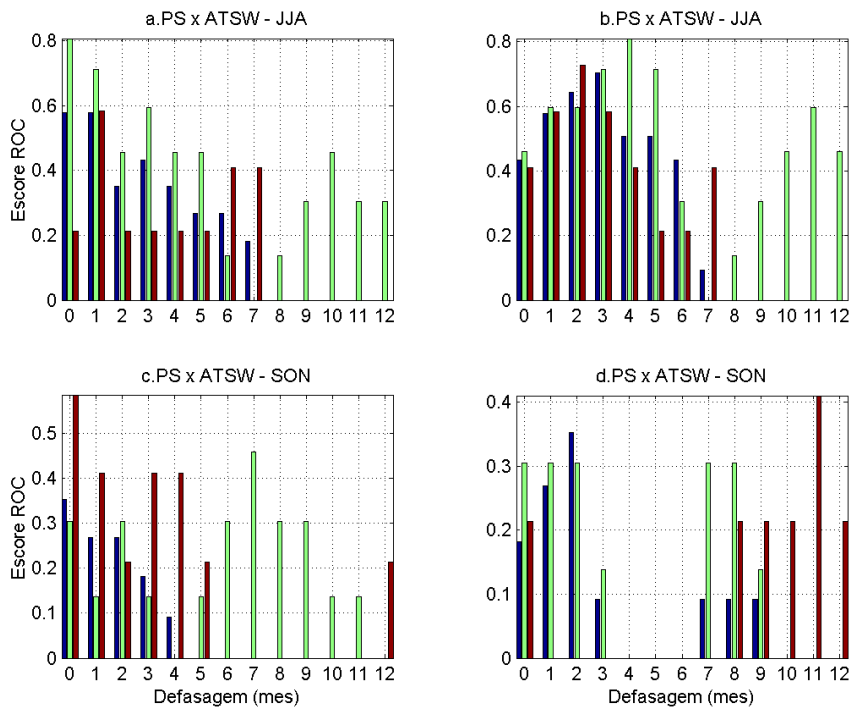


Figura 4.34 – Idem a Figura 4.33, mas para JJA (a) e (b) e SON (c) e (d).

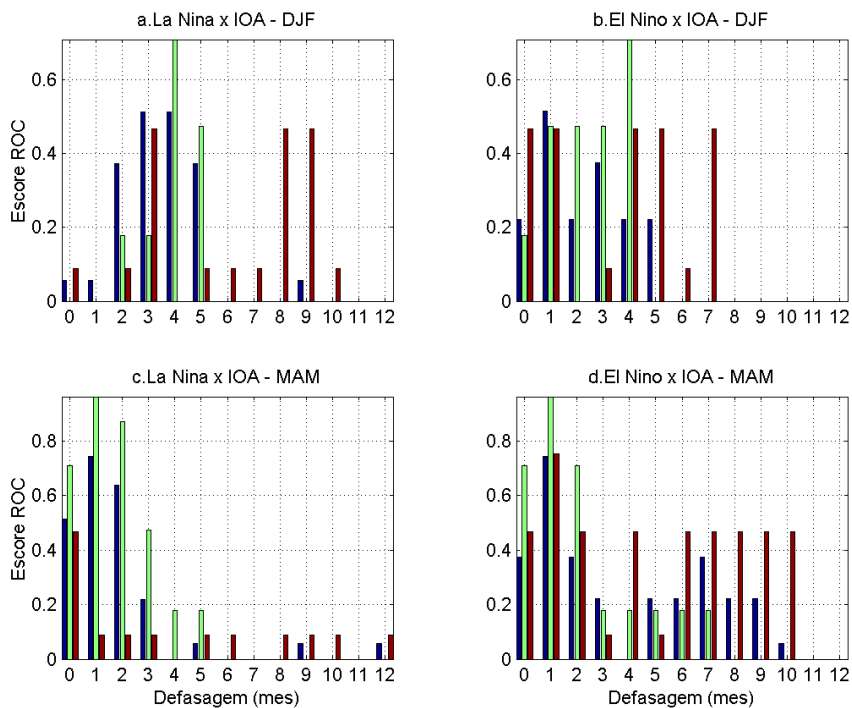


Figura 4.35 - Idem a Figura 4.29, considerando-se a relação da La Niña com a fase positiva do IOA em DJF (a), do El Niño com a fase negativa do IOA em DJF (b) da La Niña com a fase positiva do IOA em MAM (c), do El Niño com a fase negativa do IOA em MAM (d) simultâneos e defasados em até 12 meses.

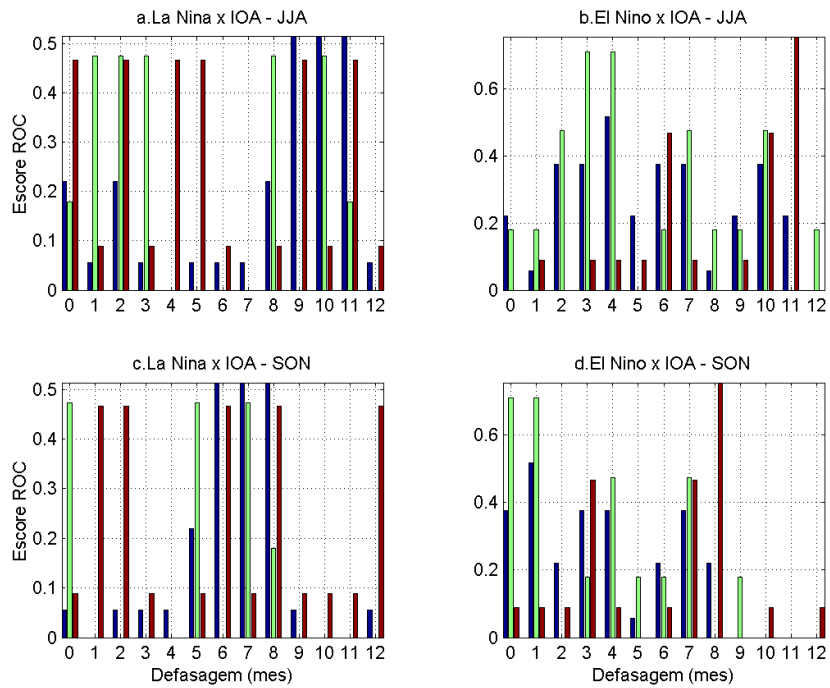


Figura 4.36 – Idem a Figura 4.35, mas para JJA (a) e (b) e SON (c) e (d).

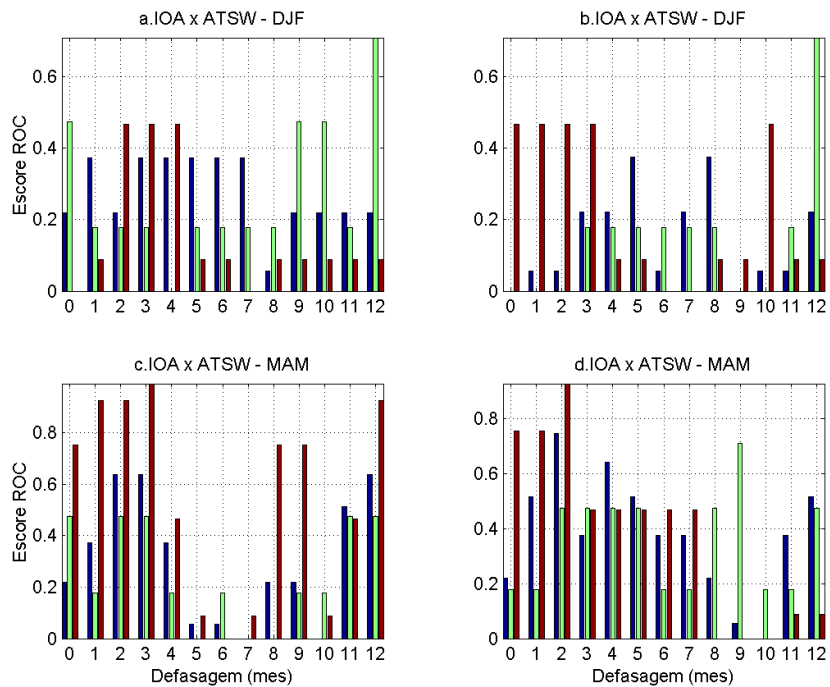


Figura 4.37 - Idem a Figura 4.29, considerando-se as relações entre a fase negativa do IOA com as TSM do ATSW acima das normais em DJF (a), do IOA na fase positiva com as TSM do ATSW abaixo das normais em DJF (b) do IOA na fase negativa com as TSM do ATSW acima das normais em MAM (c), IOA na fase negativa com as TSM do ATSW abaixo das normais em MAM (d) simultâneos e defasados em até 12 meses.

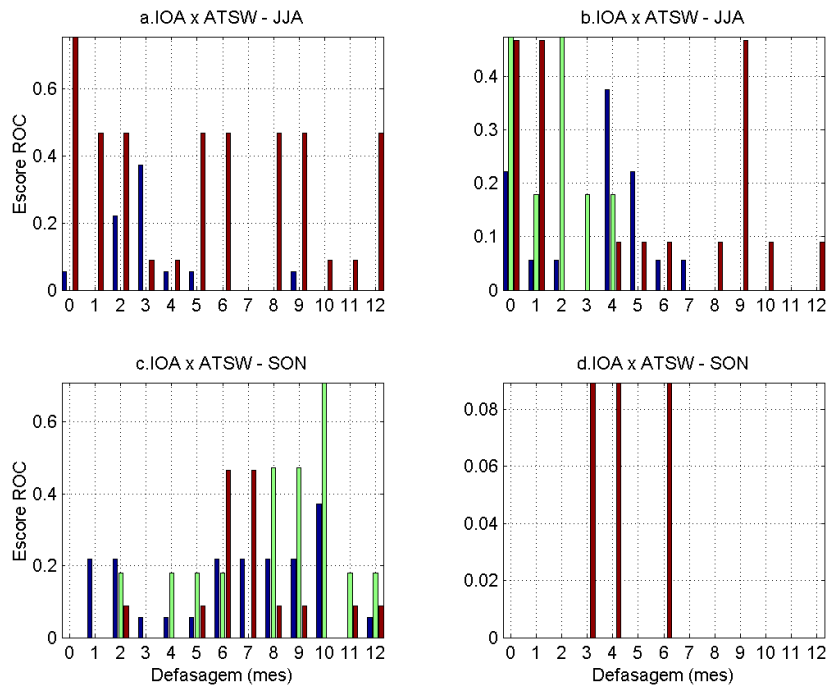


Figura 38 – Idem a Figura 4.37, mas para JJA (a) e (b) e SON (c) e (d).

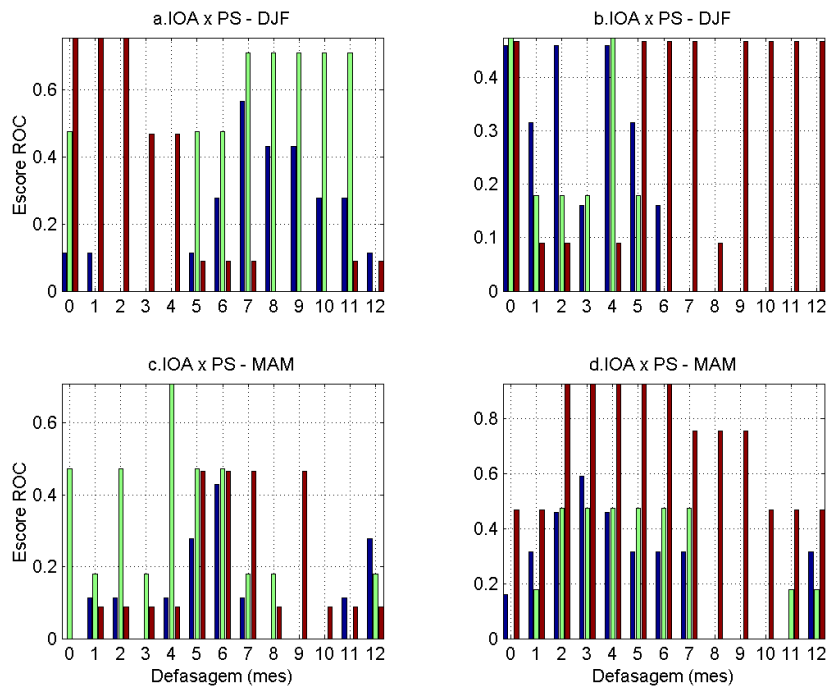


Figura 4.39 - Idem a Figura 4.29, considerando-se as relações do IOA na fase negativa com as TSM do PS abaixo das normais em DJF (a), do IOA na fase positiva com as TSM do PS acima das normais em DJF (b) do IOA na fase negativa com as TSM do PS abaixo das normais em MAM (c), IOA na fase positiva com as TSM do PS acima das normais em MAM (d) simultâneos e defasados em até 12 meses.



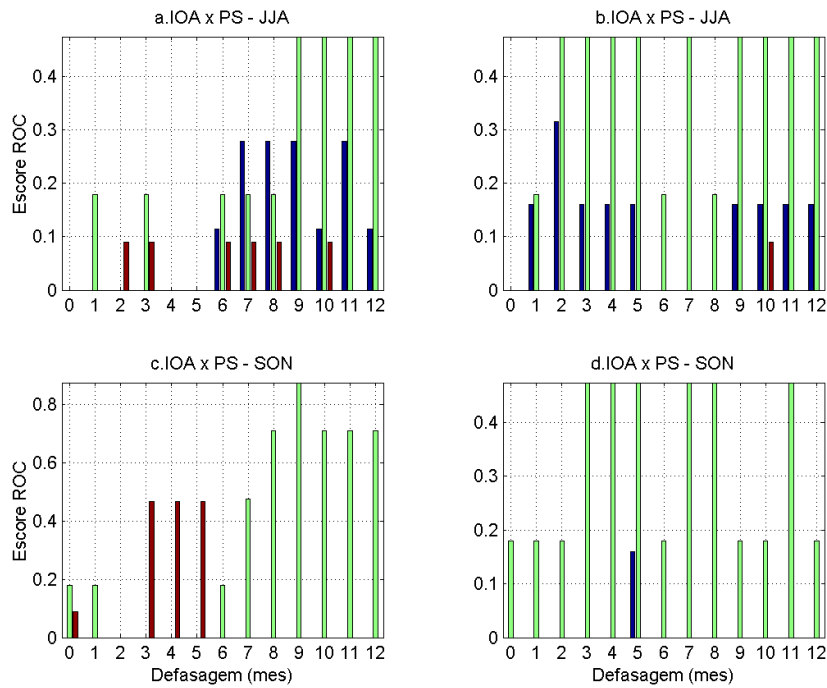


Figura 4.40 – Idem a Figura 4.39, mas para JJA (a) e (b) e SON (c) e (d).

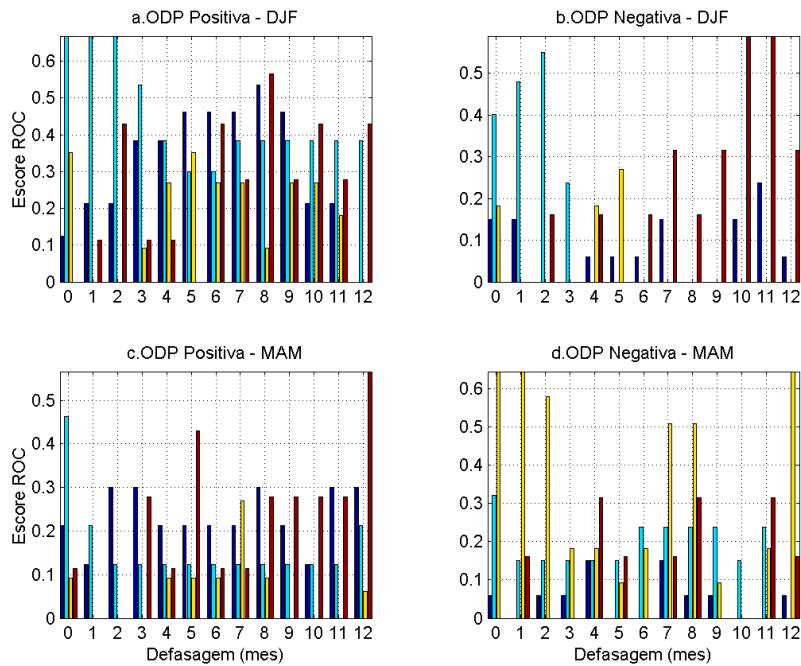


Figura 4.41 - Escores ROC obtidos da análise de tabelas de contingência considerando-se as relações entre a fase positiva da ODP com as TSM do ATSW e do Niño3.4 acima das normais, do PS e do IOA abaixo das normais em DJF (a), da fase negativa da ODP com TSM do ATSW e do ENOS abaixo das normais, do PS e do IOA acima das normais em DJF (b) do mesmo que (a), para MAM (c), mesmo que (b), para MAM (d) simultâneos e defasados em até 12 meses. As barras azuis escuras representam os impactos no ATSW, as azuis claras no ENOS, as amarelas no PS e as vermelhas, IOA.

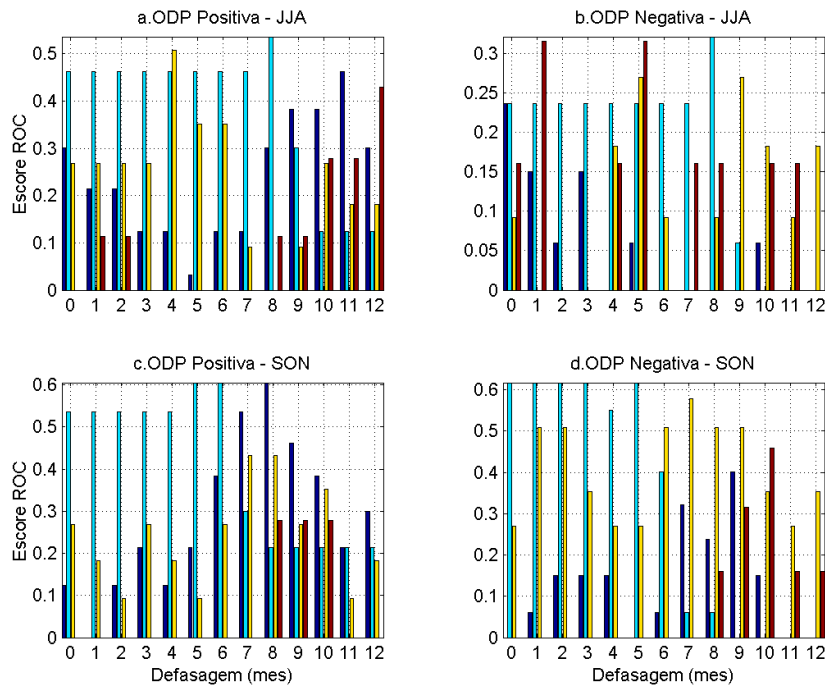


Figura 4.42 – Idem a Figura 4.41, mas para JJA (a) e (b) e SON (c) e (d).

#### 4.1.4.2 Tabelas de Contingência pelo diagrama ROC

A Figura 4.43 mostra os diagramas ROC que relacionam a ocorrência das categorias abaixo (acima) das normais do preditor escolhido ENOS com as categorias abaixo (acima) das normais das TSM no ATSW, no período todo e nas fases positivas e negativas da ODP, sazonalmente. Nota-se que em todos os casos, os escores encontram-se no triângulo superior direito, o que indica que são melhores do que escores aleatórios. Os classificadores são melhores na fase negativa da ODP (azuis), sendo que no caso da relação entre La Niña e anomalias negativas de ATSW são ótimos em relação aos demais. Nota-se que além de terem taxa de acerto e falso alarme diferentes, indicando que El Niño e La Niña têm impactos diferentes associados às categorias abaixo e acima das normais, respectivamente, nas ATSM do ATSW, os indicadores E-A- e E+A+, em geral, têm diferentes desempenhos, visto que não estão na mesma linha paralela à linha diagonal que une os pontos (0,0) e (1,1), isto é, a linha de isodesempenho.

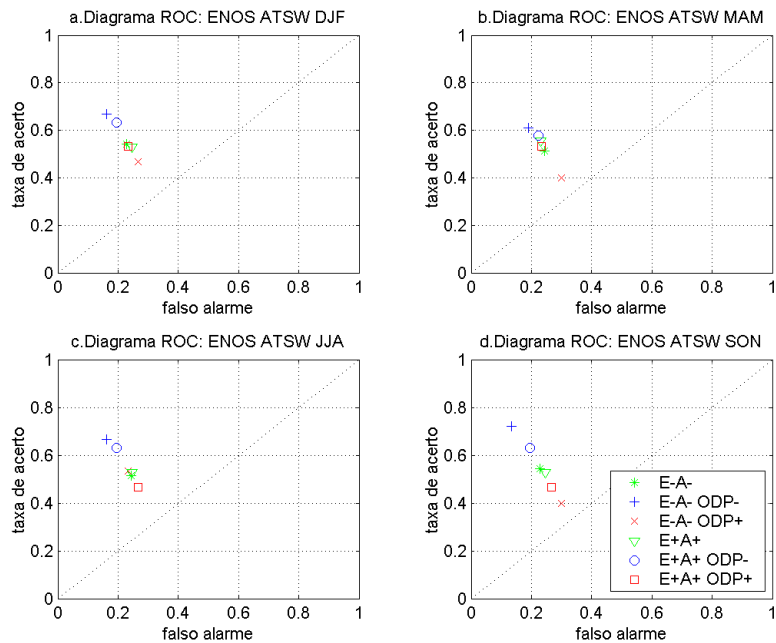


Figura 4.43 - Diagramas ROC para ENOS (preditor) e ATSW (previsto) em DJF (a), MAM (b), JJA (c) e SON (d). O espaço ROC mostra 6 escores, que relacionam os casos de La Niña com as TSM do ATSW abaixo das normais e do El Niño com as TSM do ATSW acima das normais, para todo o período e nas fases positivas e negativas da ODP.

Quanto à análise dos diagramas ROC para ENOS e PS (Figura 4.44) nota-se o oposto do caso anterior, isto é, as relações entre os padrões são mais intensas quando a ODP é positiva, mas também o impacto da La Niña é maior ou igual ao do El Niño. Já quando se considera o PS como preditor do ATSW (Figura 4.45), observa-se que estas relações são menos intensas, pois as taxas de acerto apresentam valores mais baixos (inferiores a 0,6) e os falsos alarmes superiores (superiores a 0,2) aos casos anteriores. Nota-se que ocorrem situações diferentes nos diferentes períodos do ano, e não se identifica um padrão para as relações.

A Figura 4.46 mostra o espaço ROC considerando o ENOS como preditor categórico do IOA, e nesta identifica-se que a associação do El Niño com as classes abaixo das normais do IOA é maior que da La Niña com as classes acima, porém para DJF e MAM isso acontece mais intensamente na fase negativa da ODP, e para JJA e SON, na fase positiva. Considerando IOA preditor categórico do ATSW (Figura 4.47), observa-se

maior relação no caso das categorias abaixo das normais do IOA, que levam a categorias acima das normais (eventos quentes) no ATSW, mas, novamente, o impacto da ODP se mostra sazonalmente diferente, sendo que para DJF e MAM é mais forte na fase negativa da ODP, e na fase positiva para JJA e SON. Nas relações entre o IOA e o PS (Figura 4.48), também se notam diferenças quanto às fases da ODP, sendo mais forte na ODP positiva em DJF e MAM e negativa para JJA e SON. Já quanto ao impacto da ODP em cada padrão (Figura 49), percebe-se que, em geral, os impactos no ENOS e no ATSW são mais fortes na fase negativa da ODP e no PS e IOA, na fase positiva. Inclusive, nota-se que há casos em que, para a previsão de ocorrência de classes acima das normais do IOA, considerando-se a fase negativa da ODP, o escore foi pior que aleatório. Mas vale ressaltar que a série amostral do IOA é menor que dos demais padrões, prejudicando, portanto, as análises para a baixa frequência.

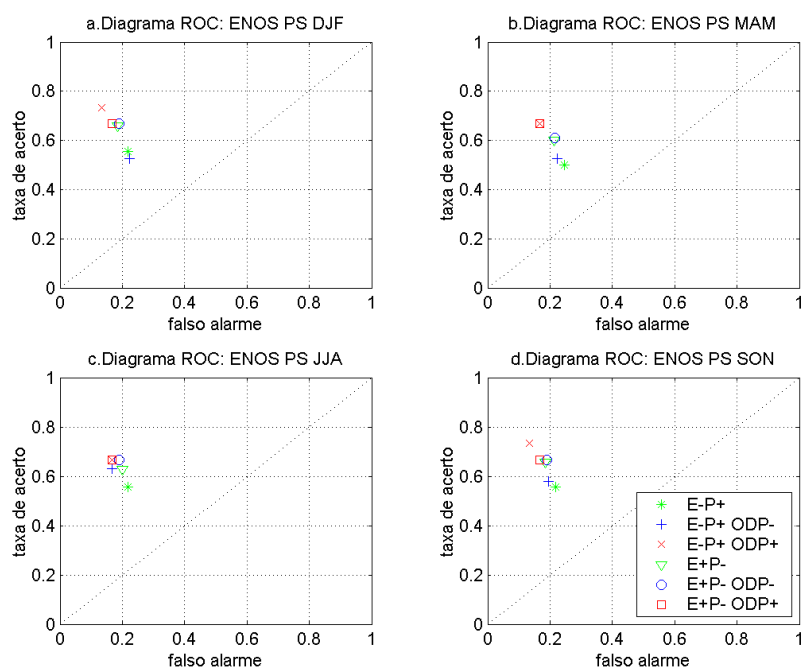


Figura 4.44 - Diagramas ROC para ENOS (preditor) e PS (previsto) em DJF (a), MAM (b), JJA (c) e SON (d). O espaço ROC mostra 6 escores, que relacionam os casos de La Niña com as TSM do PS acima das normais e do El Niño com as TSM do PS abaixo das normais, para todo o período e nas fases positivas e negativas da ODP.

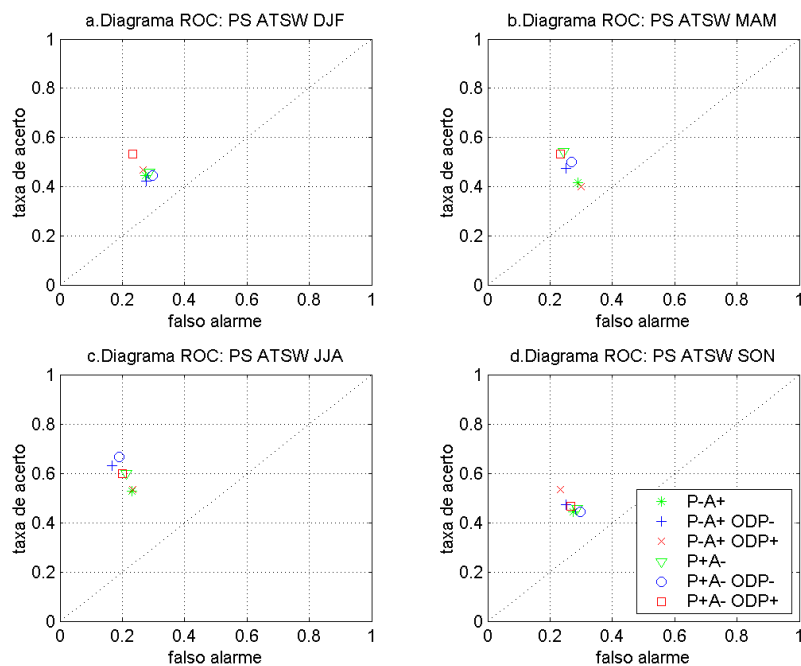


Figura 4.45 - Diagramas ROC para PS (preditor) e ATSW (previsto) em DJF (a), MAM (b), JJA (c) e SON (d). O espaço ROC mostra 6 escores, que relacionam os casos de TSM do PS abaixo(acima) das normais com as do ATSW acima (abaixo) das normais, para todo o período e nas fases positivas e negativas da ODP.

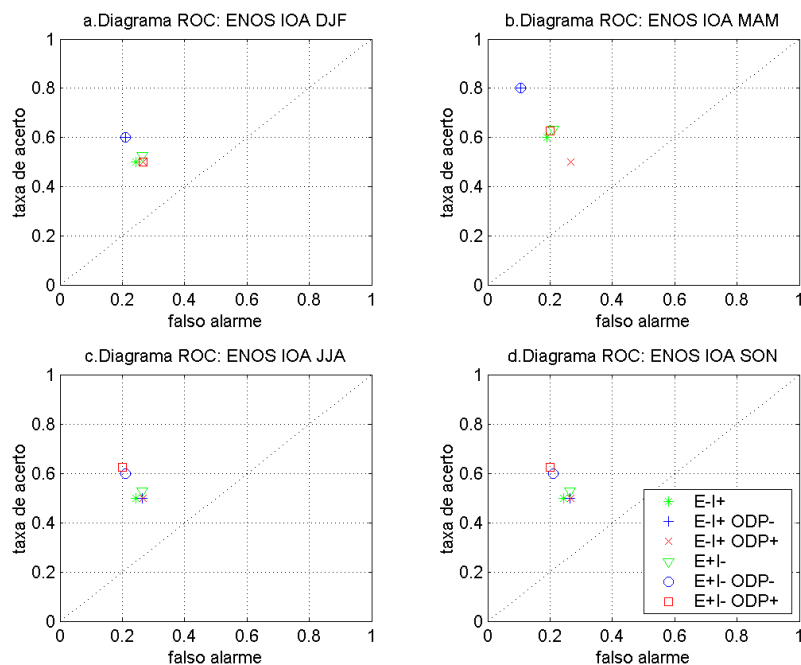


Figura 4.46 - Diagramas ROC para ENOS (preditor) e IOA (previsto) em DJF (a), MAM (b), JJA (c) e SON (d). O espaço ROC mostra 6 escores, que relacionam os casos de La Niña (El Niño) com IOA acima (abaixo) das normais, para todo o período e nas fases positivas e negativas da ODP.

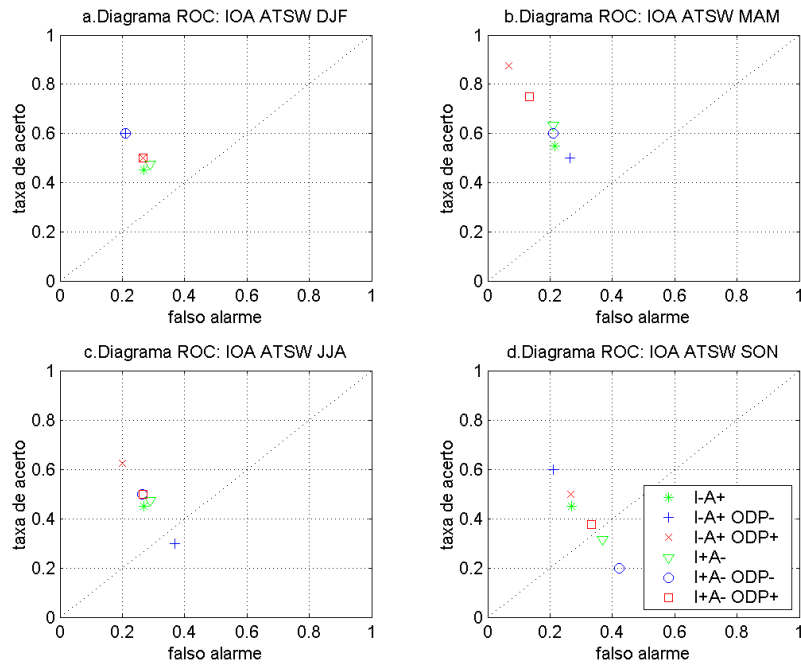


Figura 4.47 - Diagramas ROC para IOA (preditor) e ATSW (previsto) em DJF (a), MAM (b), JJA (c) e SON (d). O espaço ROC mostra 6 escores, que relacionam os casos de IOA abaixo(acima) das normais com as TSM do ATSW acima (abaixo) das normais, para todo o período e nas fases positivas e negativas da ODP.

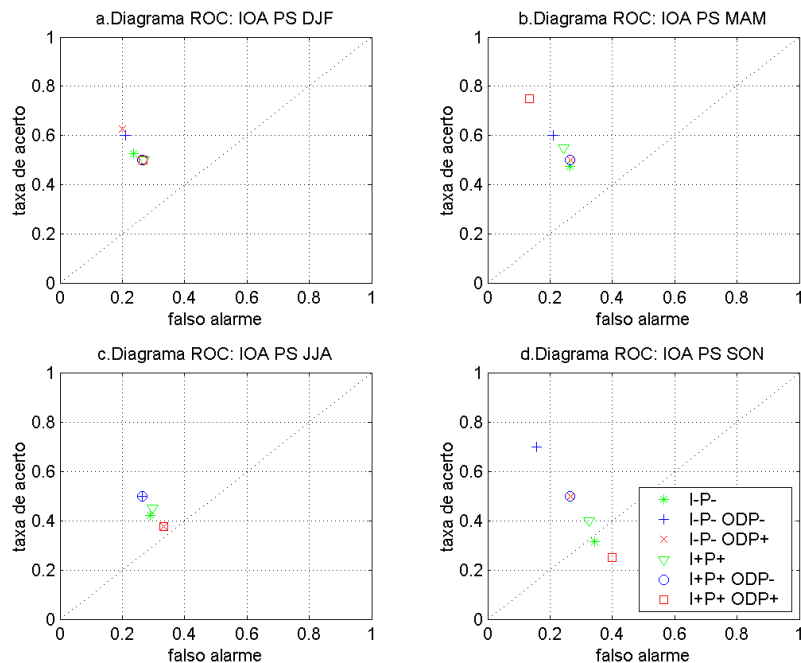


Figura 4.48 - Diagramas ROC para IOA (preditor) e PS (previsto) em DJF (a), MAM (b), JJA (c) e SON (d). O espaço ROC mostra 6 escores, que relacionam os casos de IOA abaixo(acima) das normais com as TSM do PS abaixo (acima) das normais, para todo o período e nas fases positivas e negativas da ODP.

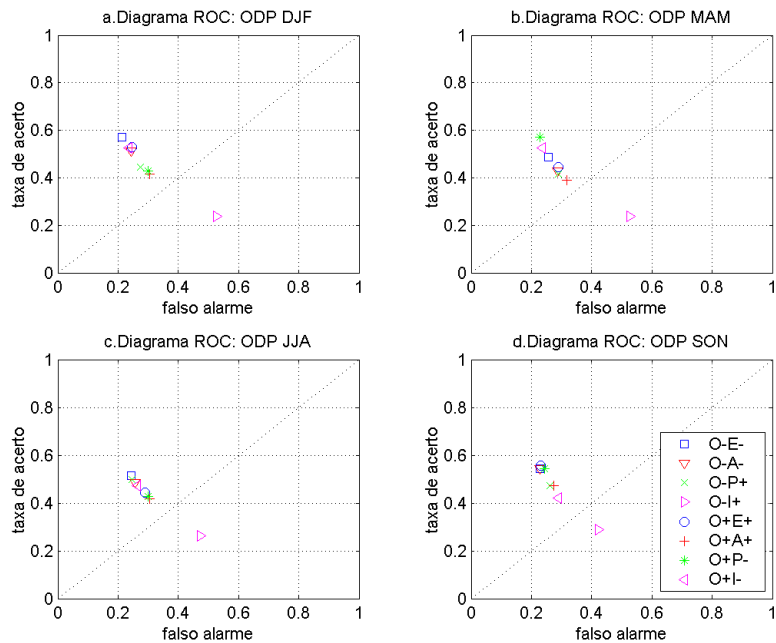


Figura 4.49 - Diagramas ROC para ODP (preditor) e ENOS, ATSW, PS e IOA (previsto) em DJF (a), MAM (b), JJA (c) e SON (d). O espaço ROC mostra 8 escores, que relacionam os casos de ODP abaixo(acima) das normais com La Niña (El Niño), IOA acima (abaixo) das normais e as TSM do ATSW abaixo (acima), do PS acima (abaixo) das normais, para todo o período.

Comparando-se os resultados das três metodologias consideradas, notam-se semelhanças e diferenças. As semelhanças ocorrem no que diz respeito aos resultados “brutos”, como por exemplo: Impacto do ENOS em todos os demais índices, diferença significativa nas fases da ODP, sazonalidade. Quanto aos resultados mais refinados, como anti-simetria dos impactos do El Niño e La Niña, é que as diferenças são observadas. Por isso ressalta-se a importância da escolha da melhor ferramenta estatística para análises como as consideradas neste trabalho. Devido às suposições e limitações das correlações, as tabelas de contingência se mostram mais eficientes e apresentam resultados mais detalhados. Outra observação importante é que, em todas as metodologias notou-se que estas relações não são simultâneas, ou seja, a dinâmica oceano-atmosfera destas teleconexões apresenta uma defasagem na resposta, de diferentes tempos em quase todos os casos analisados, além disso, estas defasagens variam nas várias escalas (sazonal, interanual, decenal).

#### 4.1.5 Ondaletas Coerência e Fase

A Figura 4.50 mostra a ondaleta coerência e fase entre o ENOS e o ATSW, que indica forte coerência numa escala de 8-15 anos, com as setas indicando uma defasagem de cerca de 1/8 do período, o que corresponde ao ENOS preceder o ATSW por 1-2 anos. Nota-se que em alguns períodos (1900-1925; meados de 50-1990), a variabilidade destas relações pode ter seu limite inferior chegando a 4 anos. Esses períodos correspondem, aproximadamente, às fases negativas da ODP. Já a Figura 4.51, indica forte coerência entre ENOS e PS na escala de 2-8 anos, sendo a relação quase simultânea e com sinais opostos (setas quase horizontais apontando para a esquerda).

Avaliando a ondaleta coerência e fase entre PS e ATSW (Figura 4.52), não se identifica um “contínuo”, observando-se que estas relações não são tão fortes e evidentes como as anteriores, isto é, quanto aquelas entre estes padrões e o ENOS.

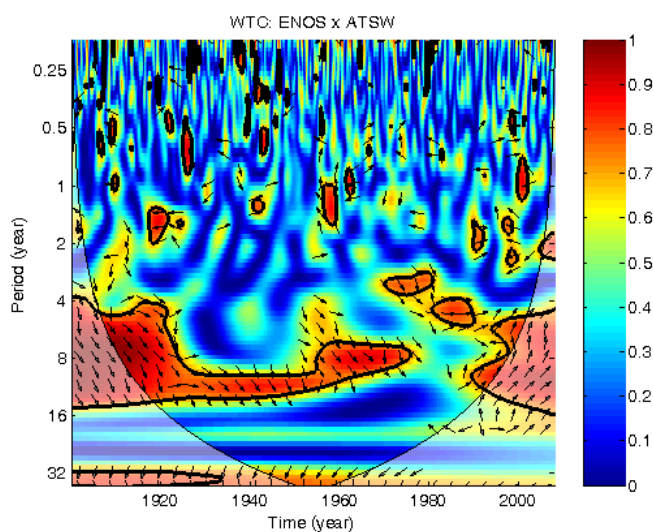


Figura 4.50 - Coerência e Fase das ondaletas cruzadas entre o ENOS e o ATSW. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência), que se encontram delimitados pelo cone de influência. Os vetores representam as fases, e podem apontar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (ATSW precedendo o El Niño), a 90° para baixo (El Niño precedendo ATSW).



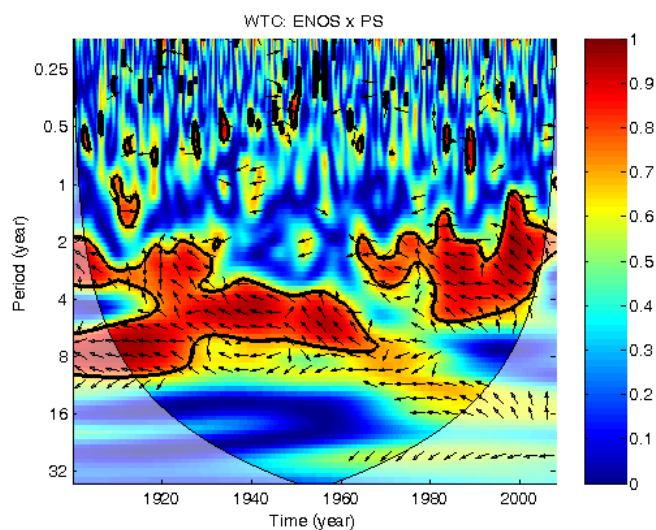


Figura 4.51 – Idem a Figura 4.50, porém para ENOS e PS.

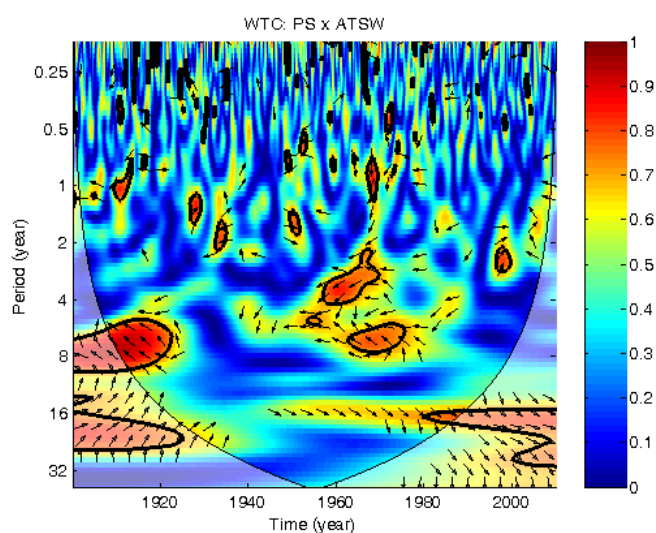


Figura 4.52 - Idem a Figura 4.50, porém para PS e ATSW.

A Figura 4.53 indica que só há coerência significativa entre ENOS e OA aproximadamente a partir de 1970 (corresponde a fase positiva da ODP). A variabilidade das relações é predominantemente de 5-8 anos, tendo as relações sinais opostos, e o ENOS precedendo a OA de 6 meses a 1 ano. Já com relação ao impacto da OA no ATSW (Figura 4.54), nota-se coerência até 1970 e depois, só após meados dos anos 90 (fases frias da ODP), numa escala de 4-8 anos (escala do ENOS). Entre os

espectros da OA e do PS (Figura 4.55) não foi observada nenhuma coerência significativa.

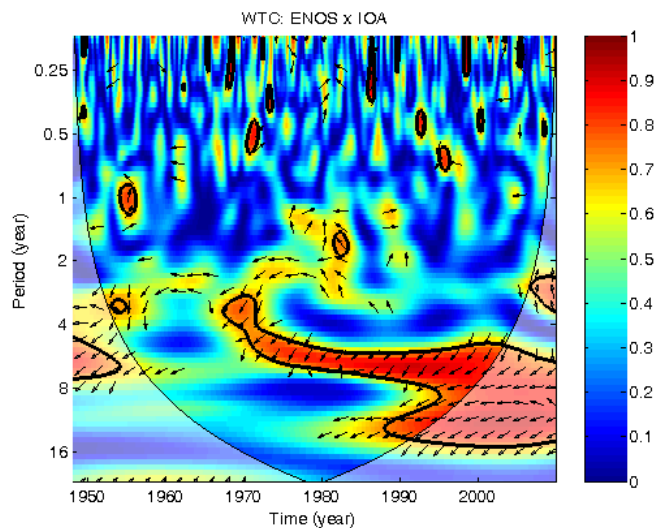


Figura 4.53 - Idem a Figura 4.50, porém para ENOS e OA.

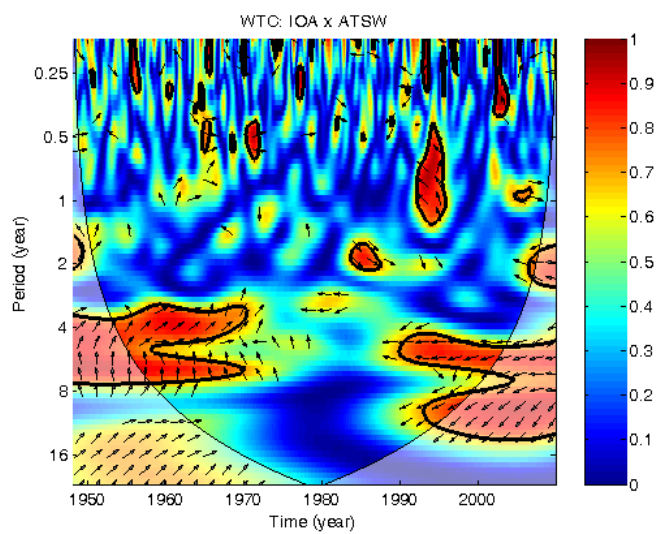


Figura 4.54 - Idem a Figura 4.50, porém para IOA e ATSW.

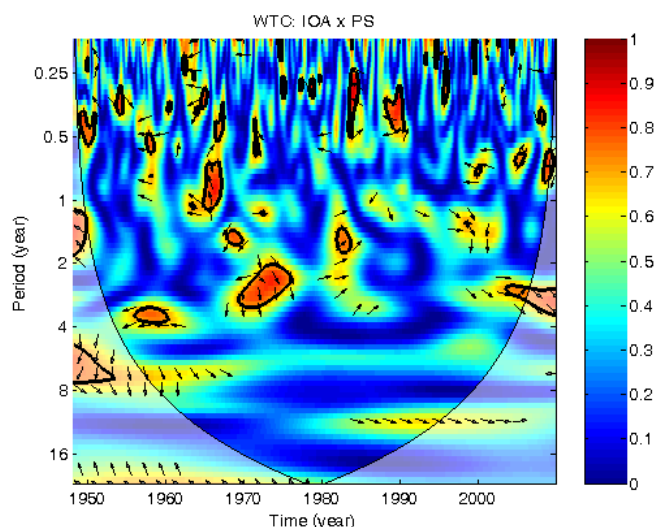


Figura 4.55 - Idem a Figura 4.50, porém para IOA e PS.

As ondaletas mostradas nas Figuras 4.56 e 4.57 indicam, respectivamente, as relações entre ODP e ATSW e ODP e PS, e em ambos os casos os resultados são semelhantes. A variabilidade das relações é em torno de 4-8 anos (escala do ENOS) e as regiões de maior coerência nesta escala aparecem nos períodos de 1900-1920, 1950-1970, que correspondem, aproximadamente, às fases negativas da ODP. Na Figura 58 observa-se que as relações entre ODP e OA são coerentes entre, aproximadamente, 1950 e 1980, com sinal positivo e ODP precedendo, numa escala de 8-12 anos. Após 1990 as relações passam a ser negativas e surge outra banda coerente na escala de 4-8 anos.

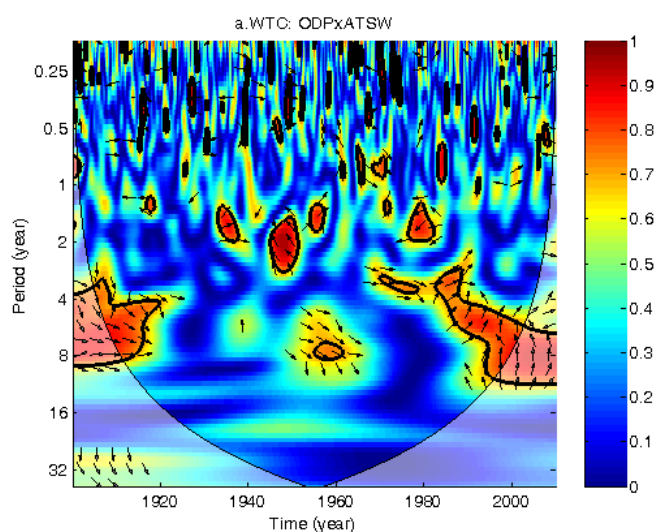


Figura 4.56 - Idem a Figura 4.50, porém para ODP e ATSW.

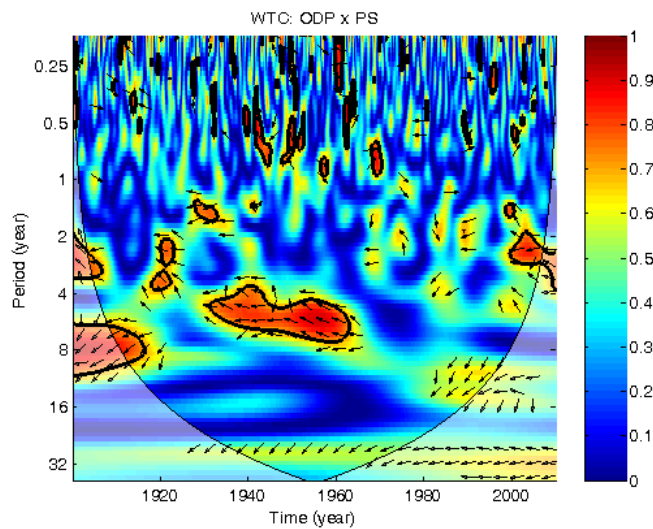


Figura 4.57 - Idem a Figura 4.50, porém para ODP e PS.

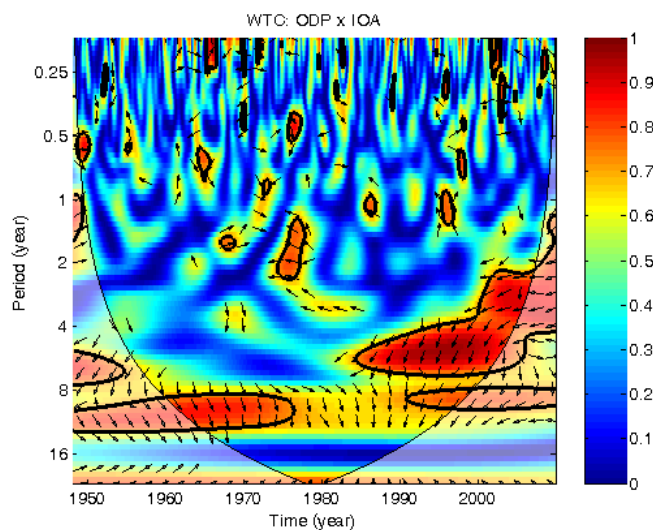


Figura 4.58 - Idem a Figura 4.50, porém para ODP o IOA.

As ondaletas, em geral, mostraram que há coerência entre o ENOS e os demais índices e também entre alguns deles, sendo que a ODP também têm influência relevante. As escalas, defasagens e coerência das relações podem variar no período, e muitas vezes isto ocorre em relação às fases da ODP.

## **4.2 Parte 2 - Impacto das TSM do Pacífico e do Atlântico e da Oscilação Antártica nas precipitações e temperaturas máximas e mínimas do RS**

### **4.2.1 Relações entre os índices de TSM do Pacífico e do Atlântico e do IOA e a precipitação no RS, usando tabelas de contingência**

As séries de anomalias normalizadas de precipitação do Rio Grande do Sul apresentaram tendências significativas positivas na maioria das estações (Figura 4.59). Nota-se que os valores das anomalias concentram-se entre -2 e 2, mas que existem valores que extrapolam estes limites positivamente. Observando a Tabela 4.7, verifica-se que cinco das seis séries (exceção de Santa Maria) têm tendências positivas (apesar dos baixos valores), e destas, apenas uma, São Luiz Gonzaga, não apresenta autocorrelação serial também. Porém, São Luiz Gonzaga é a estação com maior valor de tendência (29,23 mm/ano), seguida por Passo Fundo (25,25 mm/ano) e Bagé (23,51 mm/ano). Os resultados são coerentes com Haylock et al. (2005), que analisando as tendências para diferentes índices de precipitação na América do Sul, encontraram tendências positivas para todos eles na região correspondente ao RS.

Mesmo a estação sem tendência significativa (Santa Maria) apresenta autocorrelação, não passando no teste de sequências, que é exigência para a utilização do teste de Mann-Kendall. Assim, foram retiradas as tendências lineares das séries e, considerando a existência de correlação serial (exceção de São Luiz Gonzaga) tiveram de ser submetidas ao teste de Mann-Kendall modificado, passando no mesmo. Desta forma, todas as seis séries de precipitação foram consideradas aptas para serem comparadas com as séries dos índices de TSM do Pacífico e do Atlântico e da OA.

As séries foram submetidas ao teste das razões (ALEXANDERSSON, 1986), e todas foram consideradas homogêneas (cada uma em relação à média das demais); porém, as únicas estações homogêneas entre si foram Passo Fundo e Porto Alegre, e Passo Fundo e Santa Maria. As correlações amostrais entre as séries de precipitação do RS (Tabela 4.8) indicam que as estações mais correlacionadas são Porto Alegre e Santa Maria, que têm latitudes mais centrais no estado. Santa Maria ainda apresenta correlação alta com Bagé e Passo Fundo, localizando-se entre estas. A linha que liga as três estações

representa, aproximadamente, a trajetória mais comum dos sistemas frontais que penetram o estado (CAVALCANTI e KOUSKY, 2003). Porto Alegre também está correlacionada com Passo Fundo, que é a segunda estação mais próxima, depois de Santa Maria. Os menores coeficientes de correlação, e que não são significativos a 5% pelo teste T-Student, são aqueles entre Santa Vitória (estação mais ao Sul do RS) e Passo Fundo e São Luiz Gonzaga (estações mais ao Norte). Em todas as correlações, nota-se que as maiores dispersões estão nas anomalias positivas, sendo as negativas mais aglutinadas (exemplo na Figura 4.60).

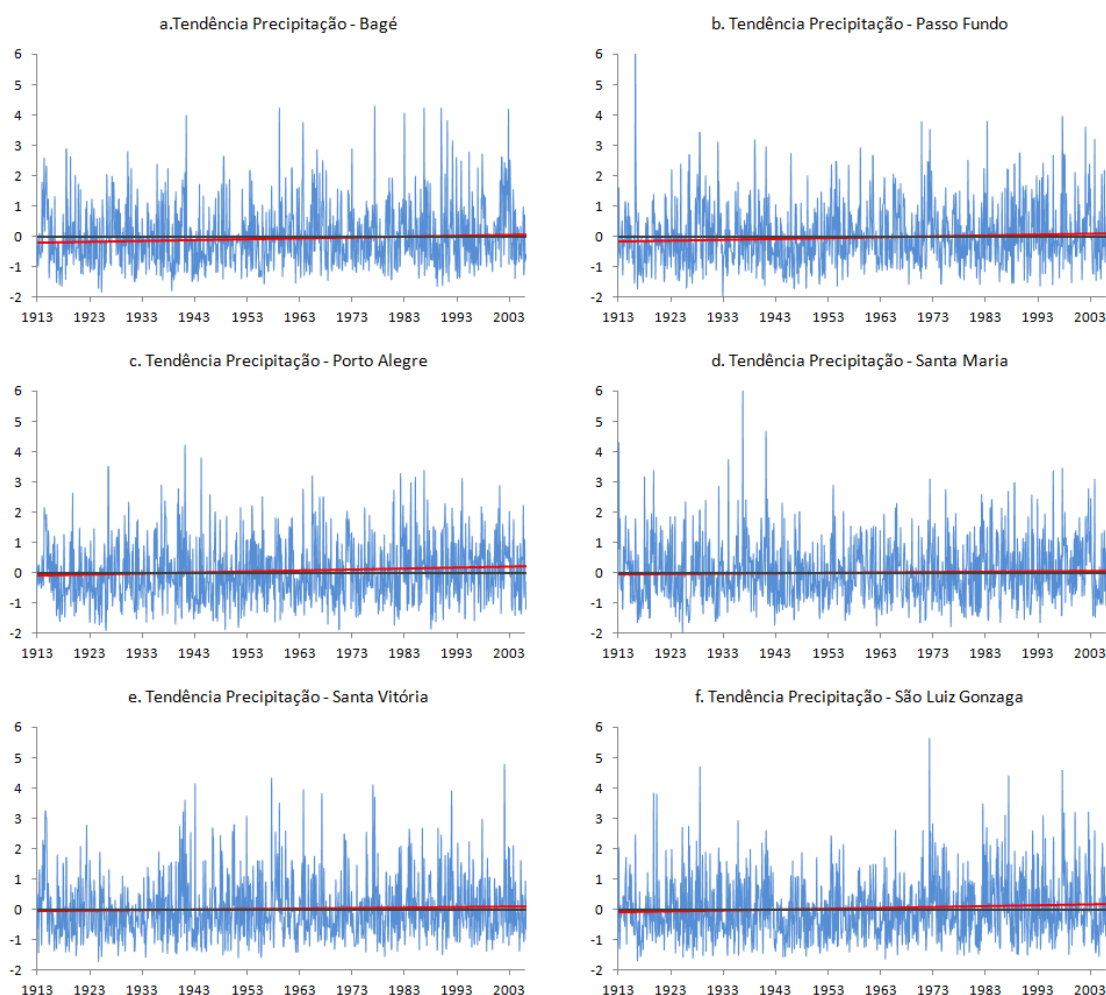


Figura 4.59 - Séries de anomalias mensais padronizadas de precipitação de Bagé (a), Passo Fundo (b), Porto Alegre (c), Santa Maria (d), Santa Vitória do Palmar (e) e São Luiz Gonzaga (f). A linha vermelha indica a tendência linear das séries.

Tabela 4.7 - Valores dos testes de Mann-Kendall, tendências lineares, teste de sequências, coeficientes de autocorrelação com defasagem de 1 mês (para o caso das séries que não passam no teste de sequência) e teste de Mann-Kendall modificado (para o caso das séries com tendência significativa e autocorrelação serial), para as séries de precipitação do RS.

Variável	Estações	Mann-Kendall	Tendência linear (/100a)	Tendência linear (mm/100a)	Teste de Sequências	Auto correl. (lag 1)	MK Modif.
Precipitação	Bagé	2,55*	0,30	23,51	-4,47*	0,15	-0,57
	Passo Fundo	2,56*	0,29	25,25	-4,88*	0,17	-0,42
	Porto Alegre	2,88*	0,30	19,12	-4,82*	0,18	0,05
	Santa Maria	1,50	0,13	11,11	-6,67*	0,17	0,21
	Santa Vitória	2,05*	0,19	13,02	-3,93*	0,14	0,04
	São Luiz Gonzaga	2,59*	0,31	29,23	-1,84	-	-0,56

\*valores de testes significativos a 5%.

Tabela 4.8 - Correlações entre as séries de precipitação no Rio Grande do Sul. Valores maiores em azul, menores em vermelho.

	Passo Fundo	Porto Alegre	Santa Maria	Santa Vitória	São Luiz
Bagé	0,37	0,48	0,52	0,44	0,30
Passo Fundo		0,54	0,51	0,12	0,45
Porto Alegre			0,60	0,23	0,34
Santa Maria				0,24	0,42
Santa Vitória					0,14

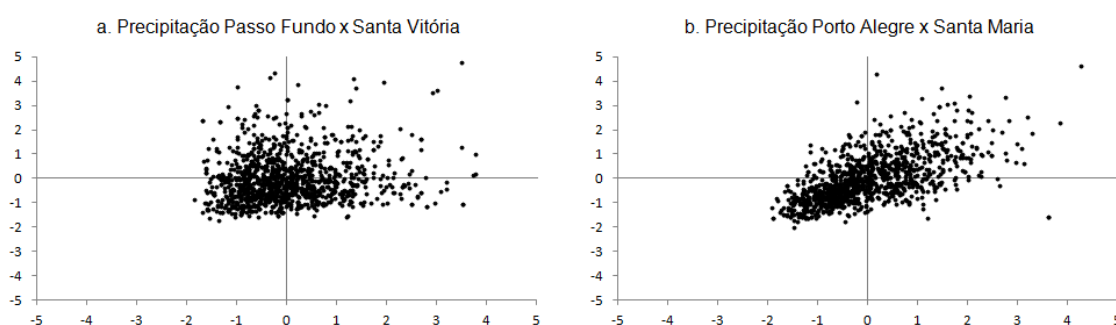


Figura 4.60 – Gráficos de dispersão entre as séries de precipitação com menor (a), e maior coeficiente de correlação (b).

De acordo com Diaz et al. (1998), o primeiro modo de variabilidade das precipitações no RS está associado com as TSM do Pacífico Equatorial, compreendendo a região do Niño 3.4. A Figura 4.61 mostra, para cada estação meteorológica considerada no estudo, os coeficientes de correlação sazonais entre o ENOS e as precipitações, simultâneas e

defasadas de 1 a 6 meses. Nesta figura notam-se as diferenças significativas no comportamento das 6 estações. Por exemplo, Bagé apresenta coeficientes de correlação superiores e mais persistentes em relação às demais, e Santa Vitória do Palmar, as correlações mais baixas, em média. Mesmo assim, existem algumas semelhanças em relação à sazonalidade e defasagem entre todas as estações. Todas apresentaram valores significativos de correlação na primavera, simultaneamente e com defasagem de 1 e 2 meses, e no inverno, com defasagens de 3, 4 e 5 meses. Isso significa que a influência do ENOS se iniciaria no inverno, persistindo na primavera, com impacto na primavera e no verão. Em Bagé, as correlações são significativas em praticamente todas as estações do ano, e em todas as defasagens.

As Figuras 4.61b e 4.61c mostram, respectivamente, os escores ROC para as tabelas de contingência entre as ocorrências de La Niña e precipitações abaixo das normais (tercil inferior) e de El Niño com precipitações acima das normais (tercil superior). Elas indicam que existem diferenças no impacto das duas fases do ENOS e que estas não são antissimétricas. Em geral, os escores correspondentes às relações La Niña e precipitação abaixo das normais (Figura 4.62b) alcançam valores mais altos, mas a maior parte deles não atingiu um ganho de 30% sobre a climatologia (50%), que pode ser considerado um valor razoável (65%). Já os escores correspondentes às relações El Niño e precipitação acima das normais (Figura 4.62c), na maioria, alcançam um ganho superior a 30%, mas seus máximos valores são inferiores aos referentes à La Niña. Isso significa que a influência da La Niña nas precipitações é mais intensa em determinados períodos do ano e com certas defasagens (em especial, na primavera, com defasagens de 0 e 1 mês e no inverno, com 3,4 e 5 meses), mas a do El Niño é persistente em todos os períodos no ano e defasagens, com menor intensidade.



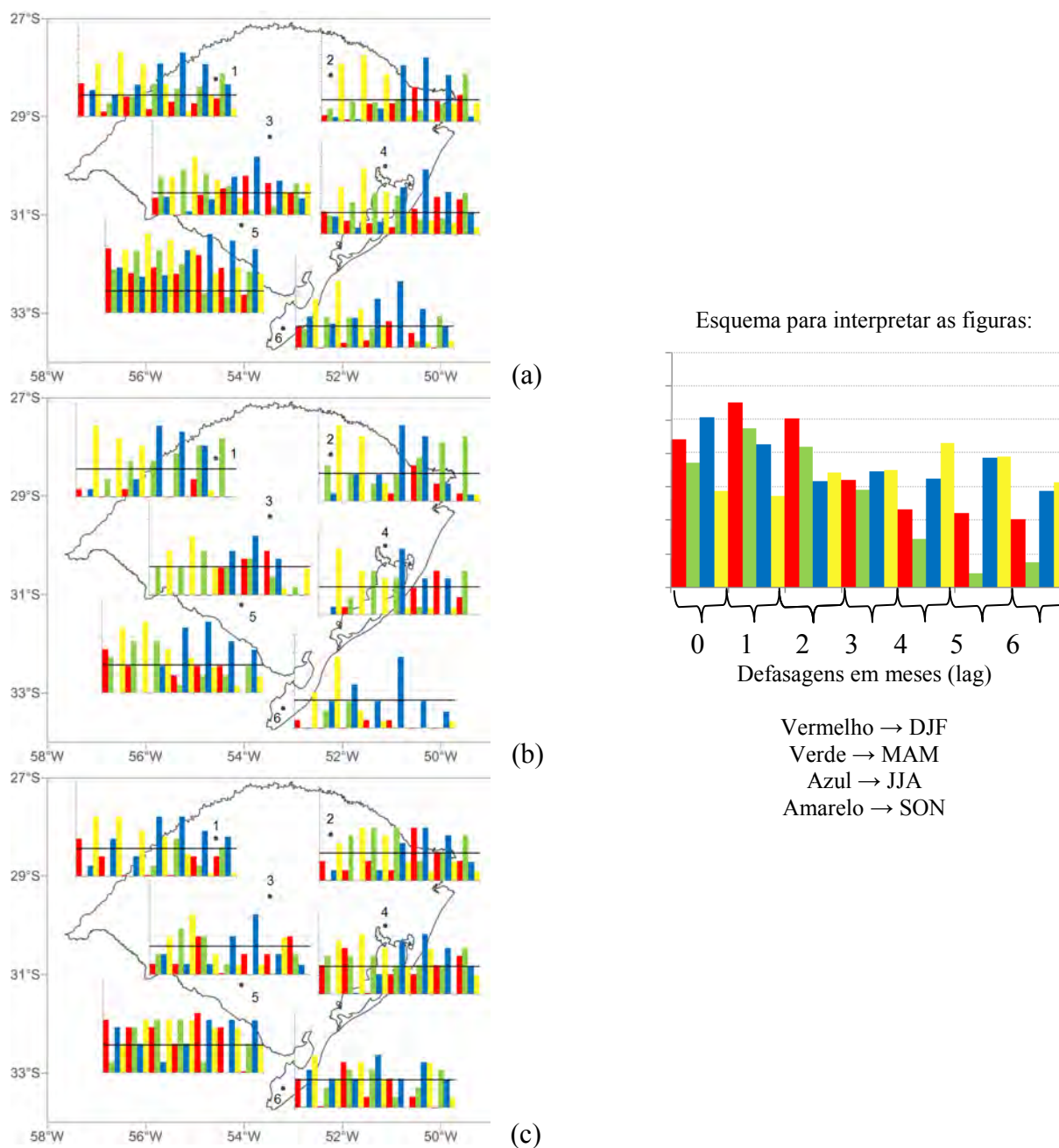


Figura 4.61 - Correlações sazonais entre o ENOS e as precipitações no RS (a), escores ROC entre La Niña e precipitações abaixo das normais (b) e escores ROC entre El Niño e precipitações acima das normais (c) para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, com defasagens de 0 a 6 meses. Em (a), as correlações variam de 0 a 0,7 e a linha preta indica o valor significativo a 5%. Em (b) e (c), os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia (50%). Os números indicam a localização das estações: São Luiz Gonzaga (1), Passo Fundo (2), Santa Maria (3), Porto Alegre (4), Bagé (5) e Santa Vitória do Palmar (6).

As Figuras 4.62a, 4.62c e 4.62e indicam o mesmo que a Figura 4.61, mas considerando a fase negativa da ODP; e 4.62b, 4.62d e 4.62f, a positiva. Considerando-se essas duas fases, notam-se algumas diferenças. A primeira é quanto à defasagem nas correlações. Na fase positiva da ODP, os coeficientes de correlação apresentam valores significativos e mais altos, considerando-se relações simultâneas. Esses coeficientes, em geral, também atingem valores maiores nesta fase. Porém, as influências importantes da primavera e inverno apresentam uma defasagem maior na fase positiva da ODP do que na negativa. Isto é, na fase negativa da ODP, as influências são menos intensas e ocorrem mais na primavera e início do verão, e na fase positiva da ODP, são mais fortes e se concentram mais no verão. Esse resultado principal também se reflete nas tabelas de contingência, mas mais nitidamente nos casos de La Niña (Figuras 4.62c e 4.62d) do que de El Niño (Figuras 4.62e e 4.62f). No caso do El Niño, ainda que existam algumas diferenças, estas são mais sutis e variam localmente. Por exemplo, a estação de São Luiz Gonzaga, que é a que apresenta precipitação mais dependente das condições de ENOS e valores de escore para El Niño e precipitação acima das normais mais altos na primavera e verão, durante a fase positiva da ODP.

Esses resultados são coerentes com aqueles encontrados por Grimm et al. (1998), que também observaram anomalias positivas de precipitação durante a primavera do ano de El Niño no sul do Brasil, além de anomalias negativas quando ocorre La Niña. De forma semelhante, Rao e Hada (1990) também encontraram correlação significativa entre a precipitação de primavera no RS e o IOS da mesma estação e da anterior (inverno). Segundo Robertson e Mechoso (2003), isso ocorre porque, durante a primavera, a circulação de sudeste da América do Sul está relacionada com o ENOS através do padrão de teleconexão extratropical, que começa a desaparecer no verão devido ao surgimento da ZCAS, que passa a dominar a variabilidade da circulação local.

Quanto à ODP, os resultados de Andreoli e Kayano (2005) também indicam, através de análise de compostos, que suas fases promovem diferenças sazonais e de posicionamento nas anomalias positivas de precipitação no RS durante casos de El Niño.

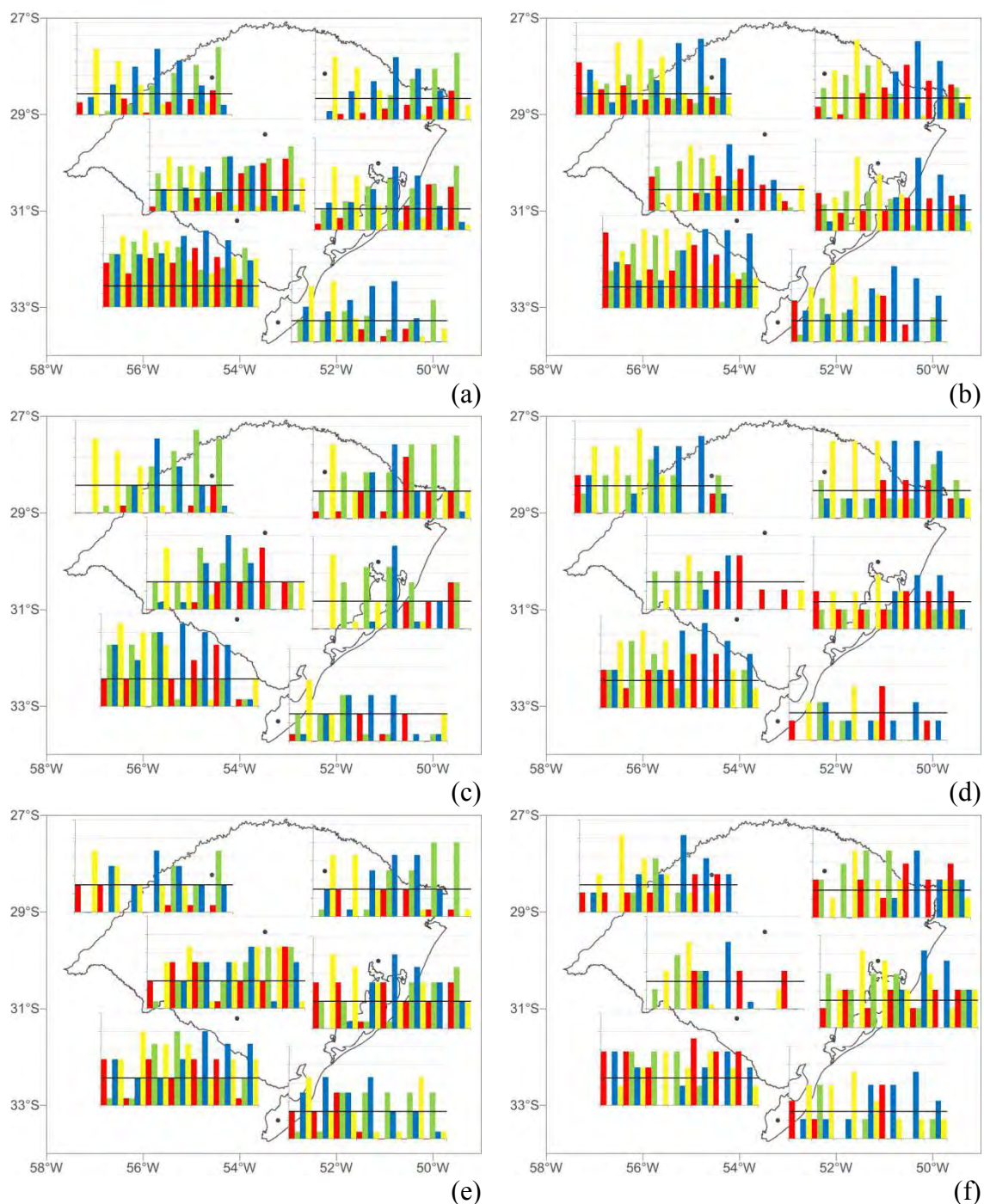


Figura 4.62 - Correlações entre o ENOS e as precipitações no RS na fase negativa (a) e positiva (b) da ODP; Escores ROC entre La Niña e precipitações abaixo das normais na fase negativa (c) e positiva da ODP (d) e Escores ROC entre El Niño e precipitações acima das normais na fase negativa (e) e positiva (f) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Em (a) e (b), as correlações variam de 0 a 0,7 e a linha preta indica o valor significativo a 5%. Em (c), (d), (e) e (f), os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.

Devido às diferenças observadas e já mencionadas entre as metodologias (correlação e tabelas de contingência), optou-se, a partir desse momento, por discutir-se apenas os resultados obtidos das tabelas de contingência, nas diferentes fases da ODP, uma vez que esta metodologia é considerada mais robusta, e a separação nas fases da ODP apresentou diferenças relevantes entre as relações para a maioria dos casos analisados.

No que diz respeito às relações entre as precipitações no RS e as anomalias do ATSW os Escores ROC que as caracterizam mostram diferenças marcantes quanto às fases da ODP (Figura 4.63). As relações são mais intensas na fase negativa da ODP, para a maioria das estações, excetuando-se Santa Vitória do Palmar, onde, comparada com as demais estações, a influência das anomalias do ATSW na precipitação foi menor.

Para a situação com escores mais altos, ou a fase negativa da ODP, também são notadas diferenças nos impactos das categorias negativas, ou abaixo das normais, (Figura 4.63a) e categorias positivas, ou acima das normais (Figura 4.63c) do ATSW. As categorias negativas causam diminuição nas precipitações mais no verão, simultaneamente e com defasagem de até 6 meses (começando no inverno), exceto nas estação de São Luiz Gonzaga, onde os impactos são mais fortes no inverno; e as positivas acarretam aumento nas precipitações praticamente o ano inteiro, com diferenças entre as estações, quanto às defasagens.

Studzinski e Diaz (1994) também mostraram, através de correlações canônicas, que a variabilidade da TSM do Atlântico tem impacto nas anomalias de precipitação no RS, sendo que Diaz et al. (1998) encontraram essas correlações mais fortes durante a primavera e o outono. Considerando também as defasagens das relações, Sansigolo et al. (2004) mostram que essa influência do ATSW ocorre no 2º trimestre do ano, com as TSM acima das normais associadas com as precipitações acima das normais no sul e leste do Estado, simultaneamente e com defasagens de 1 a 6 meses; e no 3º e 4º semestre, de maneira simultânea e defasada de até 3 meses.

As anomalias de TSM do PS também influenciam as precipitações no RS, como mostrado na Figura 4.64, porém de forma inversa e menos intensa do que o ENOS e o ATSW. Como as tabelas foram analisadas de forma a comparar inversamente os tercís,

os sinais foram invertidos nos gráficos dos mapas, a fim de facilitar as comparações com os demais padrões. Assim, em geral, anomalias negativas/positivas da TSM do PS favorecem a ocorrência de precipitação acima/abaixo da normal no RS.

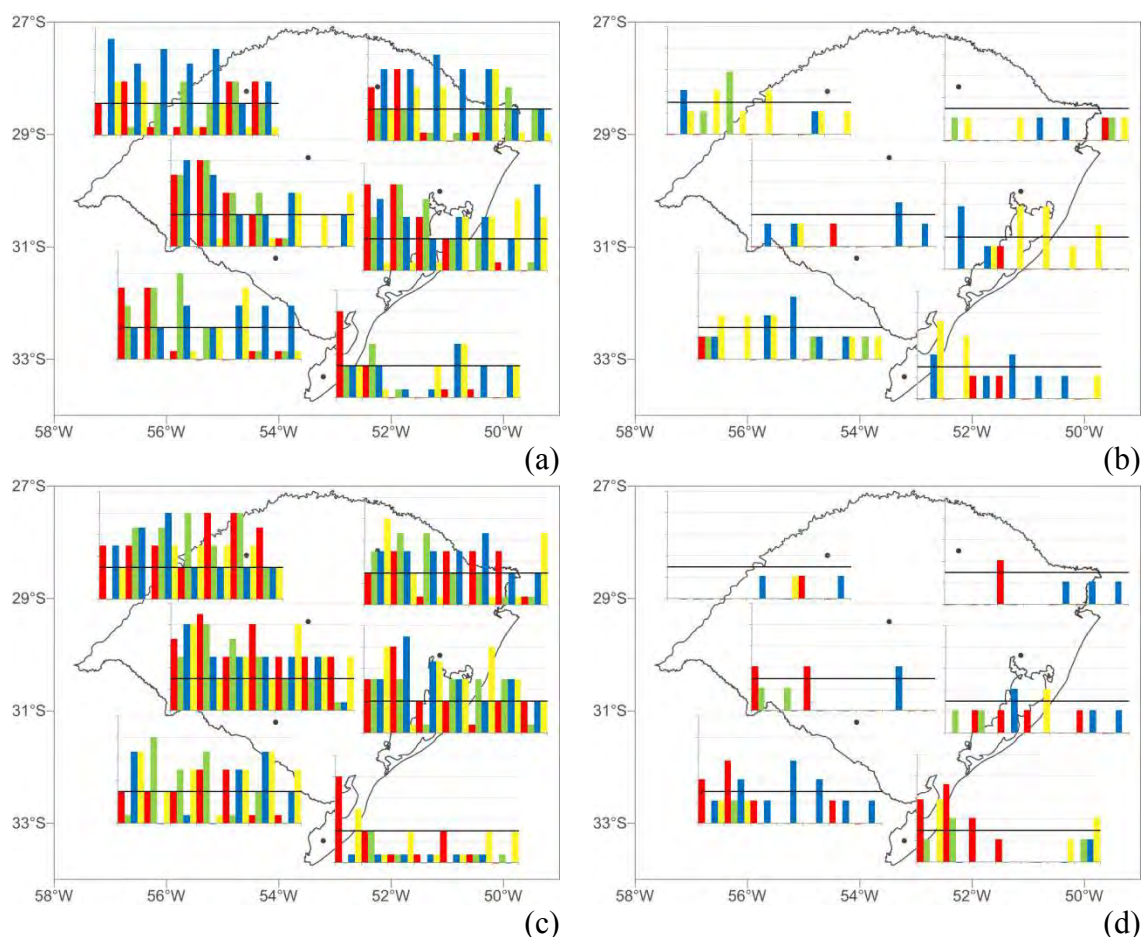


Figura 4.63 - Escores ROC entre ATSW e precipitações abaixo da normal na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre ATSW e precipitações acima das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.

Considerando-se as fases da ODP notam-se diferenças dos impactos das categorias positivas e negativas do PS. Na fase negativa da ODP o impacto das categorias negativas do PS é mais forte no inverno, simultaneamente e com defasagem de até 1 mês, na maioria das estações (Figura 4.64a). Já na fase positiva, o verão destaca os maiores valores, e com maior defasagem (Figura 4.64b). As categorias positivas do PS,

na fase negativa da ODP, mostra a primavera como estação com maiores valores de escore, simultaneamente e com defasagem de 1 mês (Figura 4.64c). Na fase positiva da ODP, as anomalias positivas tem menor impacto nas precipitações, e destaca-se o verão e outono também com pouca defasagem (Figura 4.64d).

Nota-se pela Figura 4.64 que a estação mais ao sul (Santa Vitória) é aquela que apresenta os menores escores, em acordo com Studzinski e Diaz (1994), que mostram que a região do RS mais bem correlacionada com o PS é a metade norte do Estado.

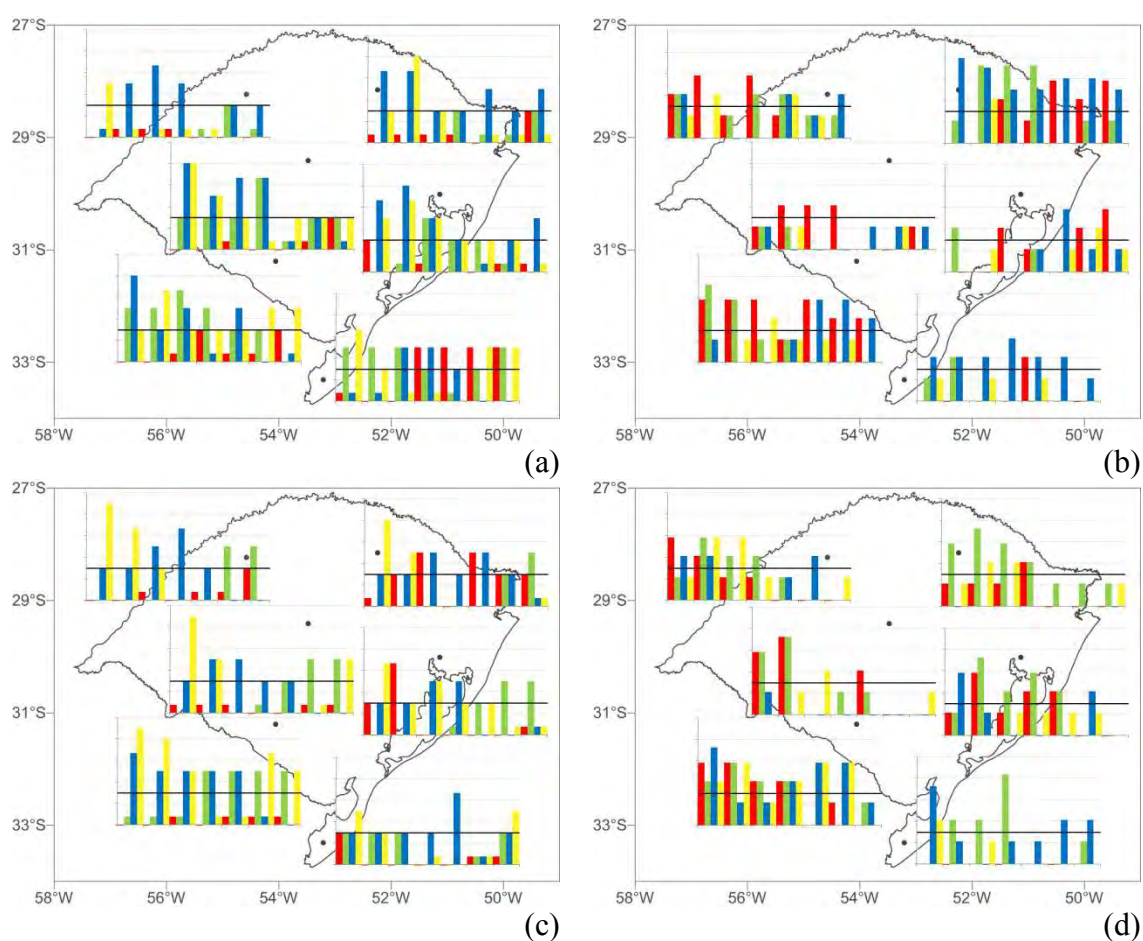


Figura 4.64 - Escores ROC entre PS abaixo das normais e precipitações acima das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escore ROC entre PS acima das normais e precipitações abaixo das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.

Assim como no caso do PS, a forma como são selecionados os casos das tabelas de contingência para IOA e precipitação no RS foram invertidos, para fins de facilitar as comparações, uma vez que a correlação entre os mesmos é negativa (Figura 4.65). Nitidamente, os impactos do IOA no aumento das precipitações, quando o índice está abaixo do normal, são mais fortes na fase positiva da ODP, com o verão destacando-se na maioria das estações, com defasagens de até 5 meses. Já o impacto do IOA na ocorrência de precipitações abaixo das normais (IOA acima da normal) é mais intenso do que no aumento das chuvas. Na fase negativa da ODP essas influências são mais fortes no inverno, simultaneamente e com defasagem de até 5 meses; na fase positiva, isso ocorre no verão mais simultaneamente e com defasagem de 1-2 meses.

Já Silvestri e Vera (2003) mostraram que a Oscilação Antártica influencia as precipitações no RS, também inversamente, mas em novembro e dezembro do ano do evento (utilizando correlação e sem considerar a defasagem das relações). Segundo os autores, durante a primavera, o IOA positivo (negativo) estaria associado com intensificação de uma anomalia anticiclônica (cyclônica) em altos níveis, diminuição (aumento) da convergência de umidade e diminuição (aumento) da precipitação na AS.

Devido à defasagem, nota-se que as relações entre a AO e as anomalias positivas de precipitação mais intensas (ODP+) ocorrem apenas no verão ou outono (Figura 4.65)

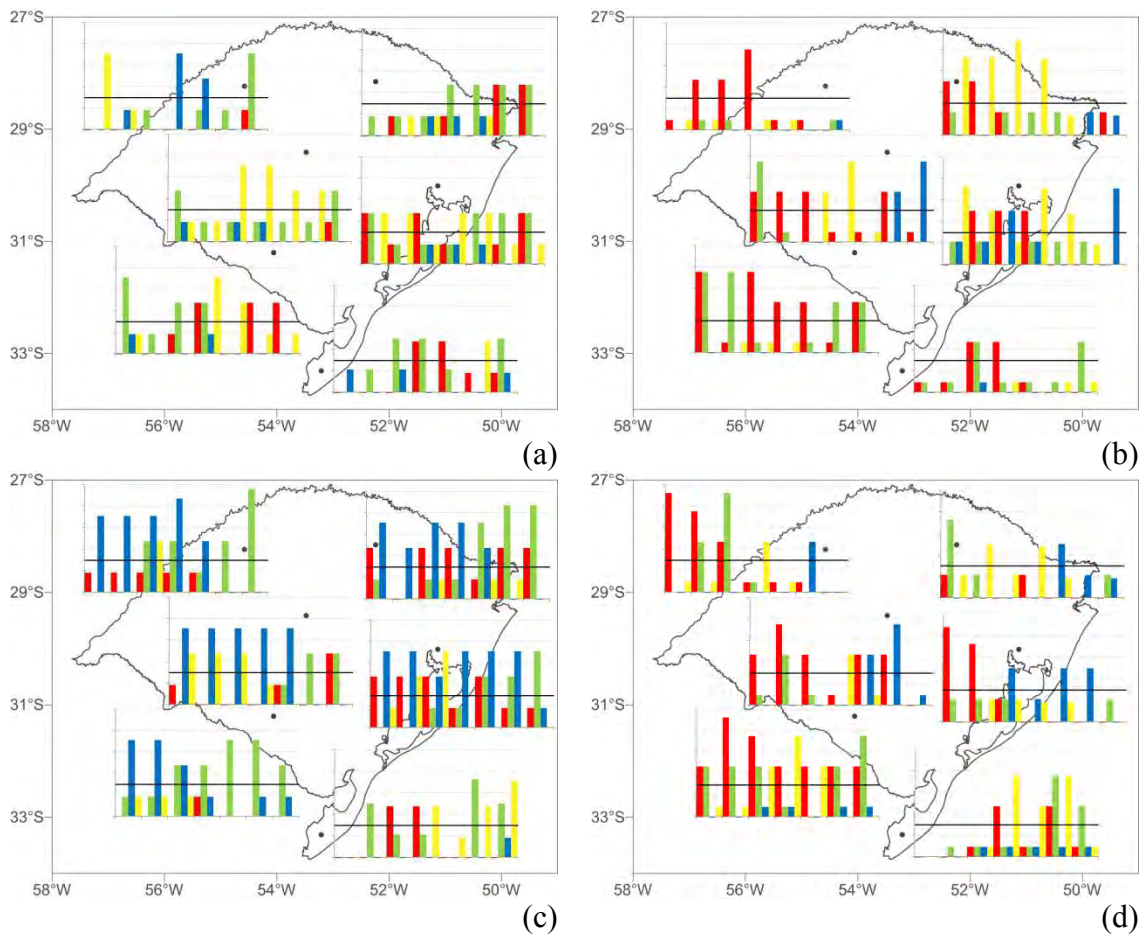


Figura 4.65 - Escores ROC entre IOA abaixo das normais e precipitações acima das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre IOA acima das normais e precipitações abaixo das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.



#### **4.2.2 Relações entre os índices de TSM do Pacífico e do Atlântico e do IOA e as temperaturas mínimas no RS, usando tabelas de contingência**

As séries de anomalias de temperaturas mínimas de 6 estações do RS apresentam tendências positivas e significativas, superiores às encontradas na precipitação (Figura 4.66). São Luiz Gonzaga é, novamente, a estação com maior tendência (6,25°C em 100 anos) e as estações mais ao Sul (Bagé e Santa Vitória do Palmar), são as que possuem as menores tendências (Tabela 4.9). Além disso, todas as séries apresentaram autocorrelação significativa a 5%. Considerando-se um índice médio para as mesmas 6 estações, Sansigolo e Kayano (2010) também encontraram tendências positivas e significativas, tanto sazonais como anuais. Para as análises de correlação serem feitas, foram retiradas as tendências seriais, e todas passaram no Teste de Mann-Kendall Modificado.

Ao serem submetidas ao teste das razões, todas as séries apresentaram homogeneidade e, diferente das séries de precipitação, todas as estações também mostraram ser homogêneas entre si. Mesmo assim, existem diferenças quanto às correlações (Tabela 4.10). Os menores coeficientes de correlação foram os que relacionam Santa Vitória (estação mais ao Sul) com São Luiz Gonzaga e Passo Fundo (estações mais ao norte). Já as maiores correlações foram entre Bagé e Santa Vitória (estações mais ao Sul). Diferente das precipitações, os gráficos das dispersões entre as séries (Figura 4.67) mostram que tanto as anomalias positivas quanto as negativas estão correlacionadas de maneira semelhante.

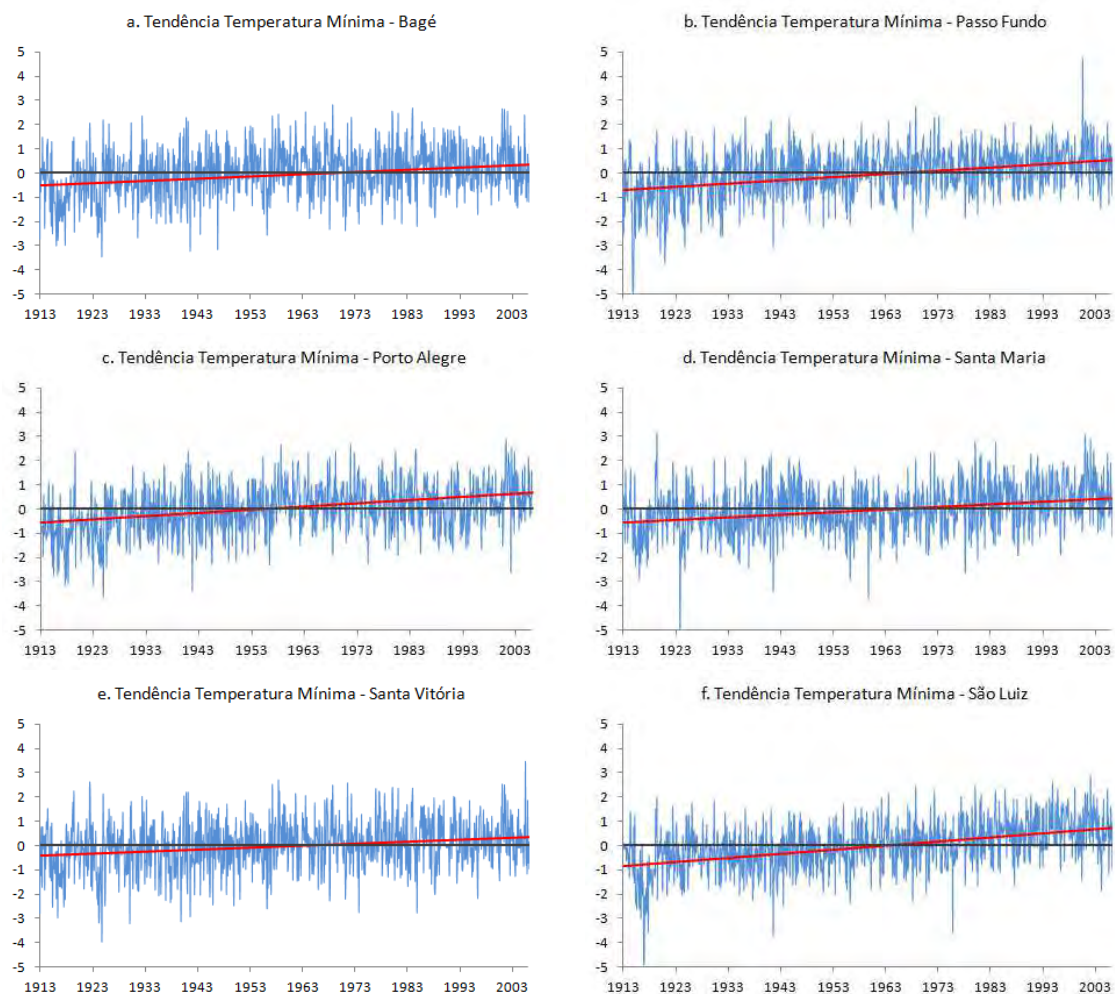


Figura 4.66 - Séries de anomalias mensais padronizadas de temperatura mínima de Bagé (a), Passo Fundo (b), Porto Alegre (c), Santa Maria (d), Santa Vitória do Palmar (e) e São Luiz Gonzaga (f). A linha vermelha indica a tendência linear das séries.

Tabela 4.9 - Valores dos testes de Mann-Kendall, tendências lineares, teste de sequências, coeficientes de autocorrelação com defasagem de 1 mês (para o caso das séries que não passam no teste de sequência) e teste de Mann-Kendall modificado (para o caso das séries com tendência significativa e autocorrelação serial), para as séries de temperatura mínima do RS.

Variável	Estações	Mann-Kendall	Tendência linear (/100a)	Tendência linear (°C/100a)	Teste de Sequências	Auto correl. (lag 1)	MK Modif.
Temperatura Mínima	Bagé	8,10*	0,95	3,63	-5,30*	0,24	-0,56
	Passo Fundo	11,68*	1,34	4,62	-3,99*	0,33	-0,99
	Porto Alegre	12,25*	1,34	5,14	-5,18*	0,33	0,02
	Santa Maria	10,19*	1,11	4,18	-4,46*	0,27	0,03
	Santa Vitória	6,93*	0,82	3,08	-5,18*	0,25	-0,76
	São Luiz Gonzaga	15,83*	1,68	6,25	-2,74*	0,36	-0,48

\*valores de testes significativos a 5%.

Tabela 4.10 - Correlações entre as séries de anomalias temperaturas mínimas no Rio Grande do Sul. Valores mais altos em azul, mais baixos em vermelho.

	Passo Fundo	Porto Alegre	Santa Maria	Santa Vitória	São Luiz
Bagé	0,72	0,81	0,80	0,83	0,78
Passo Fundo		0,76	0,73	0,62	0,72
Porto Alegre			0,78	0,75	0,76
Santa Maria				0,75	0,78
Santa Vitória					0,67

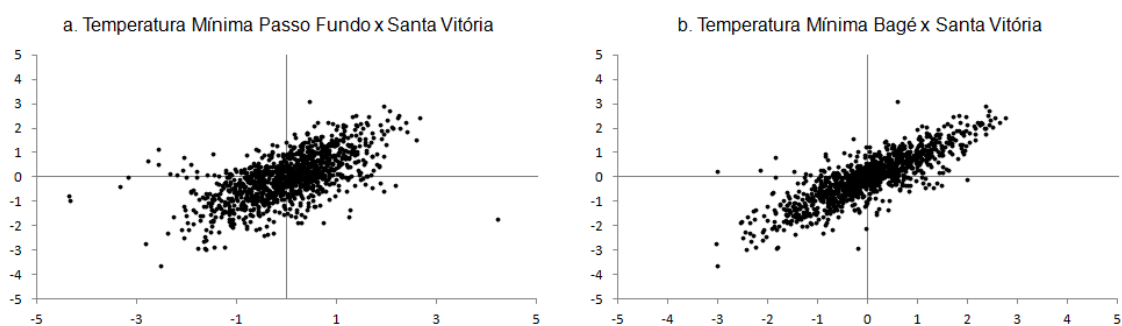


Figura 4.67 - Gráficos de dispersão entre as séries de anomalias de temperaturas mínimas com menor (a), e maior coeficiente de correlação (b).

A Figura 4.68 mostra como o ENOS influencia a temperatura mínima no RS, considerando-se as tabelas de contingência nas diferentes fases da ODP. Em geral, o aumento (diminuição) nas anomalias de TSM da região do Niño 3.4 acarreta anomalias positivas (negativas) nas temperaturas mínimas nas diferentes regiões do RS. Este

resultado é coerente com o encontrado por Firpo et al. (2012), pois observa-se mais ondas de frio durante eventos La Niña. Os impactos devido à La Niña ocorrem durante todo o ano do evento, com defasagens de até 6 meses. A influência da La Niña na ocorrência de temperaturas mínimas abaixo das normais é maior do que a do El Niño na ocorrência destas acima das normais. Os impactos devido a La Niña ocorrem mais fortemente no inverno e no verão, com defasagem de 3 a 5 meses. Já os dos El Niño, além de mais fracos, também aparecem no outono e no inverno, simultâneos e com defasagem de até 5 meses, nas estações localizadas mais ao litoral do estado, e também no outono e com menores defasagem, nas estações mais continentais.

Quanto às fases da ODP, nota-se que durante suas fases negativas, a influência do ENOS nas temperaturas mínimas é muito mais intensa do que nas positivas, na maioria das estações, com exceção de Passo Fundo. Essas diferenças são ainda mais acentuadas no caso das La Niñas associadas às ocorrências de temperaturas mínimas abaixo das normais do que no caso dos El Niños associados com as temperaturas mínimas acima das normais.

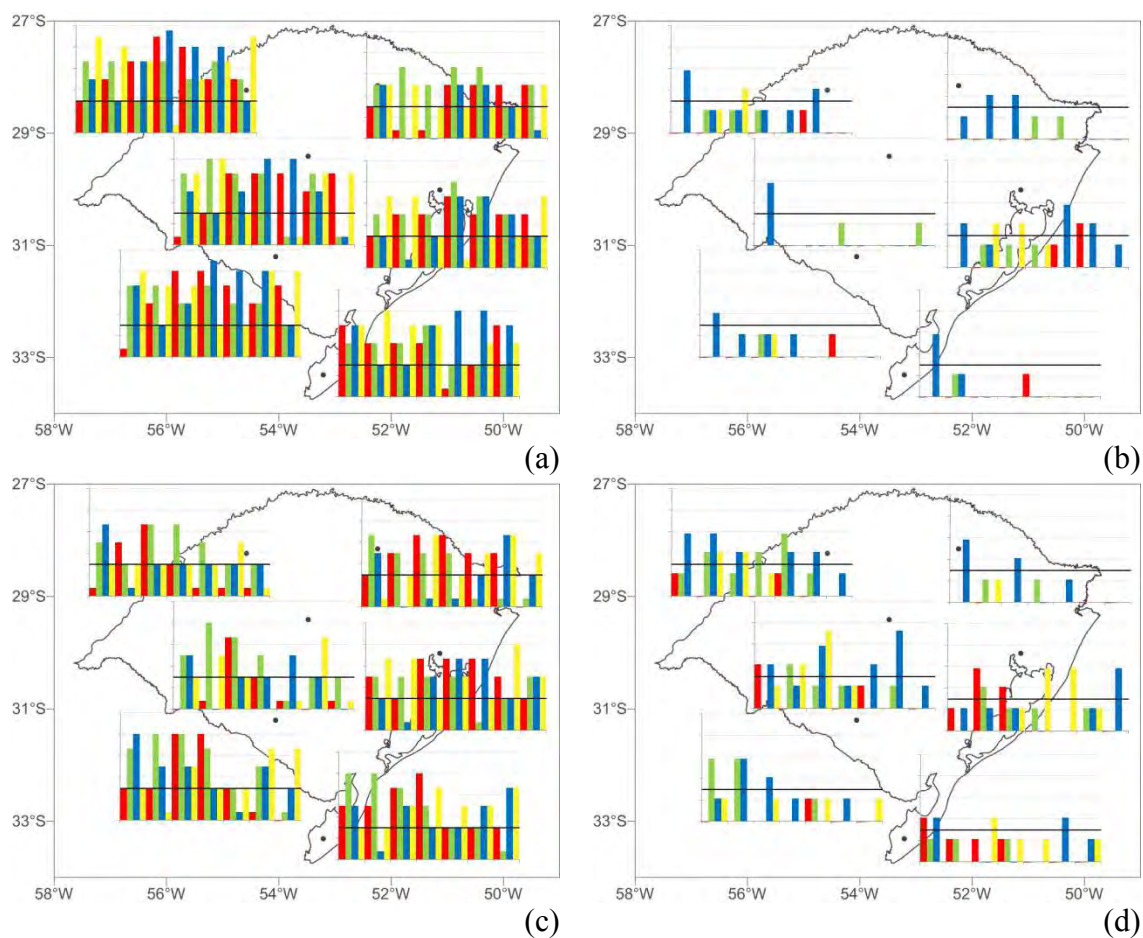


Figura 4.68 - Escores ROC entre La Niña e temperaturas mínimas abaixo das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre El Niño e temperaturas mínimas acima das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.

A influência do ATSW nas temperaturas mínimas do RS através de escores de tabelas de contingência é mostrada na Figura 4.69. Estratificando-se o período analisado nas fases da ODP, nota-se que as influências são mais fortes no caso de ODP negativa. Na fase positiva, os impactos mais fortes são apenas os simultâneos. As anomalias de TSM do ATSW abaixo das normais (Figura 4.69a) estão associadas à ocorrência de temperaturas mínimas abaixo das normais, sendo os impactos mais simultâneos e intensos do que aqueles causados pelas anomalias acima das normais. Essa influência é mais forte no outono e inverno. Já com as anomalias positivas, os impactos também são fortes no verão, mais nas estações a oeste do RS.

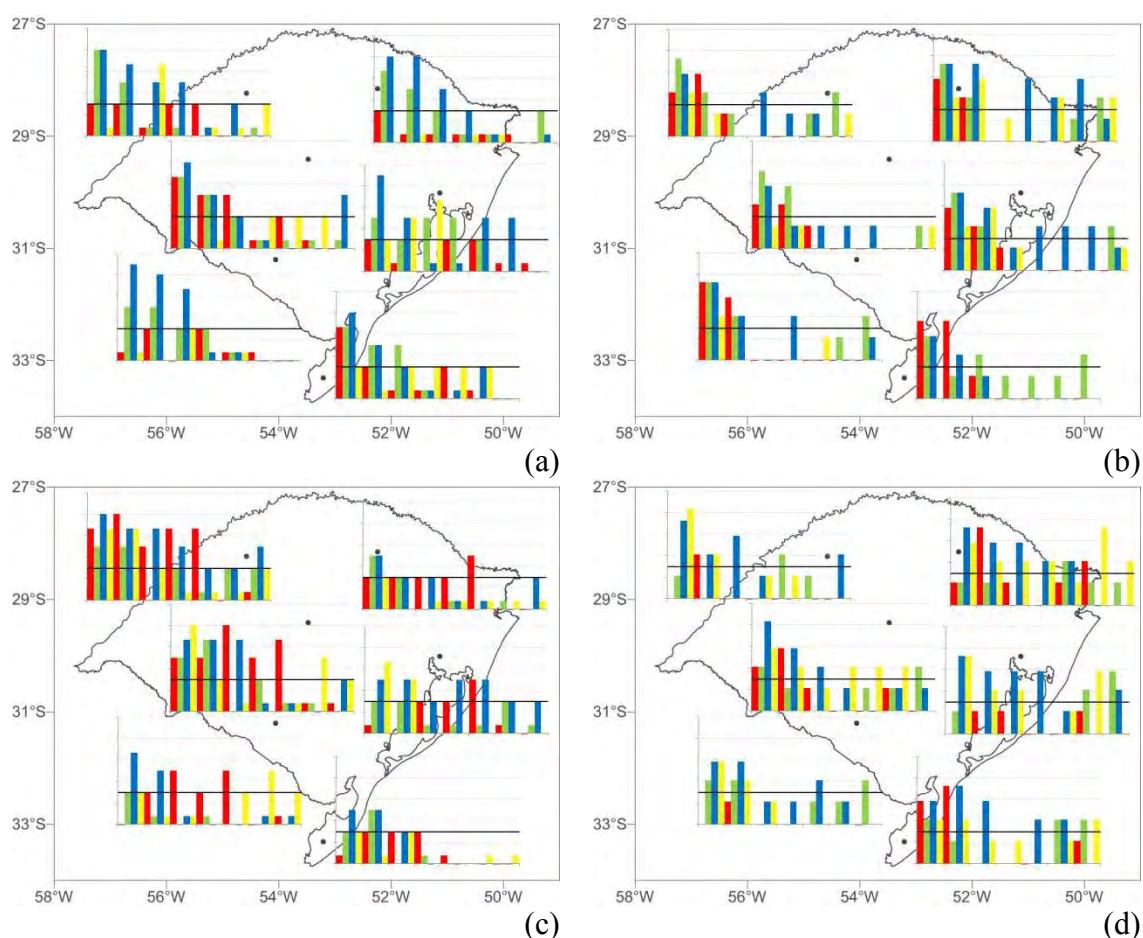


Figura 4.69 - Escores ROC entre ATSW e temperaturas mínimas abaixo das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre ATSW e temperaturas mínimas acima das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.

Em comparação com os resultados obtidos com ENOS e ATSW, as TSM do PS afetam bem menos as temperaturas mínimas no RS, como mostrado na Figura 4.70. Existem diferenças quanto às fases da ODP. Em geral nota-se uma redução nos valores dos coeficientes na sua fase positiva. Também há diferenças entre o impacto das anomalias de TSM do PS abaixo e acima do normal. Quando as anomalias de TSM do PS estão acima do esperado, as temperaturas mínimas tendem a ficar abaixo das normais e essa influência é mais forte do que a das anomalias de TSM do PS abaixo das normais nas temperaturas mínimas acima das esperadas. As defasagens, intensidades e sazonalidade das relações variam bastante de acordo com cada estação, mas constata-se que, em

geral, obtêm-se escores com ganhos acima de 30% sobre a climatologia, principalmente no inverno e no outono, simultaneamente e com defasagem de poucos meses.

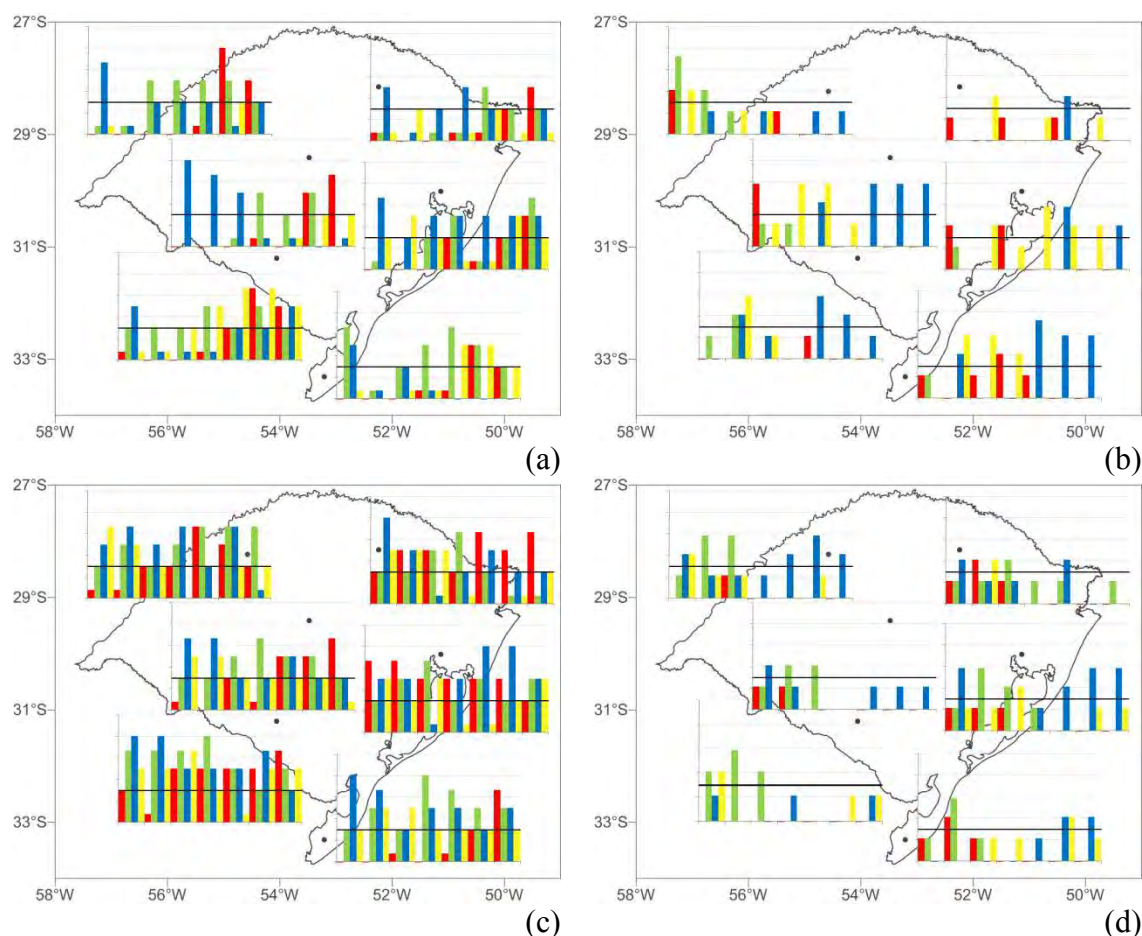


Figura 4.70 - Escores ROC entre as anomalias de TSM do PS abaixo das normais e temperaturas mínimas acima das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre as anomalias de TSM do PS acima das normais e temperaturas mínimas abaixo das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.

Quanto à relação da OA com as temperaturas mínimas do RS, notam-se variações nos resultados, dependendo da fase do IOA e da ODP (Figura 4.71). Quando o IOA está abaixo das normais, as influências são mais relevantes na fase positiva da ODP, destacando-se o verão e outono com defasagens de 0 a 2 meses, nas estações mais continentais. Quando IOA fica acima das normais, os impactos são fortes em ambas as fases, porém, se a ODP é negativa, ocorrem mais no inverno, defasadas de até 2 meses,

e primavera, defasadas de 3 a 6 meses; se a ODP é positiva, ocorrem mais no verão e outono com defasagens de 1 a 5 meses, dependendo da estação.

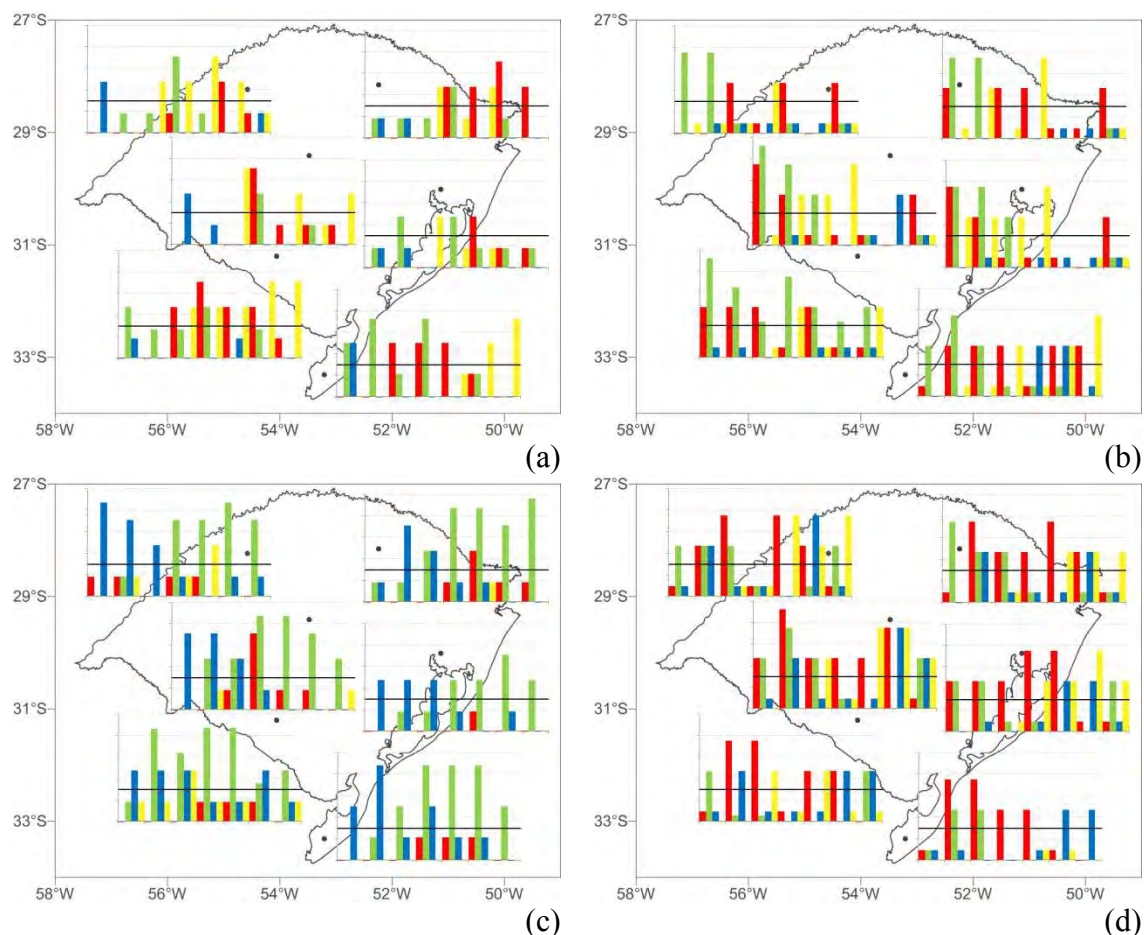


Figura 4.71 - Escores ROC entre o IOA abaixo das normais e temperaturas mínimas acima das normais na fase negativa (c) e positiva da ODP (d) e Escores ROC entre IOA acima das normais e temperaturas mínimas abaixo das normais na fase negativa (e) e positiva (f) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.



### **4.2.3 Relações entre os índices de TSM do Pacífico e do Atlântico e do IOA e as temperaturas máximas no RS, usando tabelas de contingência**

As séries de temperaturas máximas das 6 estações selecionadas para o estudo podem ser visualizadas na Figura 4.72. Apenas três estações apresentaram tendências lineares significativas nas temperaturas máximas (Tabela 4.11), sendo São Luiz Gonzaga aquela com maior tendência (2,73°C em 100 anos). Porto Alegre também apresentou tendência positiva, mas bem inferior (0,34°C/100 anos) e Santa Maria, tendência negativa (-1,58°C/100 anos). Considerando um índice médio, Sansigolo e Kayano (2010) observaram tendências negativas nas temperaturas máximas do RS (-0,6°C), porém apenas no verão. Como também nenhuma série passou no teste de sequências, mesmo após remoção destas tendências, devido a presença de autocorrelação de lag 1, todas foram submetidas ao Teste de Mann-Kendall modificado. Desta forma, diagnosticou-se que todas as séries estavam aptas (aleatórias) para serem correlacionadas com os índices de TSM e o IOA.

Analisando-se as relações entre as séries (Tabela 4.12), notou-se que, a correlação mais baixa foi encontrada entre Passo Fundo e Santa Vitória do Palmar, as únicas estações que não mostraram homogeneidade entre si. As maiores correlações foram entre Porto Alegre e Santa Maria (mesmo resultado das precipitações), as estações mais centrais do RS. Os gráficos de dispersão (Figura 4.73) mostram comportamento semelhante ao visto nas temperaturas mínimas, porém, com maior diferença de coesão entre as menores e as maiores correlações encontradas.

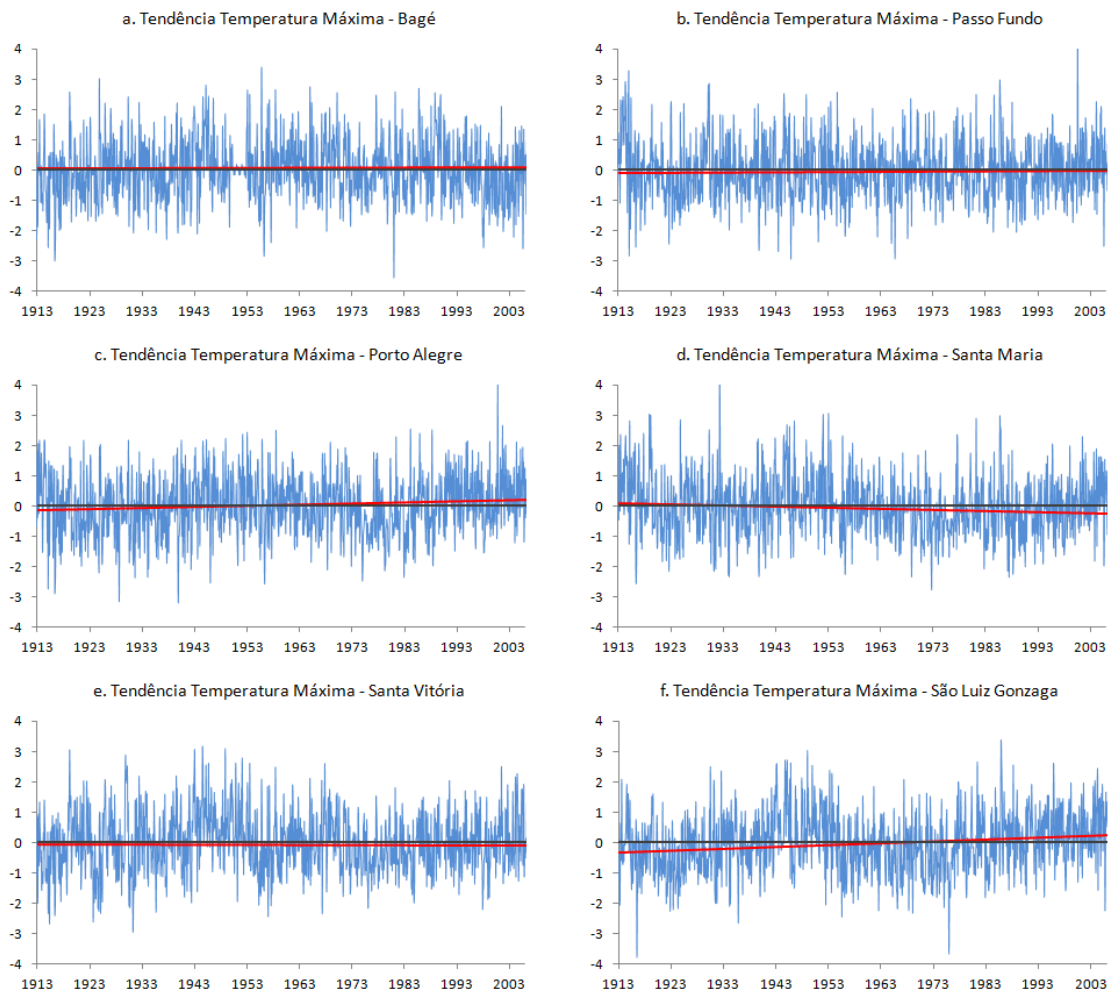


Figura 4.72 - Séries de anomalias mensais padronizadas de temperaturas máximas de Bagé (a), Passo Fundo (b), Porto Alegre (c), Santa Maria (d), Santa Vitória do Palmar (e) e São Luiz Gonzaga (f). A linha vermelha indica a tendência linear das séries.

Tabela 4.11 - Valores dos testes de Mann-Kendall, tendências lineares, teste de sequências, coeficientes de autocorrelação com defasagem de 1 mês (para o caso das séries que não passam no teste de sequência) e teste de Mann-Kendall modificado (para o caso das séries com tendência significativa e autocorrelação serial), para as séries de temperatura máxima do RS.

Variável	Estações	Mann-Kendall	Tendência linear (/100a)	Tendência linear (°C/100a)	Teste de Sequências	Auto correl. (lag 1)	MK Modif.
Temperatura Máxima	<b>Bagé</b>	0,02	0,03	0,14	-3,03*	0,17	-0,28
	<b>Passo Fundo</b>	0,98	0,08	0,31	-3,87*	0,16	0,30
	<b>Porto Alegre</b>	2,61*	0,34	0,34	-4,94*	0,19	-0,31
	<b>Santa Maria</b>	-3,21*	-0,36	-1,58	-5,06*	0,21	0,24
	<b>Santa Vitória</b>	-0,55	-0,03	-0,03	-7,21*	0,31	-0,12
	<b>São Luiz Gonzaga</b>	5,71*	0,61	2,73	-5,66*	0,28	0,30

\*valores de testes significativos a 5%.

Tabela 4.12 - Correlações amostrais entre as séries de anomalias temperaturas máximas no Rio Grande do Sul. Valores mais altos em azul, mais baixos em vermelho.

	Passo Fundo	Porto Alegre	Santa Maria	Santa Vitória	São Luiz
<b>Bagé</b>	0,62	0,74	0,74	0,71	0,67
<b>Passo Fundo</b>		0,75	0,71	0,50	0,76
<b>Porto Alegre</b>			0,82	0,67	0,71
<b>Santa Maria</b>				0,63	0,78
<b>Santa Vitória</b>					0,55

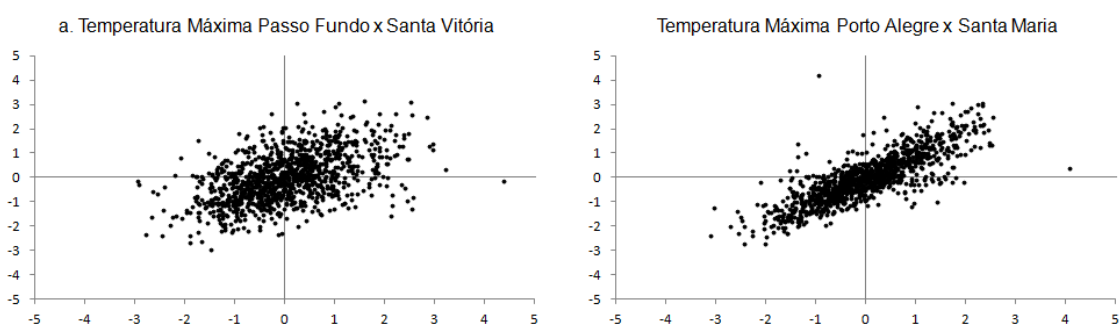


Figura 4.73 - Dispersões entre as séries de anomalias de temperaturas máximas com menor (a), e maior coeficiente de correlação (b).

Quando analisado como as temperaturas máximas são influenciadas pelas TSM do Atlântico e do Pacífico e pelo IOA, nota-se que a correspondência entre suas categorias não são sempre as mesmas, como observado nas precipitações e temperaturas mínimas, podendo inverter, assim como o sinal das correlações, dependendo do período do ano e

defasagem. Isso significa, por exemplo, que variações das TSM do Pacífico ou Atlântico podem causar um aumento das temperaturas máximas do RS em um período do ano, mas logo após, em outro período, este mesmo evento pode acarretar a sua diminuição. Para observar este comportamento, foram analisados tanto os casos de correlação positiva (e tabelas de contingência que relacionam categorias com mesmos sinais) quanto os de correlação negativa (e tabelas de contingência que relacionam as categorias de sinais contrários) das TSM do Atlântico e Pacífico e o do IOA com as temperaturas máximas do RS.

Nota-se, por exemplo, que o impacto do ENOS nas temperaturas máximas varia de acordo com as fases da ODP e com a sazonalidade. A Figura 4.74 mostra que a influência da La Niña (El Niño) na diminuição (aumento) das temperaturas máximas é maior na fase negativa da ODP, sendo que o impacto ainda pode ser significativo na fase positiva, mas mais fraco, apenas no inverno e em algumas estações. Destaca-se o impacto da La Niña no outono (simultâneo e com defasagem de 3 e 6 meses) e do El Niño no inverno (simultâneo e com defasagem de 3 meses). Já a influência da La Niña (El Niño) no aumento (diminuição) das temperaturas máximas (Figura 4.75) é mais acentuada na fase positiva da ODP, com destaque para o impacto da La Niña no verão (defasagem de até 6 meses) e do El Niño também no verão, com o sinal se mantendo no outono e no inverno.

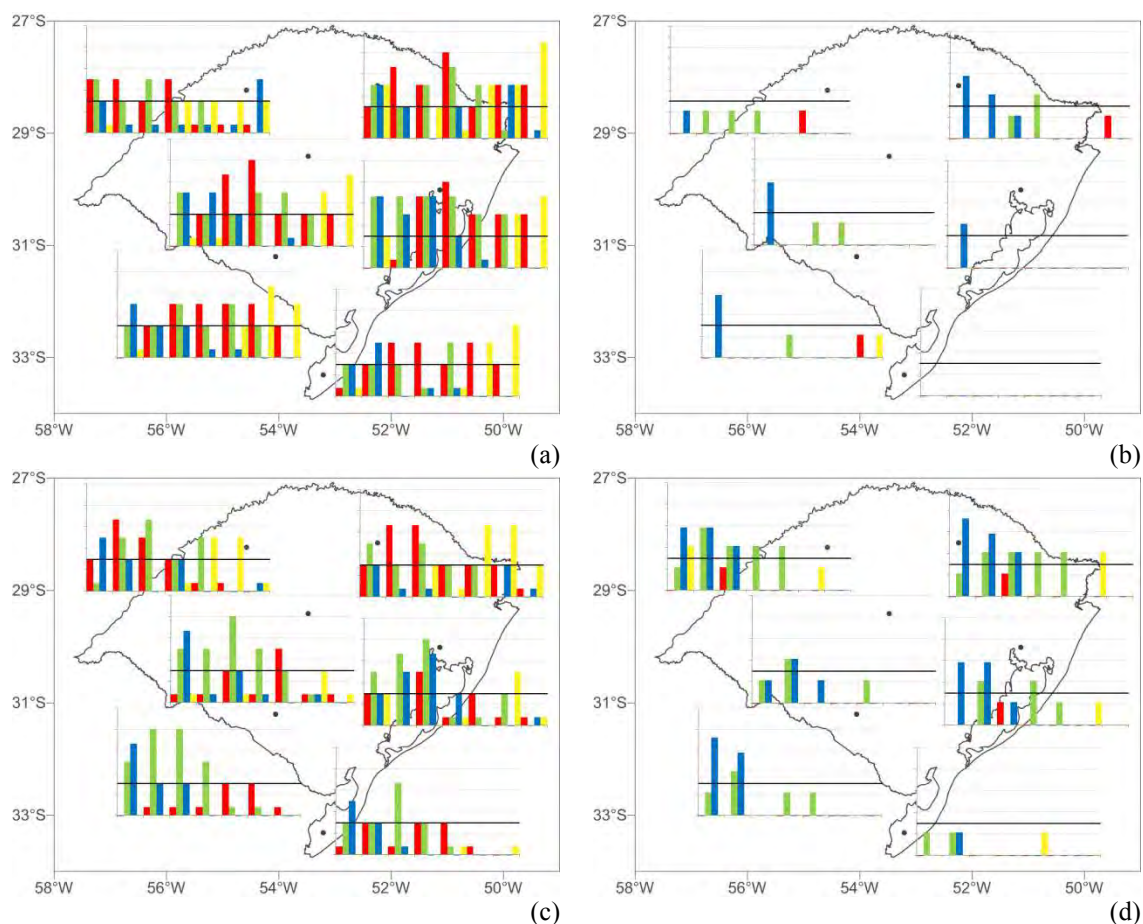


Figura 4.74 - Escores ROC entre La Niña e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre El Niño e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.

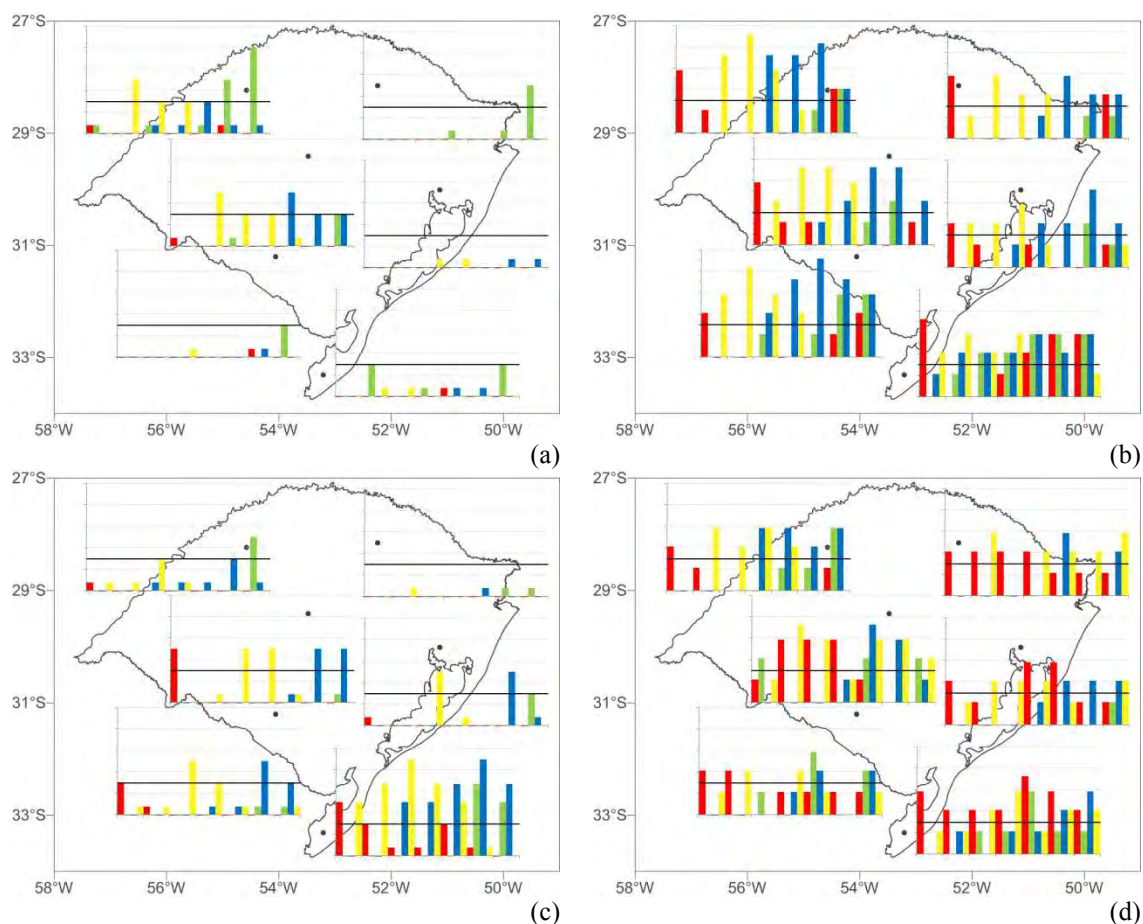


Figura 4.75 - Escores ROC entre La Niña e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre El Niño e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.

Quando à influência do ATSW nas temperaturas máximas, consideradas as fases da ODP, nota-se que, para os impactos diretos (Figura 4.76) são mais nítidos (inverno) nas fases negativas da ODP, quando observadas as relações entre TSM do ATSW abaixo das normais e temperaturas máximas abaixo das normais, e nas fases positivas, quando consideradas a TSM do ATSW acima das normais com temperaturas também acima. Já os impactos inversos, isto é, com os sinais trocados (Figura 4.77) mostram que as TSM do ATSW acima das normais estão mais relacionadas com as temperaturas abaixo das normais no verão, mas estes são mais simultâneos quando a ODP esta na fase negativa, e defasados, começando o impacto no inverno, quando na fase positiva.

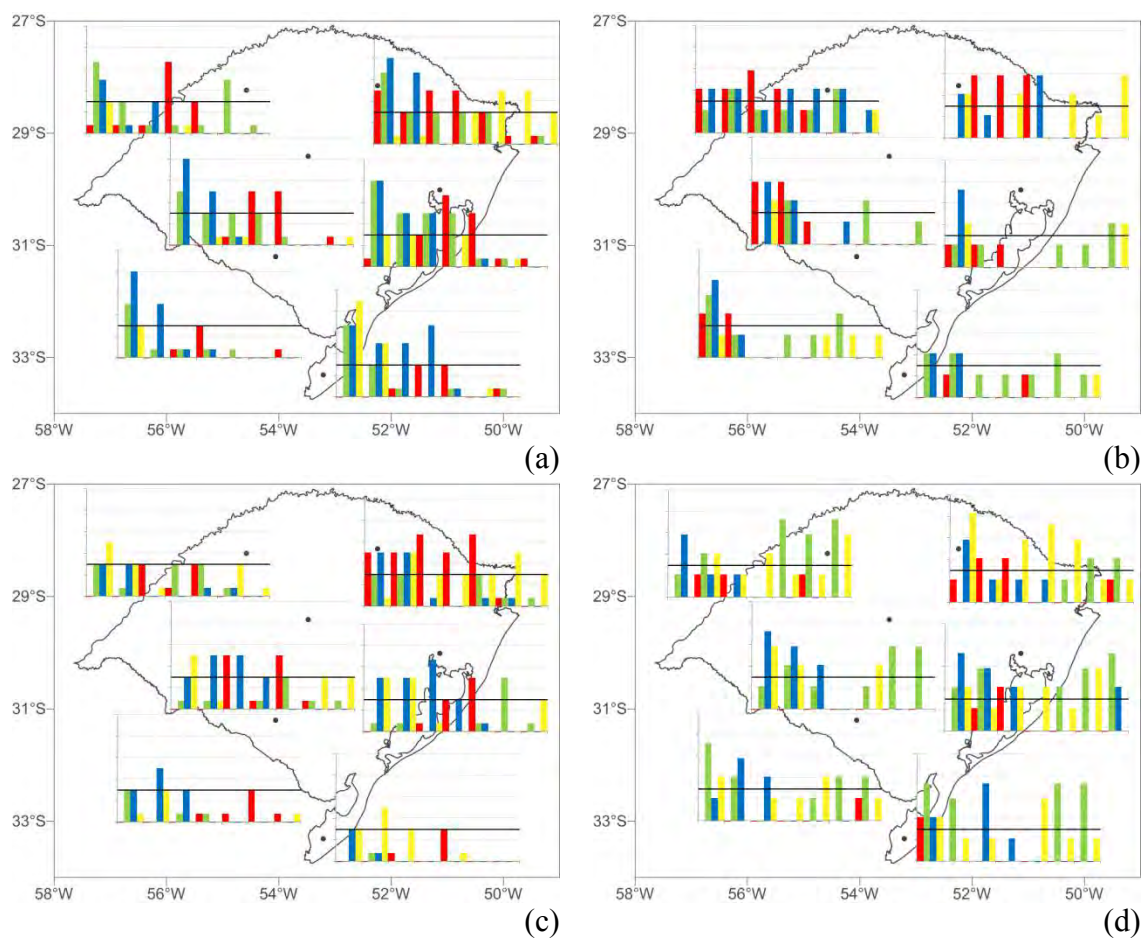


Figura 4.76 - Escores ROC entre ATSW abaixo das normais e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre ATSW acima das normais e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.

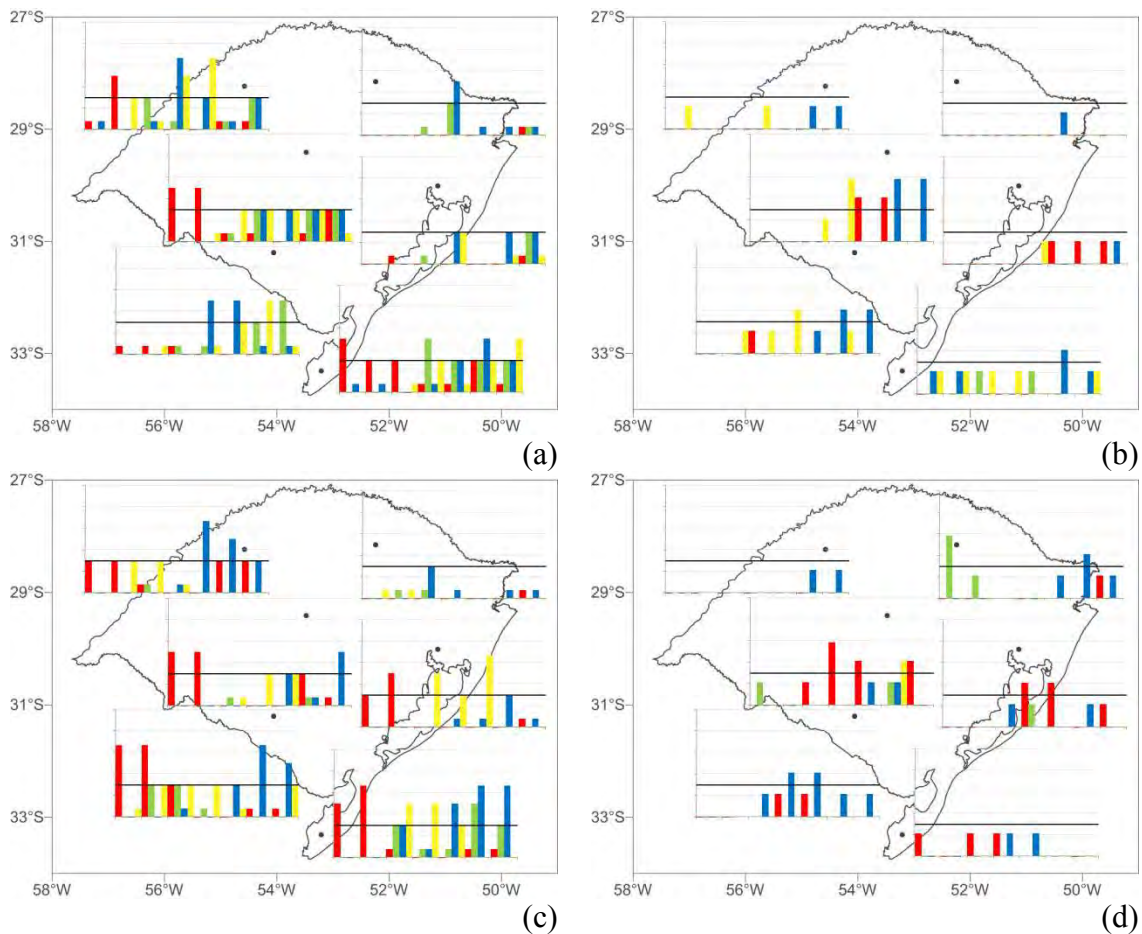


Figura 4.77 - Escores ROC entre ATSW abaixo das normais e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre ATSW acima das normais e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.

O impacto das fases da ODP nas relações entre PS e temperaturas máximas no RS é muito relevante, e pode ser notado através da análise das Figuras 4.78 e 4.79. A Figura 4.78a(c) indica diminuição (aumento) das temperaturas máximas quando as anomalias de TSM do Pacífico estão acima (abaixo) das normais, na fase negativa da ODP. Este impacto é mais evidente no inverno e no outono (defasados de até 6 meses). Já a Figura 4.79b(d) também evidencia diminuição (aumento) das máximas, porém devido a anomalias negativas (positivas) de TSM do PS, na fase positiva da ODP, em geral, no outono (Figura 4.79b) e verão (Figura 4.79d).



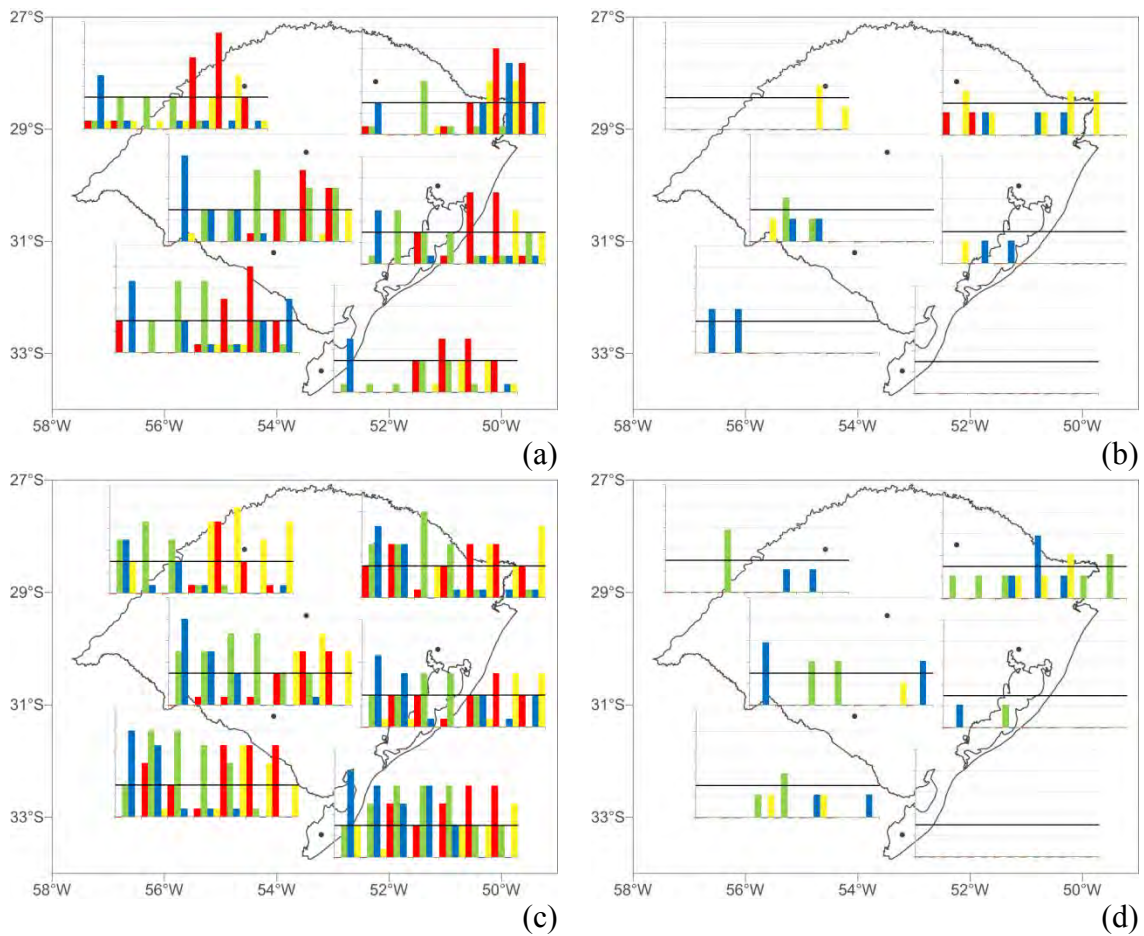


Figura 4.78 - Escores ROC entre TSM do PS abaixo das normais e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre TSM do PS acima das normais e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.

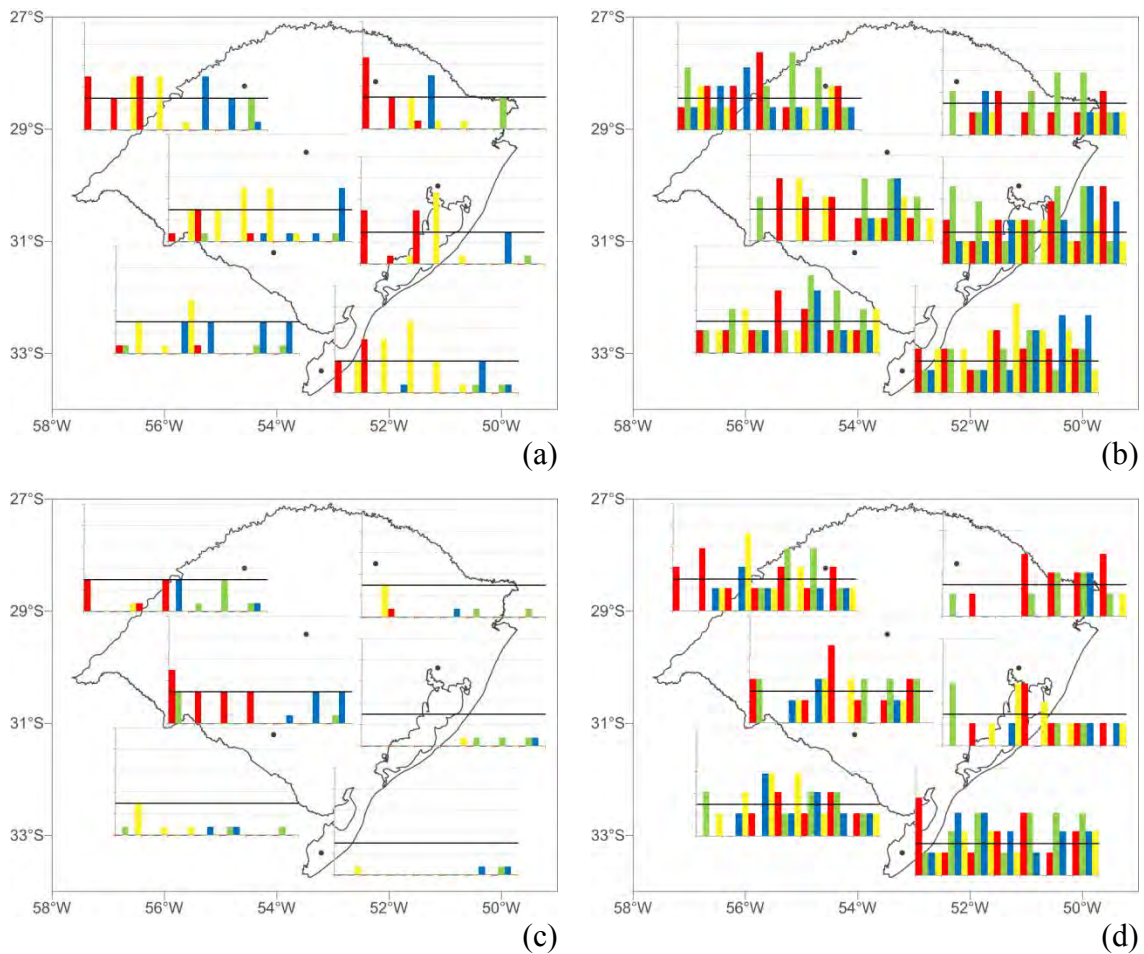


Figura 4.79 - Escores ROC entre TSM do PS abaixo das normais e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre TSM do PS acima das normais e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.

A Figura 4.80 mostra que há relações entre a categoria negativa (positiva) do IOA e temperaturas máximas acima (abaixo) das normais, para a maioria das estações. Essas relações ficam mais intensas e ocorrem mais no verão (inverno), com defasagem de até 4 (6) meses, especialmente durante a fase negativa da ODP. Já a Figura 4.81 indica que as relações são mais fracas quando comparadas a categoria do IOA abaixo (acima) das normais com a de temperaturas máximas acima (abaixo) das normais.

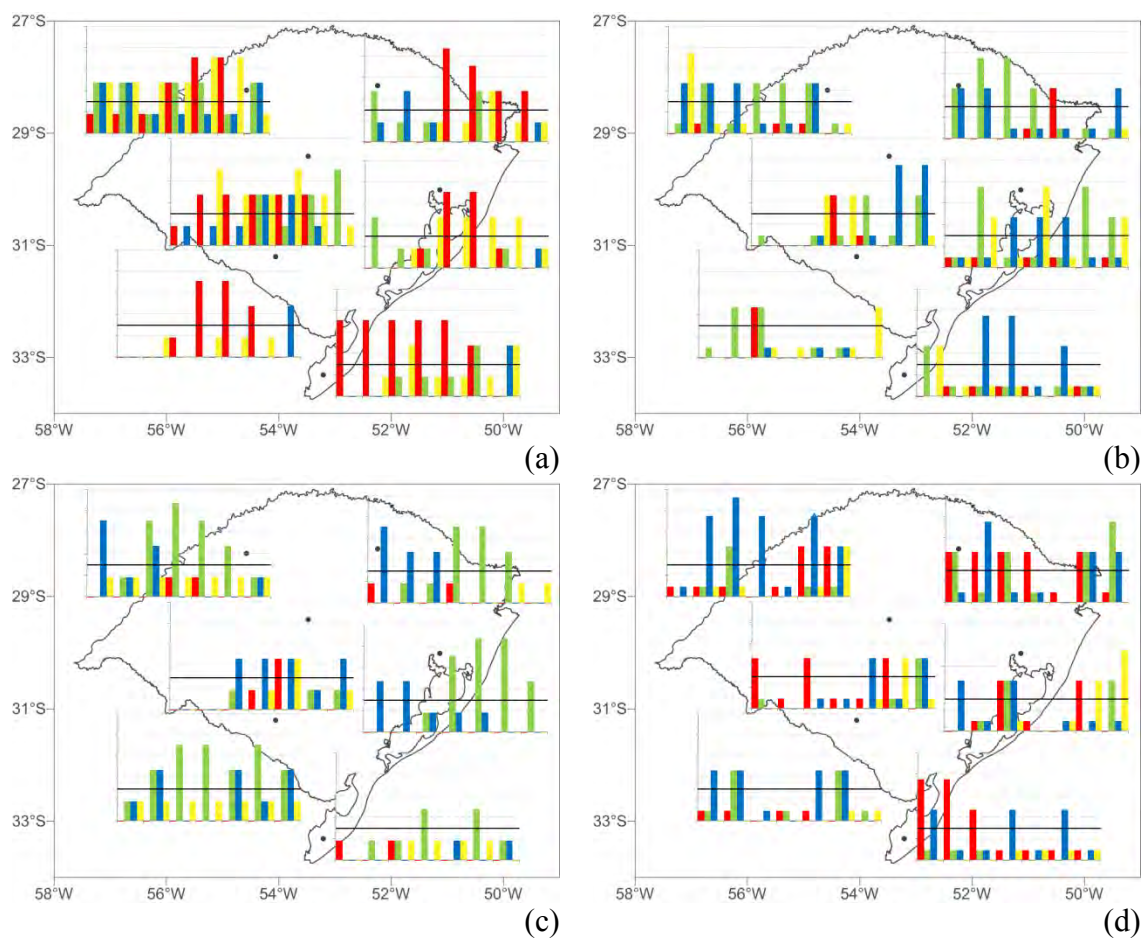


Figura 4.80 - Escores ROC entre IOA abaixo das normais e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (c) e positiva da ODP (d) e Escores ROC entre IOA acima das normais e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (e) e positiva (f) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.

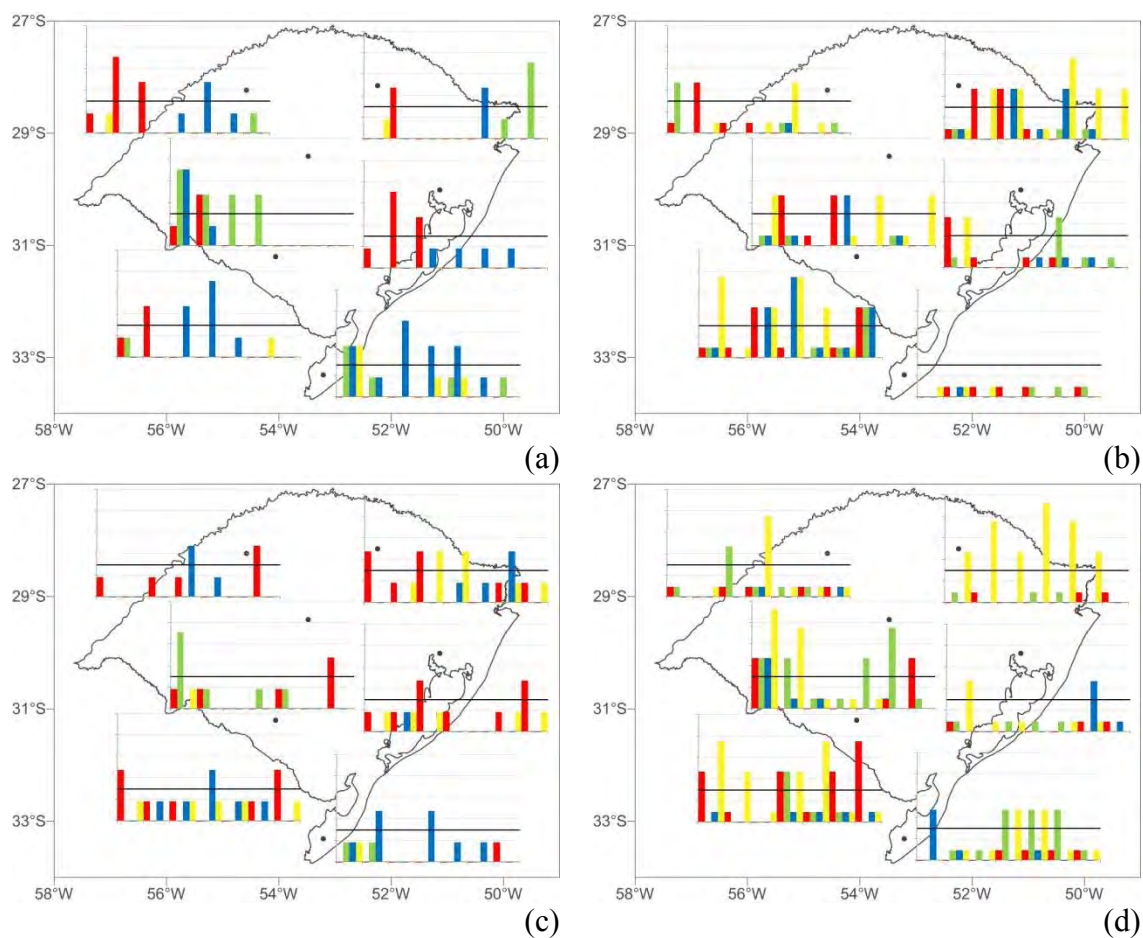


Figura 4.81 - Escores ROC entre IOA abaixo das normais e temperaturas máximas abaixo das normais na fase negativa (a) e positiva da ODP (b) e Escores ROC entre IOA acima das normais e temperaturas máximas acima das normais na fase negativa (c) e positiva (d) da ODP, para as 6 estações consideradas, nas quatro estações do ano, nas defasagens de 0 a 6 meses. As colunas vermelhas representam o período de DJF; as verdes, MAM; as azuis, JJA e as amarelas, SON. Os Escores variam de 0 a 1 e a linha indica um ganho de 30% sobre a climatologia.

As Tabelas 4.13, 4.14, 4.15 mostram o resumo dos resultados obtidos no item 4.2 referente às relações dos índices de ENOS, ATSW, PS e AO com as precipitações acima e abaixo das normais, temperaturas mínimas acima e abaixo das normais e temperaturas máximas, acima e abaixo das normais, respectivamente, nas diferentes fases da ODP. Na posse destas informações, foram selecionados no período entre 1948 e 2011, casos em que todos os índices, ou o máximo possível destes, interagissem, acarretando anomalias extremas de precipitação e temperatura. Esses estudos são apresentados no item 4.3 do presente trabalho.

Tabela 4.13 – Síntese dos resultados do item 4.2.1

Precipitação			
Padrão	Fases	ODP -	ODP +
ENOS	La Niña	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Precipitação abaixo das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP+,mas menores defasagens;</li> <li>- Impactos mais fortes na primavera e verão;</li> <li>- Começa no outono (6 meses a simultânea).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Precipitação abaixo das normais);</li> <li>- Escores mais altos do que ODP, mas maiores defasagens;</li> <li>- Impactos mais fortes no verão;</li> <li>- Começa no inverno (6 meses a simultâneo).</li> </ul>
	El Niño	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Precipitação acima das normais);</li> <li>- Observado o mesmo que no caso da La Niña, porém, mais fraco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Precipitação acima das normais);</li> <li>- Observado o mesmo que no caso da La Niña, porém, mais fraco.</li> </ul>
ATSW	Tercil Inferior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Precipitação abaixo das normais);</li> <li>- Escores mais altos do que ODP+;</li> <li>- Relações mais intensas no verão;</li> <li>- Começa no inverno (6 meses a simultânea).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Precipitação abaixo das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP-.</li> </ul>
	Tercil Superior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Precipitação acima das normais);</li> <li>- Escores mais altos do que ODP+;</li> <li>- Relações ocorrem durante o ano todo;</li> <li>- Defasagem de 6 meses a simultânea.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Precipitação acima das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP-.</li> </ul>
PS	Tercil Inferior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Precipitação acima das normais);</li> <li>- Em geral, escores mais altos do que ODP +;</li> <li>- Relações mais intensas no inverno e primavera;</li> <li>- Começa no inverno (3 meses a simultânea)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Precipitação acima das normais);</li> <li>- Em geral, escores mais baixos do que ODP -;</li> <li>- Relações mais intensas no inverno e primavera;</li> <li>- Começa no inverno (3 meses a simultânea)</li> </ul>
	Tercil Superior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Precipitação abaixo das normais);</li> <li>- Em geral, escores mais altos do que ODP +;</li> <li>- Relações mais intensas na primavera;</li> <li>- Começa no outono (6 meses a simultânea)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Precipitação abaixo das normais);</li> <li>- Em geral, escores mais baixos do que ODP -;</li> <li>- Relações mais intensas no verão e outono;</li> <li>- Simultâneas.</li> </ul>
OA	Fase Negativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Precipitação acima das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP +.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Precipitação acima das normais);</li> <li>- Escores mais altos do que ODP-;</li> <li>- Relações mais intensas no verão e outono;</li> <li>- Começa no verão (3 meses a simultânea)</li> </ul>
	Fase Positiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Precipitação abaixo das normais);</li> <li>- Relações mais intensas na primavera e inverno;</li> <li>- Começa no outono (6 meses a simultânea).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Precipitação abaixo das normais);</li> <li>- Relações mais intensas no verão;</li> <li>- Simultânea.</li> </ul>

Tabela 4.14 – Síntese dos resultados do item 4.2.2

Temperatura Mínima			
Padrão	Fases	ODP -	ODP +
ENOS	La Niña	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Mínimas abaixo das normais);</li> <li>- Escores mais altos do que ODP +;</li> <li>- Impactos durante o ano todo, mais na primavera e no outono;</li> <li>- Simultâneas e defasadas de até 6 meses.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Mínimas abaixo das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP-.</li> </ul>
	El Niño	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Mínimas acima das normais);</li> <li>- Influência mais fraca que La Niña;</li> <li>- Relações mais fortes no outono e inverno;</li> <li>- Simultâneas e defasadas de até 6 meses.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Mínimas acima das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP-.</li> </ul>
ATSW	Tercil Inferior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Mínimas abaixo das normais);</li> <li>- Escores mais altos e persistentes do que ODP+;</li> <li>- Relações mais intensas no outono e inverno;</li> <li>- Começa na primavera (3 meses a simultânea).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Mínimas abaixo das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP-.</li> <li>- Relações mais intensas no verão, outono e inverno;</li> <li>- Simultâneas.</li> </ul>
	Tercil Superior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Mínimas acima das normais);</li> <li>- Escores mais altos do que ODP+;</li> <li>- Relações ocorrem durante o ano todo, mas mais no inverno;</li> <li>- Defasagem de 3 meses a simultânea.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Mínimas acima das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP-;</li> <li>- Relações mais intensas no inverno e primavera;</li> <li>- Simultâneas.</li> </ul>
PS	Tercil Inferior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Mínimas acima das normais);</li> <li>- Em geral, escores mais altos do que ODP +;</li> <li>- Relações mais intensas no inverno;</li> <li>- Começa no verão (6 meses a simultânea)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Mínimas acima das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP-;</li> </ul>
	Tercil Superior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Mínimas abaixo das normais);</li> <li>- Escores mais altos do que ODP +;</li> <li>- Relações mais intensas no inverno;</li> <li>- Começa no verão (6 meses a simultânea).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Mínimas abaixo das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP-;</li> </ul>
OA	Fase Negativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Mínimas acima das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP +;</li> <li>- Relações mais intensas no outono e inverno;</li> <li>- Começa na primavera (6 meses a simultânea).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Mínimas acima das normais);</li> <li>- Escores mais altos do que ODP-;</li> <li>- Relações mais intensas no verão e outono;</li> <li>- Começa na primavera (3 meses a simultânea)</li> </ul>
	Fase Positiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Mínimas abaixo das normais);</li> <li>- Relações mais intensas na primavera e inverno;</li> <li>- Começa no outono (6 meses a simultânea, mas não é simultânea na primavera).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Mínimas abaixo das normais);</li> <li>- Relações mais intensas no verão e outono;</li> <li>- Começa na primavera (6 meses a simultânea).</li> </ul>

Tabela 4.15 – Síntese dos resultados do item 4.2.3

Temperatura Máxima			
Padrão	Fases	ODP -	ODP +
ENOS	La Niña	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Máximas abaixo das normais);</li> <li>- Impactos durante outono e inverno;</li> <li>- Simultâneas e defasadas de até 6 meses; simultâneas e defasadas de até 3 meses, respectivamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Máximas acima das normais);</li> <li>- Impactos durante verão;</li> <li>- Simultâneas e defasadas de até 6 meses;</li> </ul>
	El Niño	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Máximas acima das normais);</li> <li>- Relações mais fortes no inverno;</li> <li>- Simultâneas e defasadas de até 3 meses.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Máximas abaixo das normais);</li> <li>- Relações mais fortes no verão;</li> <li>- Simultâneas e defasadas de até 6 meses.</li> </ul>
ATSW	Tercil Inferior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Máximas abaixo das normais);</li> <li>- Escores mais altos e persistentes do que ODP+;</li> <li>- Relações mais intensas no outono e inverno;</li> <li>- Começa na primavera (3 meses a simultânea).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Máximas abaixo das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP-.</li> <li>- Relações mais intensas no verão, outono e inverno;</li> <li>- Simultâneas.</li> </ul>
	Tercil Superior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Máximas acima das normais);</li> <li>- Escores mais altos do que ODP+;</li> <li>- Relações ocorrem durante o ano todo, mas mais no inverno;</li> <li>- Defasagem de 3 meses a simultânea.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Máximas acima das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP-;</li> <li>- Relações mais intensas no inverno e primavera;</li> <li>- Simultâneas.</li> </ul>
PS	Tercil Inferior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Máximas acima das normais);</li> <li>- Em geral, escores mais altos do que ODP +;</li> <li>- Relações mais intensas no inverno;</li> <li>- Começa no verão (6 meses a simultânea)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Máximas abaixo das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP -;</li> <li>- Relações mais intensas no outono;</li> <li>- Começa verão (3 meses a simultânea)</li> </ul>
	Tercil Superior	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Máximas abaixo das normais);</li> <li>- Escores mais altos do que ODP +;</li> <li>- Relações mais intensas no inverno;</li> <li>- Começa no verão (6 meses a simultânea).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação direta (Temperaturas Máximas acima das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP -;</li> <li>- Relações mais intensas no verão e outono;</li> <li>- Começa verão (3 meses a simultânea)</li> </ul>
OA	Fase Negativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Máximas acima das normais);</li> <li>- Escores mais altos do que ODP +;</li> <li>- Relações mais intensas no outono e inverno;</li> <li>- Começa na primavera (6 meses a simultânea).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Máximas acima das normais);</li> <li>- Escores mais baixos do que ODP-;</li> <li>- Relações mais intensas no verão e outono;</li> <li>- Começa na primavera (3 meses a simultânea)</li> </ul>
	Fase Positiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Máximas abaixo das normais);</li> <li>- Relações mais intensas na primavera e inverno;</li> <li>- Começa no outono (6 meses a simultânea, mas não é simultânea na primavera).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relação inversa (Temperaturas Máximas abaixo das normais);</li> <li>- Relações mais intensas no verão e outono;</li> <li>- Começa na primavera (6 meses a simultânea).</li> </ul>

#### **4.2.4 Variabilidade da Precipitação no RS e sua relação com a variabilidade do Pacífico, Atlântico e Oscilação Antártica, usando ondaletas**

A Figura 4.82 mostra os espectros de variabilidade da precipitação em cada uma das estações do RS selecionadas neste trabalho. Nota-se que a maior parte das estações apresenta picos de grande variabilidade para os períodos entre 2 e 8 anos, e algumas entre 8 e 16 anos. Calculando um índice médio para o RS, Kayano e Sansigolo (2010) encontraram apenas o pico de cerca de 6 anos significativo.

As ondaletas coerência e fase entre a precipitação nas seis estações do RS consideradas neste estudo e ENOS, ATSW, PS, IOA e ODP podem ser vistas no apêndice deste trabalho. Neste capítulo, serão comentadas apenas aquelas que mostraram resultados mais relevantes ou diferentes dos demais.

A Figura 4.83 mostra o espectro da ondaleta coerência e fase entre ENOS e a Precipitação em Bagé, que das estações foi aquela que apresentou a maior covariabilidade com o ENOS. Nota-se que coerência entre as séries, que estão praticamente em fase, principalmente na escala de 2 a 8 anos. Notam-se descontinuidades na escala do ENOS (4-7 anos) que correspondem, aproximadamente, às fases negativas da ODP. Ainda dentro do cone de influência, nota-se entre os anos de 1950 e 1970 uma área coerente e em fase, numa escala de 20-32 anos. As demais estações apresentam uma configuração semelhante em relação à ondaleta coerência e fase com o ENOS, porém, com menores áreas de coerência (Apêndice). A estação que apresentou menores coerências foi Passo Fundo (Figura 4.84), seguida por São Luiz Gonzaga e Santa Vitória.

Kayano e Sansigolo (2010) encontraram configuração semelhante para o índice de precipitação do RS e o Niño 3.4 (NINO3.4-Smith), porém intermediária, e não aparece coerência significativa na escala decenal.



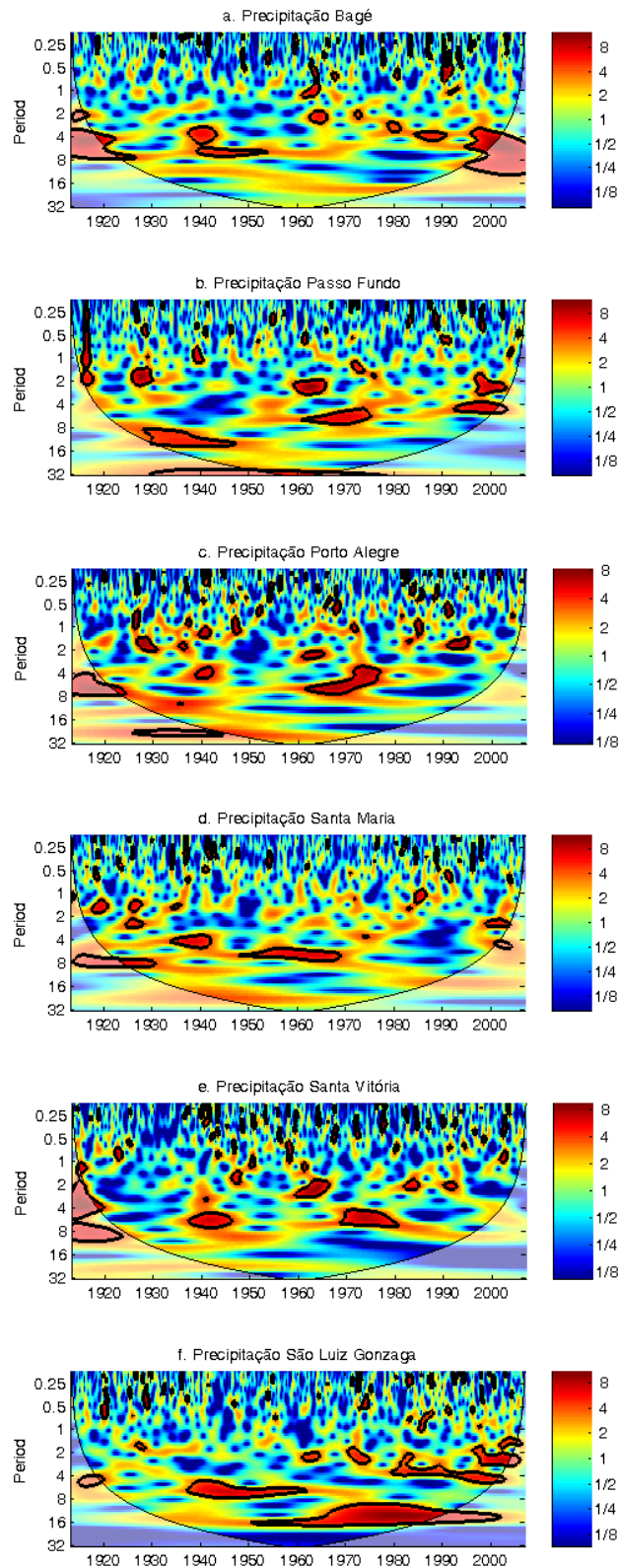


Figura 4.82 - Espectro de ondaletas das anomalias de precipitação em Bagé (a), Passo fundo (b), Porto Alegre (c), Santa Maria (d), Santa Vitória do Palmar (e) e São Luiz Gonzaga (f).

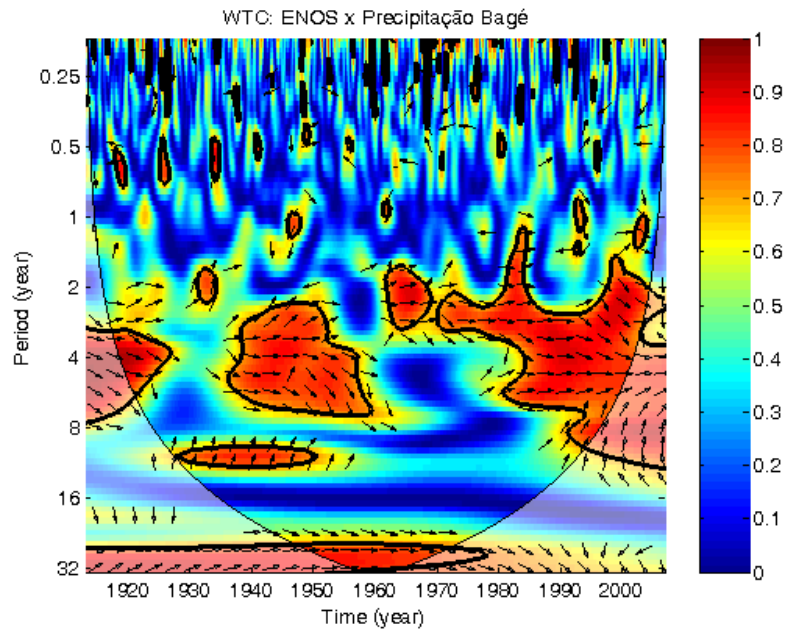


Figura 4.83 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ENOS e da Precipitação em Bagé de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Precipitação precedendo o ENOS), a 90° para baixo (ENOS precedendo a precipitação).

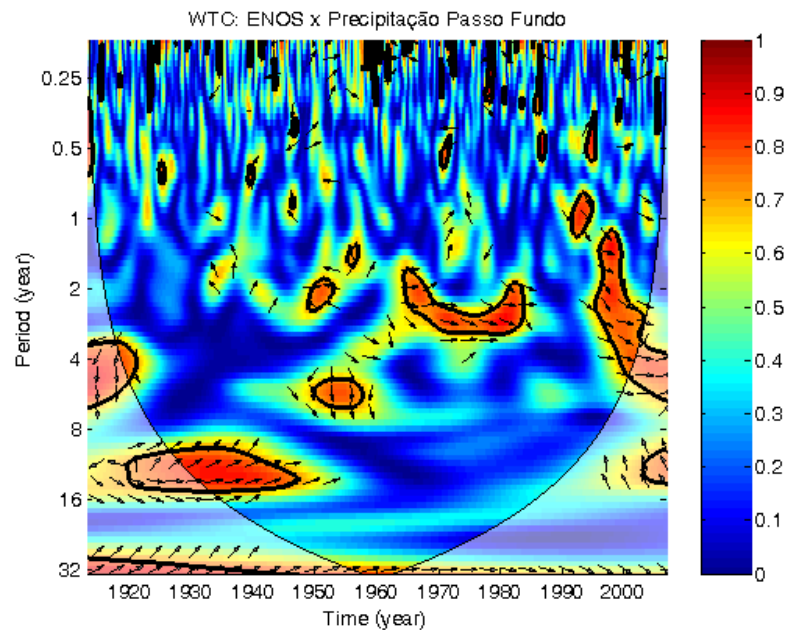


Figura 4.84 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ENOS e da Precipitação em Passo Fundo de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Precipitação precedendo o ENOS), a 90° para baixo (ENOS precedendo a precipitação).

Em relação ao ATSW, a estação de Bagé também apresentou maior coerência, numa escala de 4-8 anos e praticamente em fase (Figura 4.85). Desta vez, nota-se que os núcleos de coerência ocorrem, aproximadamente, durante as fases negativas da ODP. A estação de Santa Maria (Figura 4.86), assim como Santa Vitória e São Luiz Gonzaga (Apêndice), apresentaram as menores covariabilidades com o ATSW, mesmo assim, notam-se núcleos entre 1950 e 1970 (durante a fase negativa da ODP). Para Passo Fundo (Figura 4.87), assim como para Porto Alegre (Apêndice) nota-se que além do núcleo de coerência presente na fase negativa da ODP (1946-1977), há outro também na banda de frequência de 16-20 anos, com o ATSW precedendo a precipitação por 1/8 do período.

Kayano e Sansigolo (2010) também obtiveram as ondaletas coerência e fase para um índice único de precipitação no RS, que tem pontos em comum com as Figuras 4.85 e 4.86, mas diferente da Figura 4.87, por não apresentar coerência numa escala maior que 10 anos.

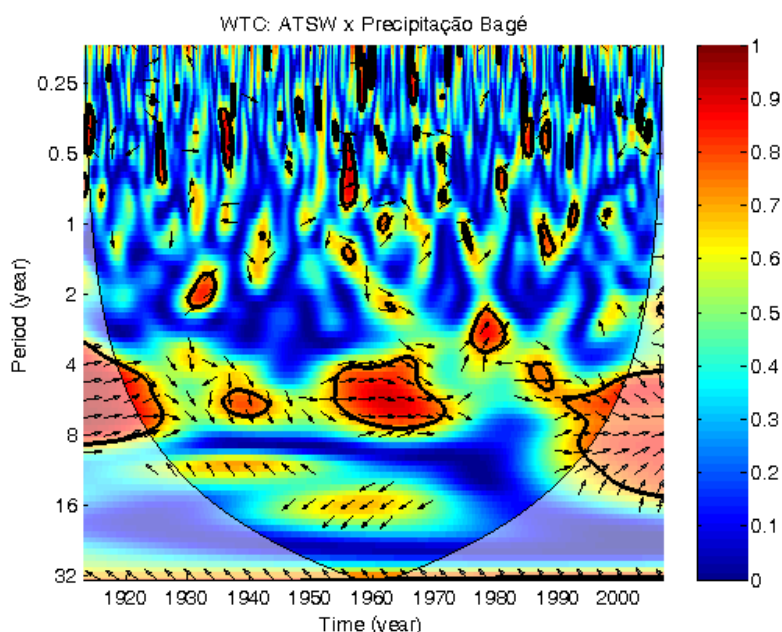


Figura 4.85 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ATSW e da Precipitação em Bagé de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Precipitação precedendo o ENOS), a 90° para baixo (ENOS precedendo a precipitação).

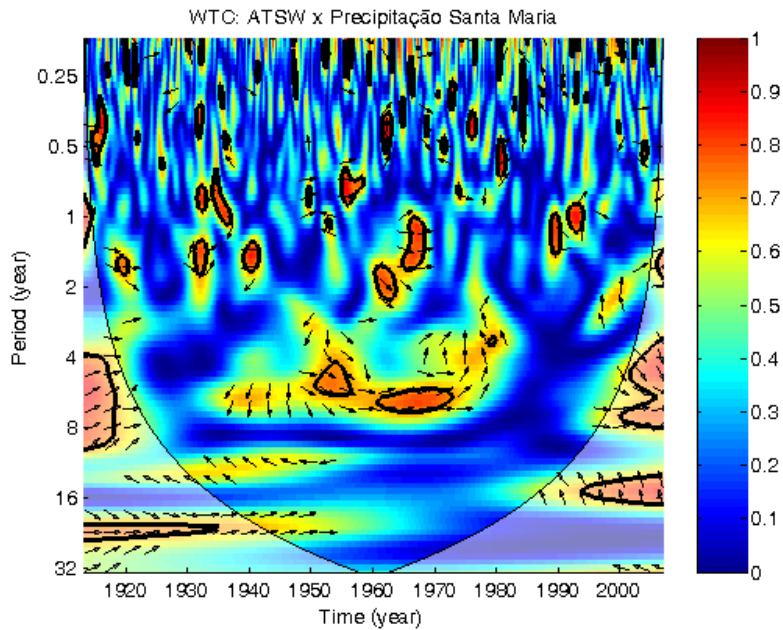


Figura 4.86 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ATSW e da Precipitação em Santa Maria de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Precipitação precedendo o ATSW), a 90° para baixo (ATSW precedendo a precipitação).

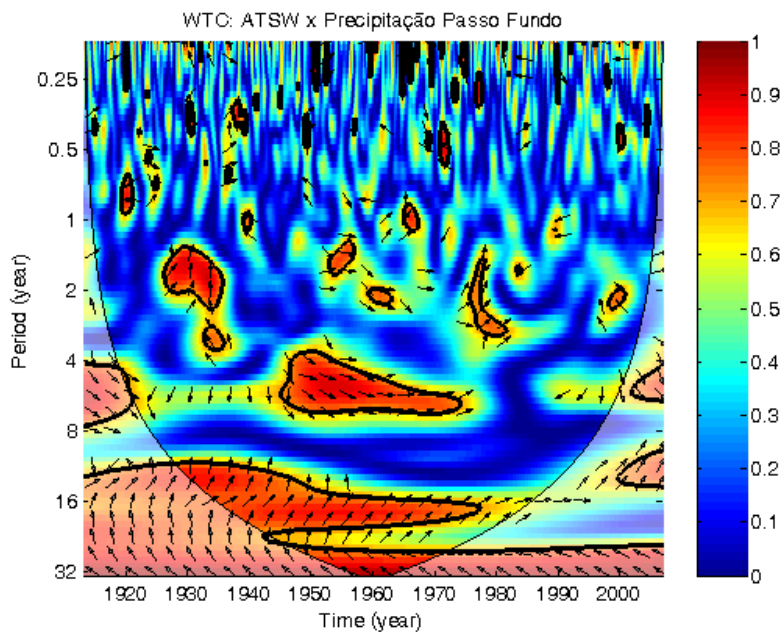


Figura 4.87 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ATSW e da Precipitação em Passo Fundo de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Precipitação precedendo o ATSW), a 90° para baixo (ATSW precedendo a precipitação).

O espectro de variabilidade da Precipitação em Bagé (Figura 4.88) também está bem coerente com o PS, apresentando núcleos significativos durante as fases positivas da ODP. A covariabilidade ocorre numa escala de 2-8 anos, e está em anti-fase, isto é, o sinal das correlações é negativo, o que é esperado de acordo com os resultados apresentados no item 4.2.1 deste trabalho. A estação de Santa Vitória (Figura 4.89) mostra uma configuração diferente, pois não há uma ligação aparente entre as fases da ODP e a covariabilidade de sua precipitação com o PS. Notam-se dois núcleos coerentes, um entre 1935 e 1955 com periodicidade de 2 a 12 anos, e outro de 1955 a 1980, de 6 a 10 anos. Ainda quanto as relações entre as variabilidades da precipitação e do PS, São Luiz Gonzaga (Figura 4.90), assim como Porto Alegre e Santa Maria (Apêndice), apresenta resultados diferentes dos acima discutidos. Vê-se núcleos em 3 escalas diferentes: um entre 1940 e 1970 numa escala de 4 a 8 anos, um entre 1970 e 2000, com variabilidade de 2 a 4 anos, e outro a partir de 1950, já numa escala decenal, de 12-20 anos. A estação de Passo Fundo mostrou pouca covariabilidade da precipitação com o PS (Apêndice).

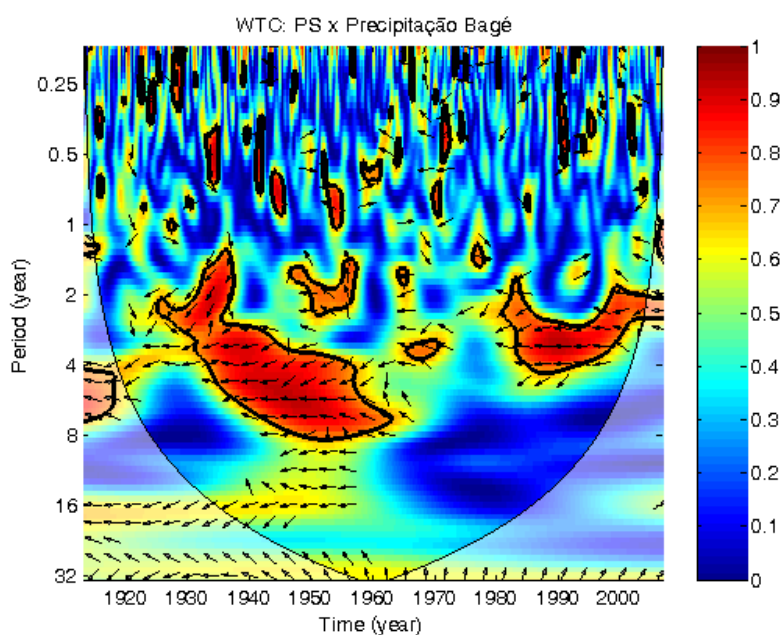


Figura 4.88 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do PS e da Precipitação em Bagé de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Precipitação precedendo o PS), a 90° para baixo (PS precedendo a precipitação).

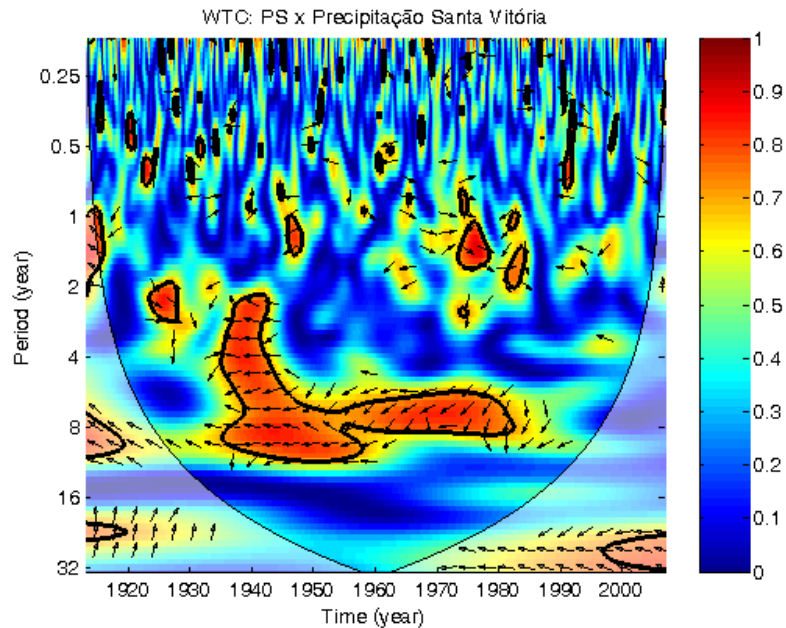


Figura 4.89 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do PS e da Precipitação em Santa Vitória de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Precipitação precedendo o PS), a 90° para baixo (PS precedendo a precipitação).

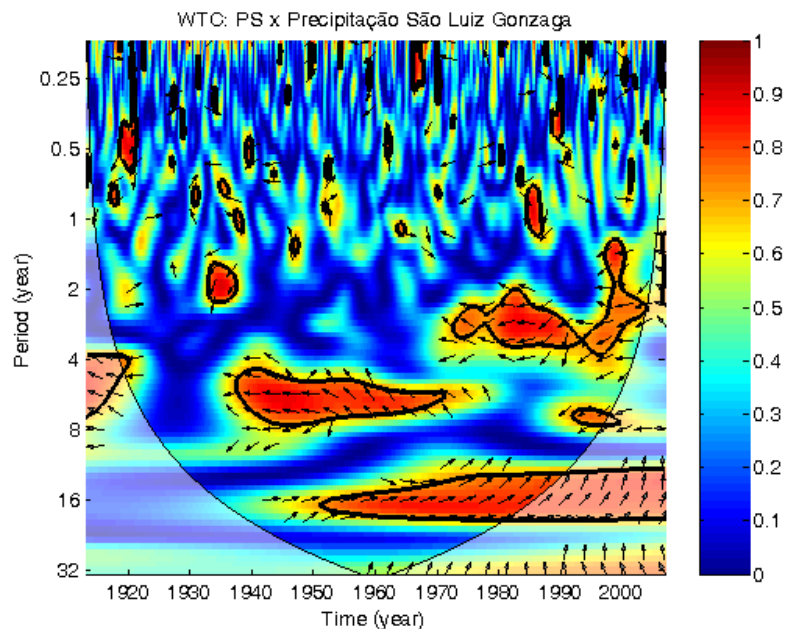


Figura 4.90 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do PS e da Precipitação em São Luiz Gonzaga de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Precipitação precedendo o PS), a 90° para baixo (PS precedendo a precipitação).

Das estações analisadas, Bagé é a que apresenta uma maior covariabilidade entre a sua precipitação e o IOA (Figura 4.91). Aproximadamente até 1980, há um núcleo coerente numa escala de 4 a 8 anos, com a precipitação precedendo o IOA por  $\frac{1}{4}$  do período. Entre 1980 e 1995, há outro núcleo, numa escala de 6 a 7 anos, onde a precipitação também precede o IOA, porém por  $\frac{1}{8}$  do período, e com sinal negativo. A mesma Figura para Santa Maria (Figura 4.92), semelhante a Porto Alegre (Apêndice), apresenta apenas um núcleo, semelhante ao primeiro discutido para Bagé (até 1980), porém por  $\frac{1}{6}$  do período e com sinal negativo. As demais estações (Apêndice) mostraram pouca coerência entre os espectros de precipitação e IOA.

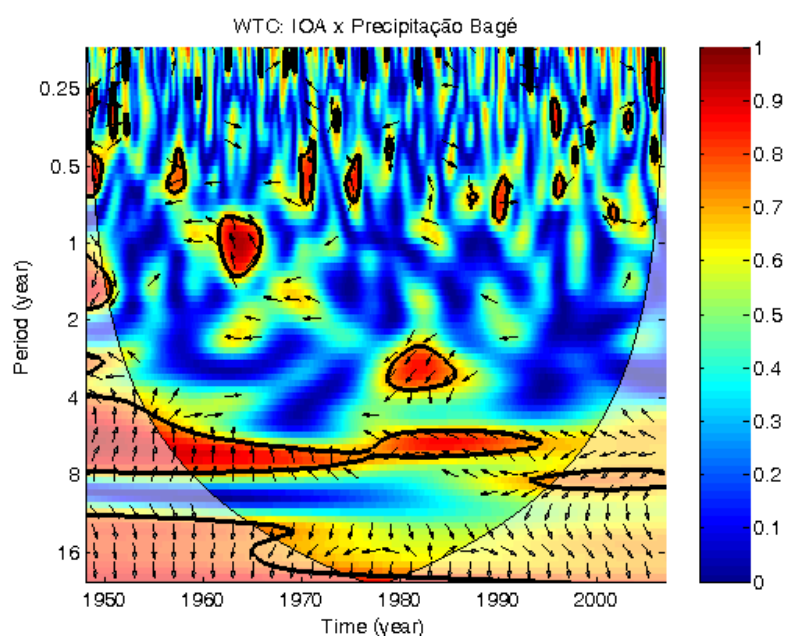


Figura 4.91 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do IOA e da Precipitação em Bagé de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a  $90^\circ$  para cima (Precipitação precedendo o IOA), a  $90^\circ$  para baixo (IOA precedendo a precipitação).

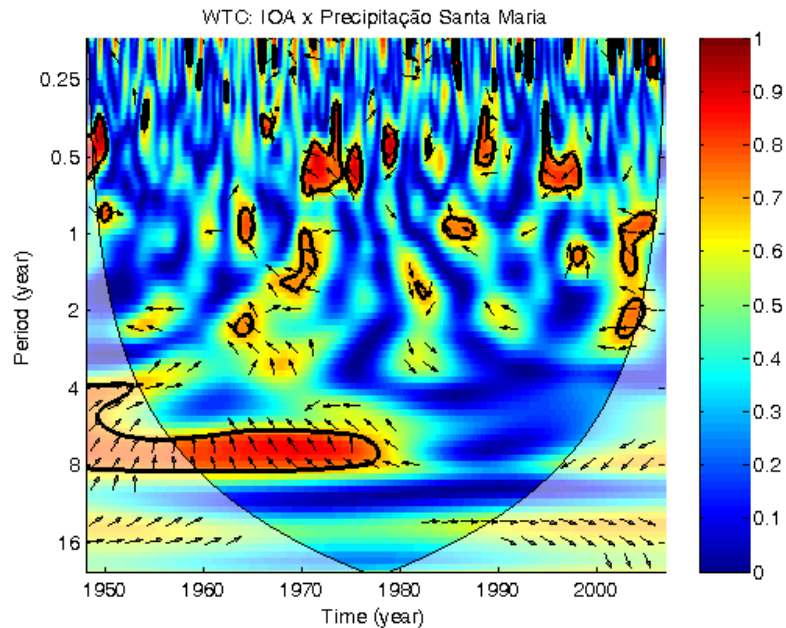


Figura 4.92 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do IOA e da Precipitação em Bagé de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (IOA precedendo a Precipitação), a 90° para baixo (Precipitação precedendo IOA).

A Precipitação em Bagé (Figura 4.93) apresenta forte coerência com ODP na escala de 4 a 8 anos, entre os anos de 1930 e 1960, e após os anos 80, isto é, em períodos de transição das fases quente para fases frias, e na escala aproximada do ENOS. Algumas estações, como Santa Vitória do Palmar (Apêndice) e Santa Maria (Figura 4.94) apresentaram, além deste núcleo entre 1930 e 1960, uma banda coerente na escala de 16 a 32 anos. As demais estações apresentam núcleos menores de coerência com periodicidade de 2 a 8 anos, na maioria dos casos.



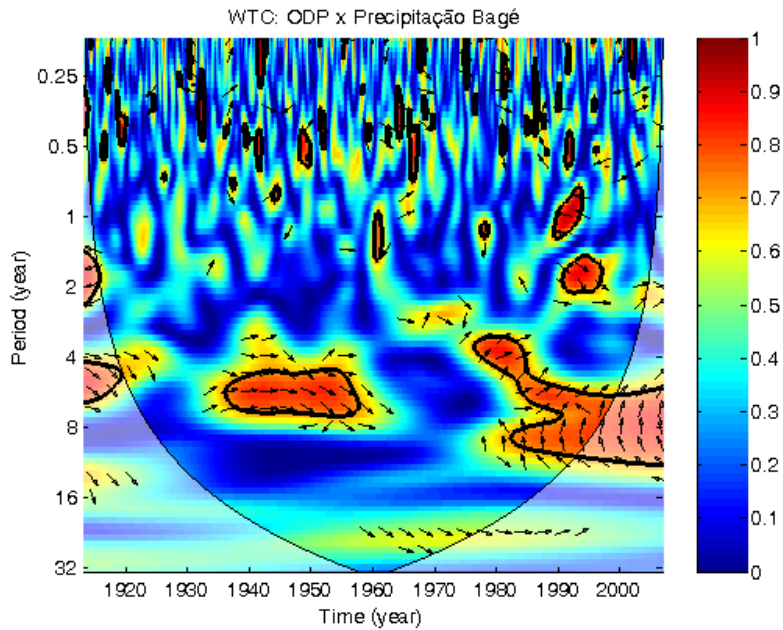


Figura 4.93 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ODP e da Precipitação em Bagé de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (ODP precedendo a Precipitação), a 90° para baixo (Precipitação precedendo ODP).

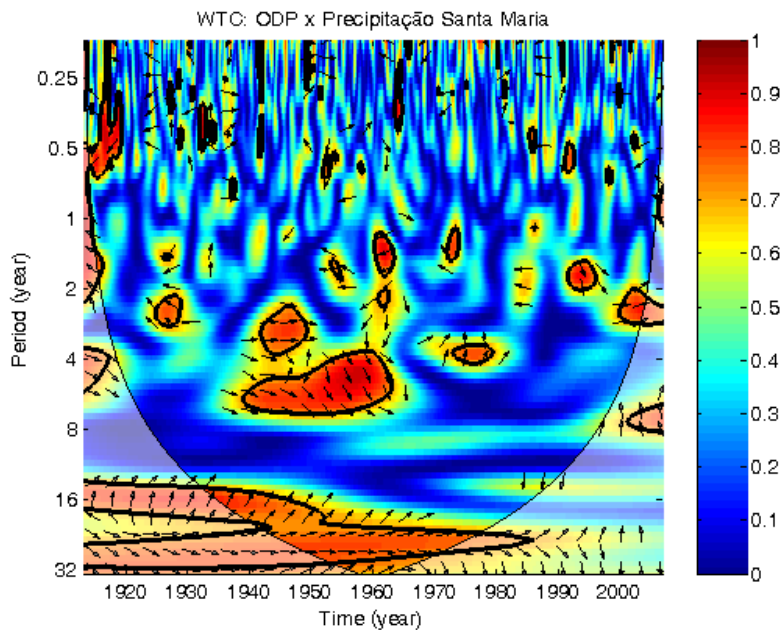


Figura 4.94 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ODP e da Precipitação em Santa Maria de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (ODP precedendo a Precipitação), a 90° para baixo (Precipitação precedendo ODP).

#### **4.2.5 Variabilidade das Temperaturas Mínimas no RS e sua relação com a variabilidade do Pacífico, Atlântico e Oscilação Antártica, usando ondaletas**

A Figura 4.95 mostra os espectros de ondaletas das temperaturas mínimas das 6 estações consideradas neste estudo. Nota-se que todas apresentam variabilidade significativa numa escala de 4-8 anos, até 1930, e outros núcleos com esta mesma variabilidade entre os anos de 1950 e 1970. Ambos os períodos correspondem às fases negativas da ODP.

Analisando as ondaletas de um índice regional de temperaturas mínimas do RS, Kayano e Sansigolo (2010) também notaram picos significativos na escala de 4-8 anos para os mesmos períodos.

No que diz respeito à relação com o ENOS, as temperaturas mínimas em Bagé (Figura 4.96) tem configuração bem semelhante a Santa Maria e Santa Vitória do Palmar. Entre 1950 e 1980, há uma região de coerência na escala de 2 a 6 anos, quase em fase. Há também outra região coerente após 1980, numa escala de 4 a 8 anos, onde a temperatura mínima “precede” por 1/8 do período. As estações localizadas ao norte do Estado como Passo Fundo (Figura 4.97) e São Luiz Gonzaga (Apêndice) mostram essas mesmas regiões mais enfraquecidas, mas também nota-se outra banda significativa, numa frequência mais baixa (12 a 16 anos), a partir de 1965. A estação de Porto Alegre (Apêndice) apresentou uma configuração semelhante e intermediária às comentadas acima.

Kayano e Sansigolo (2010) também encontraram coerência nas escalas de 12-16 anos para o índice de temperatura mínima do RS, porém uma região menor do que na Figura 4.97, além disso, os núcleos na escala de 4-8 anos da Figura 4.96 não estão bem definidos. Neste caso, foi utilizado o índice NINO3.4-Smith.

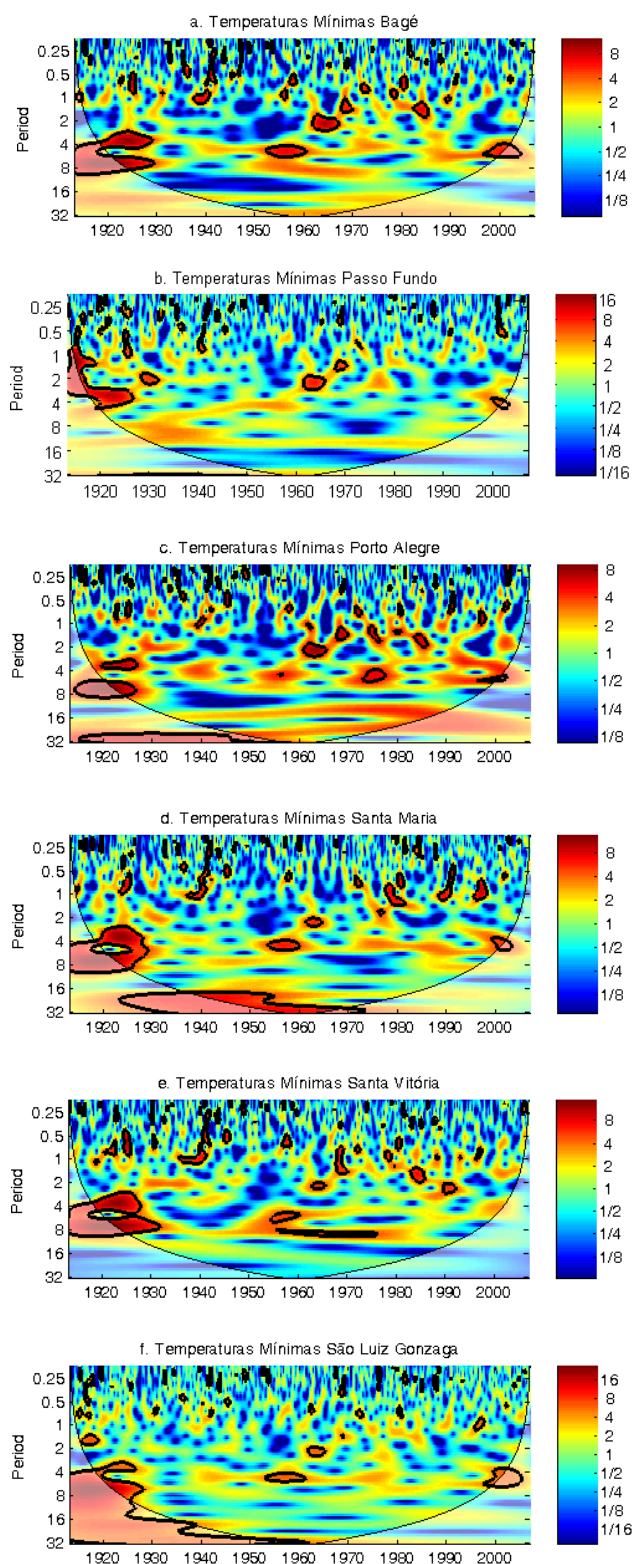


Figura 4.95 - Espectro de ondaletas das anomalias de temperaturas mínimas em Bagé (a), Passo fundo (b), Porto Alegre (c), Santa Maria (d), Santa Vitória do Palmar (e) e São Luiz Gonzaga (f).

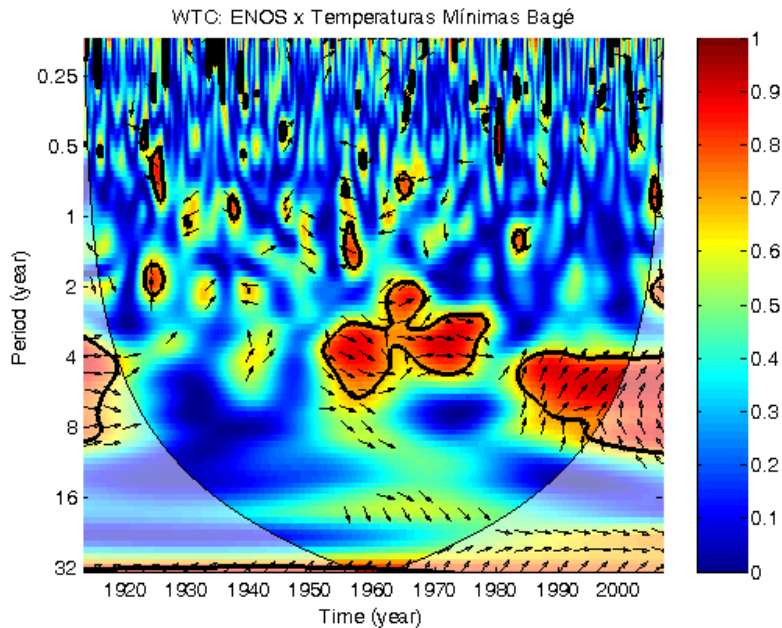


Figura 4.96 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ENOS e das Temperaturas Mínimas em Bagé de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Temperatura Mínima precedendo o ENOS), a 90° para baixo (ENOS precedendo a Temperatura Mínima).

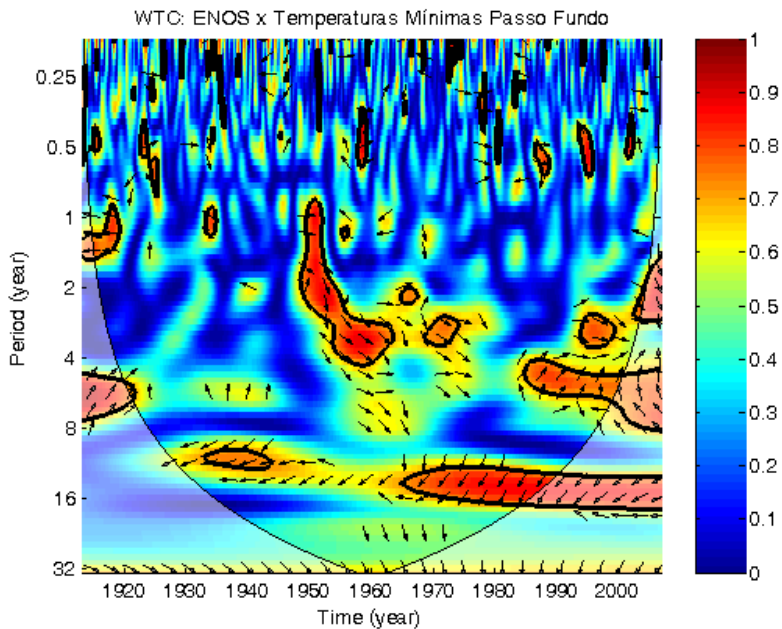


Figura 4.97 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ENOS e das Temperaturas Mínimas em Passo Fundo de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Temperatura Mínima precedendo o ENOS), a 90° para baixo (ENOS precedendo a Temperatura Mínima).

A Figura 4.98 mostra que há forte coerência entre ATSW e temperaturas mínimas em Bagé, até 1960, numa escala de 2 a 10 anos, com o ATSW precedendo por 1/8 do período. De 1960 a 1990 há um núcleo coerente, nas frequências de 1 a 4 anos, e após 1990, surge outro núcleo de 4-8 anos. Para Porto Alegre (Figura 4.99) observa-se configuração semelhante, porém a primeira região de forte coerência divide-se em duas, e as duas outras regiões citadas, unem-se numa só. As demais regiões (apêndice) apresentam regiões de coerência semelhantes a estas duas.

Devido às diferenças entre as estações, Kayano e Sansigolo (2010) não encontraram zonas de coerência tão expressivas ao avaliarem as relações entre as TSM do ATSW com as temperaturas mínimas do RS.

A Figura 4.100 indica coerência entre PS e temperaturas mínimas em Porto Alegre, entre 1935 e 1960, na escala do ENOS (3-7 anos), quase simultaneamente, porém com fase invertida. Mas a maioria das estações (apêndice) apresentou o comportamento semelhante a Bagé (Figura 4.101), com pequenos núcleos também entre 2 e 8 anos.

As relações entre os espectros de Temperaturas Mínimas no RS e o IOA são fracas. As estações que apresentam maiores coerências são Passo Fundo (Figura 4.102) e Santa Vitória (Figura 4.103). A primeira apresenta uma região de coerência até de 1960, com periodicidade de 3-5 anos, e outra após 1990, de 4 a 8 anos. Entre 1970 e 1980 há uma pequena região coerente. Já Santa Vitória esta região é maior e mais significativa, sendo menor aquela depois de 1990. As demais regiões (Apêndice) apresentam configurações intermediárias a estas, e menos intensas.

Há covariabilidade entre ODP e Temperaturas mínimas em Bagé entre 1950 e 1970 (Figura 4.104), na escala de 8 a 12 anos, entre 1970 e 1980, de 3 a 6 anos, e após 1980, de 4 a 8 anos. A configuração mais diferente é a de Porto Alegre (Figura 4.105). Esta apresenta um núcleo coerente entre 1945 e 1985 numa escala de 12 a 16 anos, e após 1990, de 4 a 8 anos. As demais estações (Apêndice) têm configurações intermediárias e semelhantes a estas.

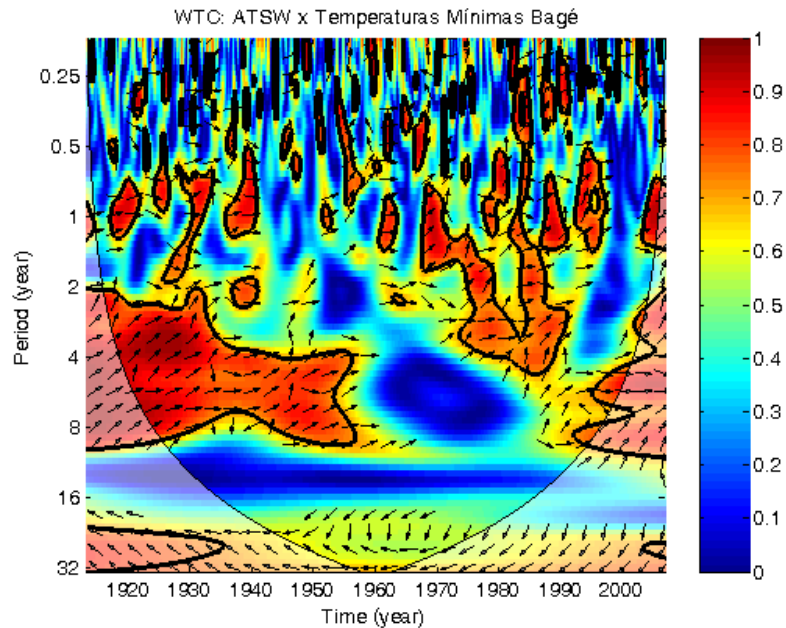


Figura 4.98 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ATSW e das Temperaturas Mínimas em Bagé de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Temperatura Mínima precedendo o ATSW), a 90° para baixo (ATSW precedendo a Temperatura Mínima).

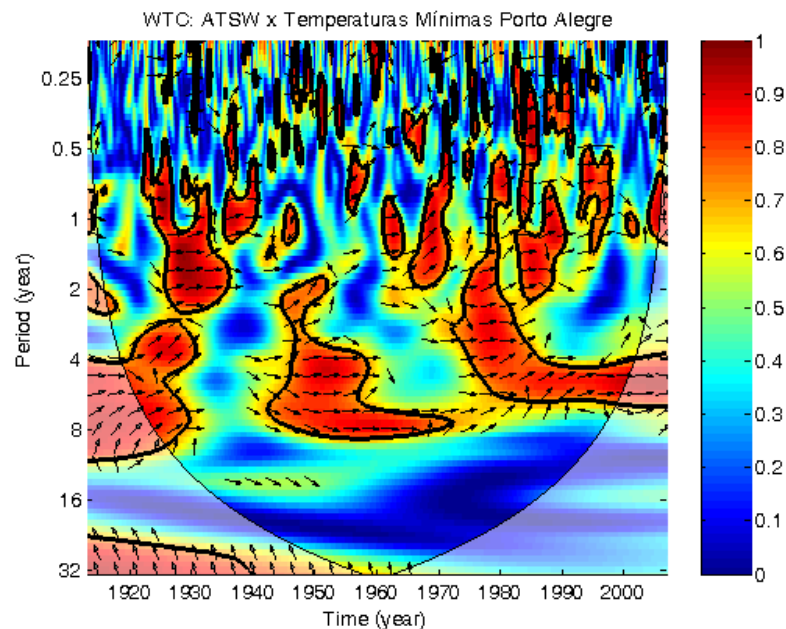


Figura 4.99 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ATSW e das Temperaturas Mínimas em Porto Alegre de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Temperatura Mínima precedendo o ATSW), a 90° para baixo (ATSW precedendo a Temperatura Mínima).

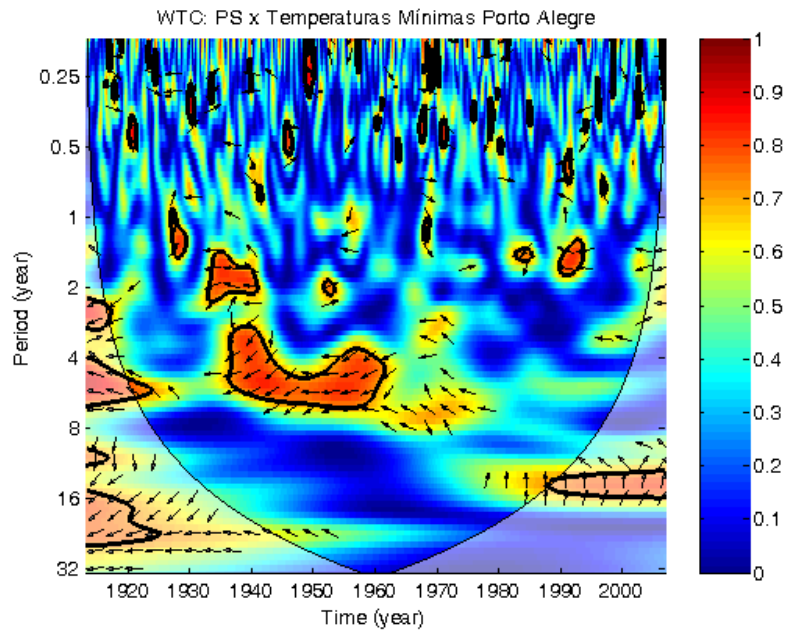


Figura 4.100 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do PS e das Temperaturas Mínimas em Porto Alegre de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Temperatura Mínima precedendo o PS), a 90° para baixo (PS precedendo a Temperatura Mínima).

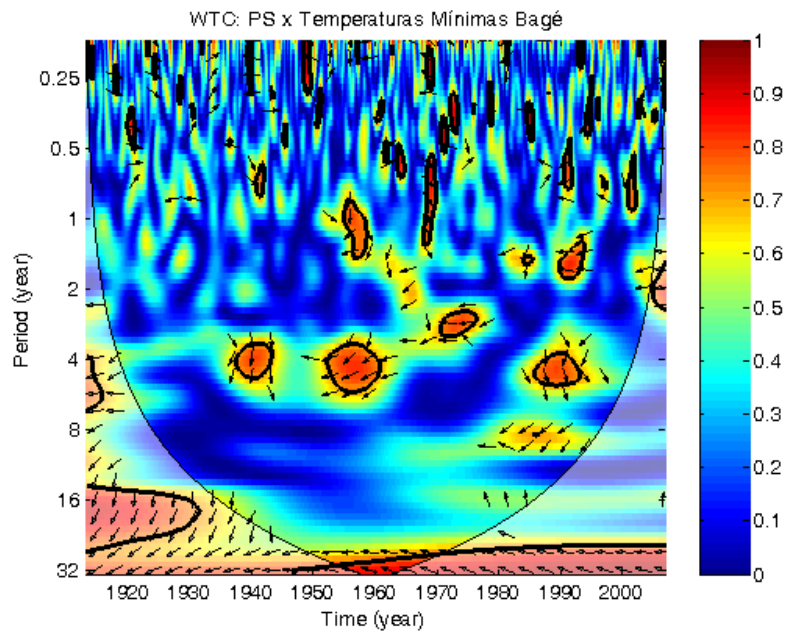


Figura 4.101 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do PS e das Temperaturas Mínimas em Bagé de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Temperatura Mínima precedendo o PS), a 90° para baixo (PS precedendo a Temperatura Mínima).

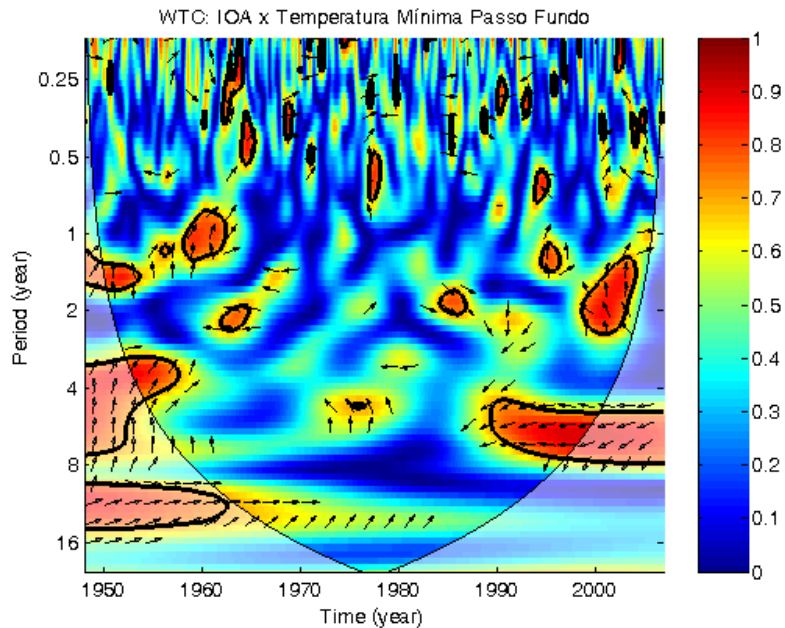


Figura 4.102 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do IOA e das Temperaturas Mínimas em Passo Fundo de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Temperatura Mínima precedendo o IOA), a 90° para baixo (IOA precedendo a Temperatura Mínima).

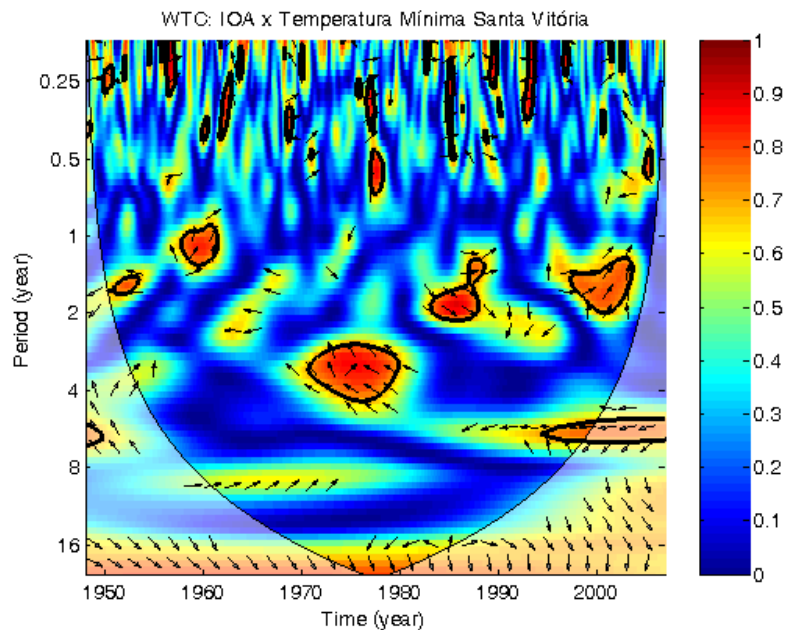


Figura 4.103 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do IOA e das Temperaturas Mínimas em Santa Vitória de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Temperatura Mínima precedendo o IOA), a 90° para baixo (IOA precedendo a Temperatura Mínima).



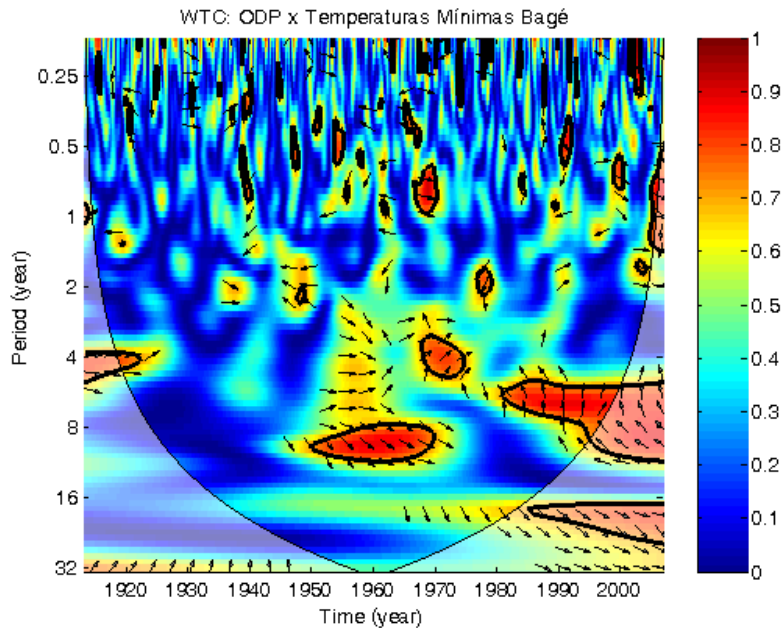


Figura 4.104 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas da ODP e das Temperaturas Mínimas em Bagé de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Temperatura Mínima precedendo o ODP), a 90° para baixo (ODP precedendo a Temperatura Mínima).

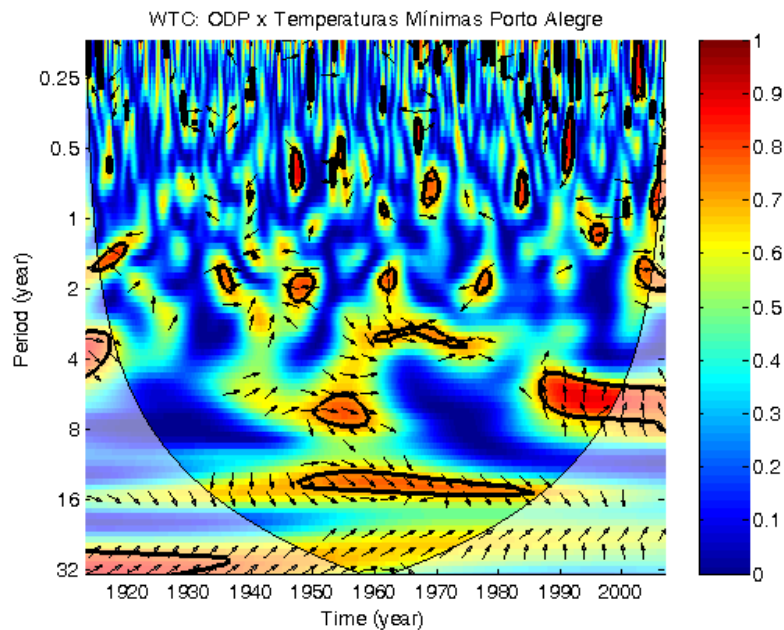


Figura 4.105 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas da ODP e das Temperaturas Mínimas em Porto Alegre de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Temperatura Mínima precedendo o ODP), a 90° para baixo (ODP precedendo a Temperatura Mínima).

#### **4.2.6 Variabilidade das Temperaturas Máximas no RS e sua relação com a variabilidade do Pacífico, Atlântico e Oscilação Antártica, usando ondaletas**

A Figura 4.106 mostra os espectros de ondaletas das temperaturas máximas das 6 estações consideradas neste estudo. A maioria das estações apresenta variabilidade significativa numa escala de 8-16 anos, e algumas também numa escala de 4-8 anos.

Por isso, ao observar a variabilidade do índice regional das temperaturas máximas do RS, Kayano e Sansigolo (2010) notaram apenas significância na escala de 8,5 anos.

Quanto à relação entre o ENOS e as temperaturas máximas em Bagé (Figura 4.107), há uma região de coerência na escala de 10 a 16 anos, entre 1930 e 1960, com o ENOS precedendo por  $\frac{1}{4}$  do período. Há também outra região coerente após entre 1940 e 1970, numa escala de cerca de 20 anos, onde o ENOS precede por  $\frac{1}{8}$  do período. Santa Vitória do Palmar (Figura 4.108), assim como Porto Alegre (Apêndice) mostraram relação com ENOS, numa frequência mais baixa (16 a 32 anos), com o ENOS precedendo por cerca de  $\frac{1}{4}$  do período. As demais estações não mostraram núcleos de coerência persistente.

Para o índice regional do RS, Kayano e Sansigolo (2010) encontraram configuração mais semelhante com a Figura 4.107, porém com núcleos mais fracos na baixa e mais fortes na alta frequência.

As temperaturas máximas de Santa Maria (Figura 4.109) se mostraram mais bem relacionadas com o ATSW no estado. Os núcleos de coerência aparecem antes de 1950, com as temperaturas precedendo as anomalias de TSM por  $\frac{1}{4}$  do período, numa escala de 4 – 8 anos, e após meados dos anos 1980.

As relações entre PS e temperaturas máximas apresentam maior coerência para as estações de Santa Vitória (Figura 4.110) e Bagé (Apêndice). As regiões de coerência ocorrem numa escala de 2 – 8 anos, com o PS precedendo por  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{8}$  do período.

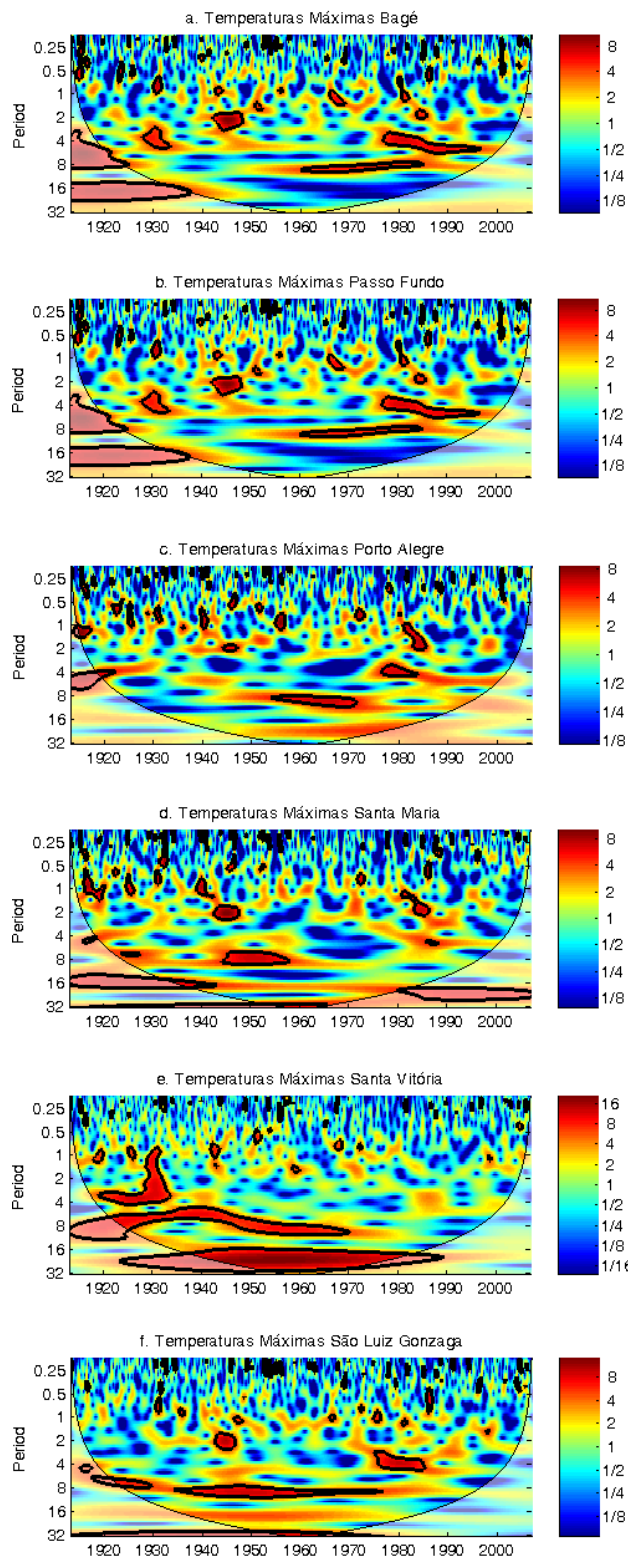


Figura 4.106 - Espectro de ondaletas das anomalias de temperaturas máximas em Bagé (a), Passo fundo (b), Porto Alegre (c), Santa Maria (d), Santa Vitória do Palmar (e) e São Luiz Gonzaga (f).

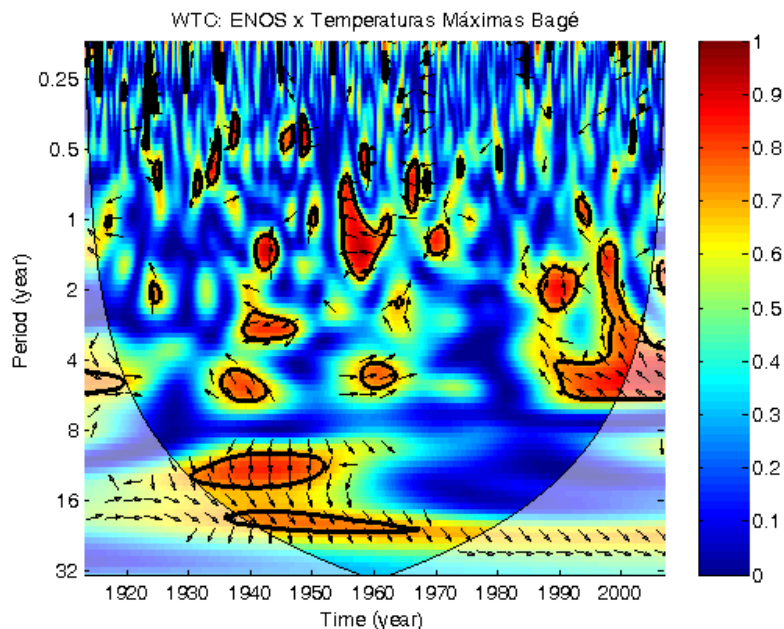


Figura 4.107 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas da ENOS e das Temperaturas Máximas em Bagé de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Temperatura Máxima precedendo o ENOS), a 90° para baixo (ENOS precedendo a Temperatura Máxima).

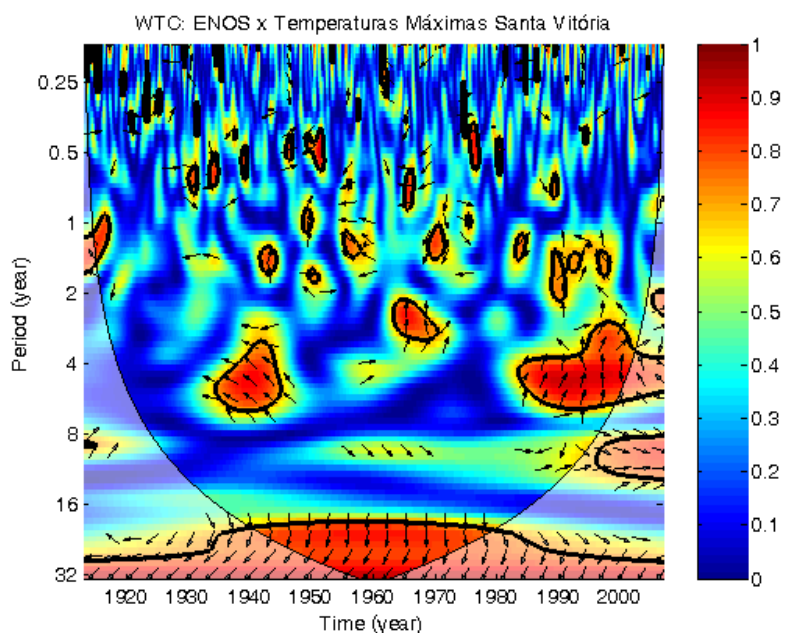


Figura 4.108 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas da ENOS e das Temperaturas Máximas em Santa Vitória de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os

vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Temperatura Máxima precedendo o ENOS), a 90° para baixo (ENOS precedendo a Temperatura Máxima).

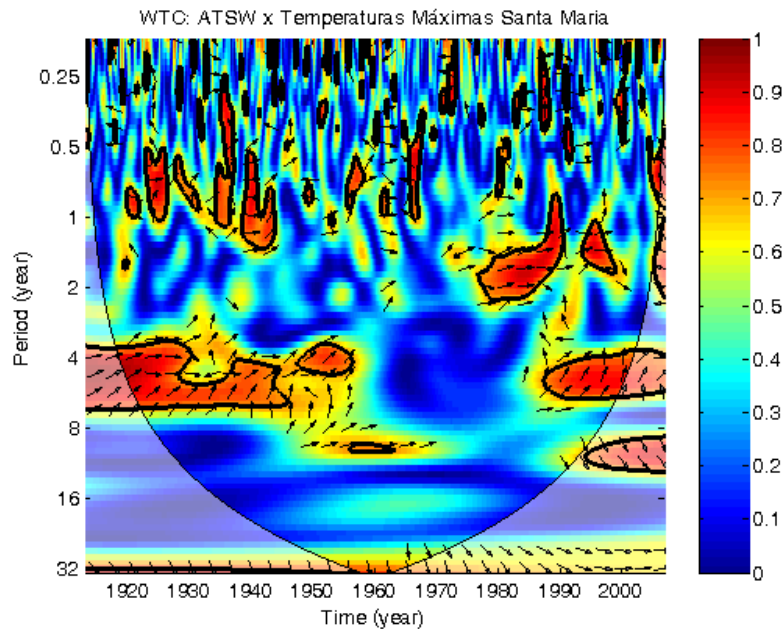


Figura 4.109 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do ATSW e das Temperaturas Máximas em Santa Maria de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (ATSW precedendo a Temperatura Máxima), a 90° para baixo (Temperatura Máxima precedendo ATSW).

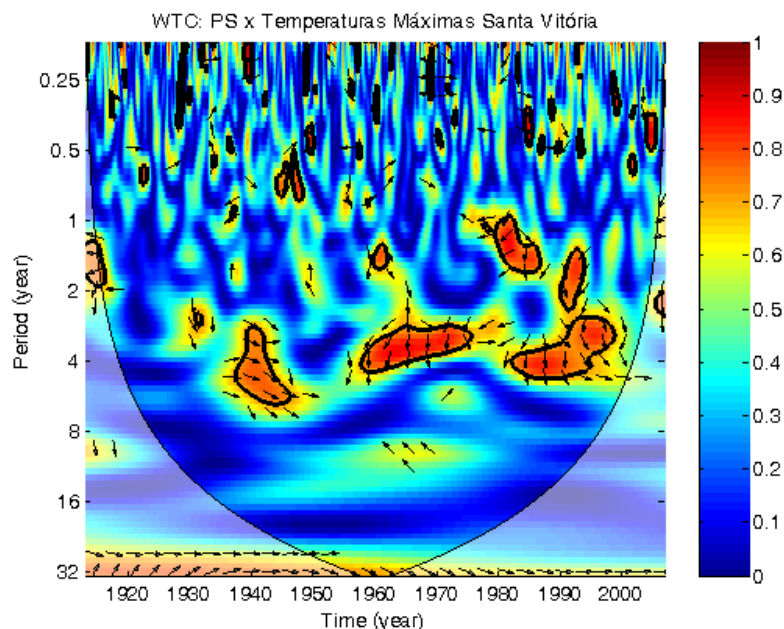


Figura 4.110 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do PS e das Temperaturas Máximas em Santa Vitória de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os

vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (PS precedendo a Temperatura Máxima), a 90° para baixo (Temperatura Máxima precedendo PS).

A maioria das estações teve o mesmo comportamento de Passo Fundo (Figura 4.111), na relação das temperaturas máximas com o IOA, notando-se coerência entre 3 e 8 anos, especialmente após meados dos anos 1980, onde há um núcleo em que o IOA precede por  $\frac{1}{4}$  do período, com fase invertida (coerência negativa).

Já em relação à ODP, observa-se na Figura 4.111 que as temperaturas máximas de Porto Alegre (assim como Bagé e Santa Vitória, em Apêndice) apresenta coerência na baixa frequência, numa escala de 20 a 30 anos, com a ODP precedendo por  $\frac{1}{4}$  do período. Um outro núcleo entre 8-14 anos foi observado entre 1960 e 1970, para essas mesmas estações, e também para Passo Fundo (Apêndice). Na alta frequência, entre 1930 e 1940, observa-se um pequeno núcleo coerente, que se repete na maioria nas estações, mas nem sempre para este mesmo período.

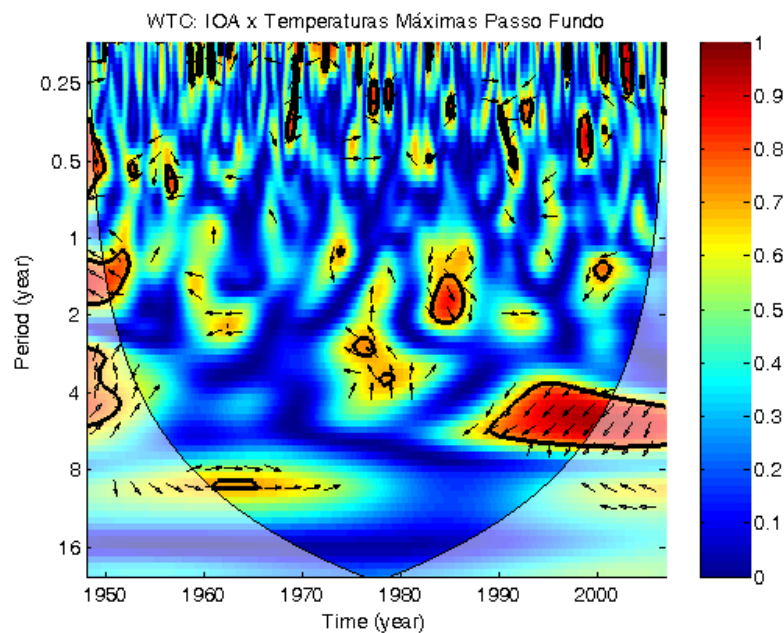


Figura 4.111 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do IOA e das Temperaturas Máximas em Passo Fundo de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (IOA precedendo a Temperatura Máxima), a 90° para baixo (Temperatura Máxima precedendo IOA).

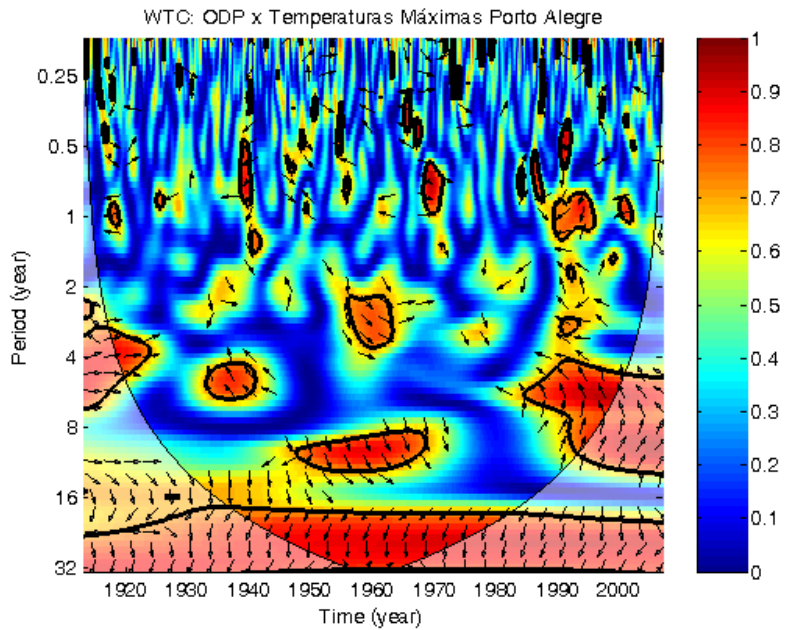


Figura 4.112 - Ondaleta coerência e fase entre as séries temporais normalizadas do IOA e das Temperaturas Máximas em Porto Alegre de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a  $90^\circ$  para cima (ODP precedendo a Temperatura Máxima), a  $90^\circ$  para baixo (Temperatura Máxima precedendo ODP).

### 4.3 Parte 3 – Estudo de Casos

#### 4.3.1 1º Caso: Precipitação abaixo das normais

O primeiro caso a ser analisado ocorreu entre março de 1955 a novembro de 1956, e corresponde à um período de precipitações abaixo das normais no RS. Este caso foi encontrado durante a fase negativa da ODP de 1947 a 1976, a fase na qual as relações são mais fortes (vide Tabela 4.13). No outono de 1955 se inicia o evento de La Niña associada com uma anomalia positiva no PS, que estão relacionados com precipitações abaixo das normais na primavera, sendo que este sinal persiste por todo este período (Tabela 4.16). No verão, não existem relações significativas entre as precipitações abaixo das normais no RS e o ENOS, PS, OA ou ATSW. Já no outono de 1956, há um impacto simultâneo do ATSW, e o IOA fica positivo, influenciando nas precipitações no inverno; também aparecem os sinais de La Niña e de aquecimento do PS, que impactarão apenas na primavera. Assim, no inverno notam-se as precipitações abaixo das normais devido à OA, que persiste na primavera somada aos efeitos do ENOS e do PS.

Tabela 4.16 - Anomalias normalizadas de cada índice estudado e da precipitação média no RS.

ANO	ENOS				ATSW				Precipitação			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
1955		-0,68	-1,27	-1,96		-0,61	-1,00	-0,94		0,14	-0,12	-0,57
1956	-2,02	-0,62	-0,62	-0,97	-0,30	-0,65	-1,06	-0,92	0,64	-0,38	-0,39	-0,50
ANO	IOA				PS				Precipitação			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
1955		0,45	-0,34	-0,51		0,34	0,71	0,62		0,14	-0,12	-0,57
1956	-0,10	0,14	0,12	-0,30	-0,05	0,24	1,45	1,36	0,64	-0,38	-0,39	-0,50

\* Valores em vermelho estão acima e azuis estão abaixo das normais.

A Figura 4.113 mostra a evolução do campo de anomalias de pressão no decorrer do evento. Notam-se, de abril até junho de 1955, anomalias negativas de pressão ao Sul da região do PS. A partir de maio, identifica-se uma anomalia positiva de pressão na região Antártica (IOA +), que no mês seguinte já aparece deslocada para norte, sobre o Pacífico, e mês a mês, desloca-se em direção ao continente até outubro, até se



enfraquecer em novembro. De abril a julho de 1955, observa-se uma anomalia negativa nas pressões sobre o ATSW, mas a partir deste mês começa a surgir uma anomalia positiva a sudeste da região e em agosto essa anomalia já está mais próxima ao continente. Em julho e agosto a mesma anomalia, juntamente com a anomalia positiva vinda da Antártica, cria uma “barreira” às frentes que incursionariam ao Estado, justificando a anomalia negativa de precipitação em JJA. Em setembro, o que predomina é a anomalia de alta pressão entre a Antártica e o continente americano, e ela desloca-se para norte em outubro, alcançando o continente. Em novembro ela enfraquece, mas então nota-se uma anomalia de alta pressão sobre o RS, o que explica as anomalias negativas de precipitação no Estado em SON. Como já mencionado, em DJF não há relações importantes para a ocorrência de anomalias negativa de precipitação no RS, e nota-se que não ocorrem variações importantes neste período, porém mantêm-se as anomalias positivas de pressão sobre a Antártica e uma região de baixa pressão a Sul do PS. Nos meses de março, abril, maio, nota-se anomalias positivas de pressão no RS associadas com as anomalias negativas de precipitação. Segundo os resultados do item anterior deste trabalho (vide Tabela 4.13) e da Tabela 4.16, essas anomalias são devidas apenas às anomalias de TSM no ATSW. De maneira coerente, neste período nota-se anomalia positiva de pressão sobre o ATSW, provavelmente associada a um trem de ondas no Pacífico entre 40°S e 60°S. Mas em maio surge uma configuração diferente, com um dipolo de anomalias de pressão no Pacífico, também presente em junho, e enfraquecido em julho. Nesta época, começam a surgir os sinais do IOA, que influenciará no sinal da anomalia de pressão no RS em junho, julho e agosto e do ENOS e PS, que impactarão na primavera, como visto no sinal positivo das anomalias de pressão no RS, em outubro e novembro de 1956.

O campo de anomalias de vento em altos níveis (Figura 4.114) mostra anomalias na região climatológica do jato subtropical (JST), que de abril a junho se mostra mais a norte e meridional em relação a sua posição média. Em julho, ele aparece ainda mais a norte (sobre o estado de SP) e em agosto há uma anomalia intensa dos ventos na região dos jatos, indicando que ele está mais forte, zonal e mais a norte de sua posição média de inverno. Porém, neste mês também nota-se enfraquecimento do jato polar (JP). Essas

condições, de abril a agosto, dificultariam a incursão de frentes frias no RS, diminuindo a possibilidade de chuvas na região. Essas condições continuam e em setembro, as anomalias mais fortes estão sobre SC, em outubro, as anomalias mais intensas mostram deslocamento do jato a nordeste e em novembro, apesar do JP fortalecido, o JST está mais meridional, indicando que as frentes tendem a avançar mais no país. Novamente, em abril de 1956 vê-se o JST deslocado para norte (SP), situação que se intensifica em maio. Em junho e agosto, o JST fica mais meridional. Em setembro o jato torna-se mais meridional na direção sudeste, e em novembro, fica mais a nordeste. Essas situações, novamente, são coerentes com a diminuição de frentes no Estado, seja porque a posição do JST não facilita sua incursão na região ou mesmo porque as direciona para o Atlântico. Importante lembrar que o ENOS pode modificar a posição média do jato.

Em relação aos ventos em baixos níveis e as anomalias de umidade (Figura 4.115) nota-se em abril, quando existem anomalias positivas de umidade na região do Chaco, que não há um fluxo de umidade direcionado para o RS, e em maio e junho, quando ele está direcionado, há anomalias negativas de umidade nesta região. Em julho notam-se intensas anomalias negativas de umidade no RS. Essa situação se mantém em todo o período, e ora é ditada pelo afastamento da Alta do Atlântico, ora pela aproximação da Alta do Pacífico.

No campo de anomalias da componente vertical do vento  $\omega$  (Figura 4.116), nota-se movimento descendente anômalo, coerentes com as chuvas abaixo das normais no período, principalmente em outubro e novembro de 1955, quando nota-se, também, fortes anomalias negativas de precipitação, predomínio de alta pressão, jatos permitindo maior avanço e menor permanência das frentes e anomalia negativa de umidade no RS. O mesmo ocorre em MAM e JJA de 1956, períodos que se destacam pela presença de alta pressão anômala no Estado, mas, principalmente, pela escassa umidade. Assim, há vários fatores que reduzem a possibilidade de ocorrência de chuvas no RS entre março de 1955 a novembro de 1956.

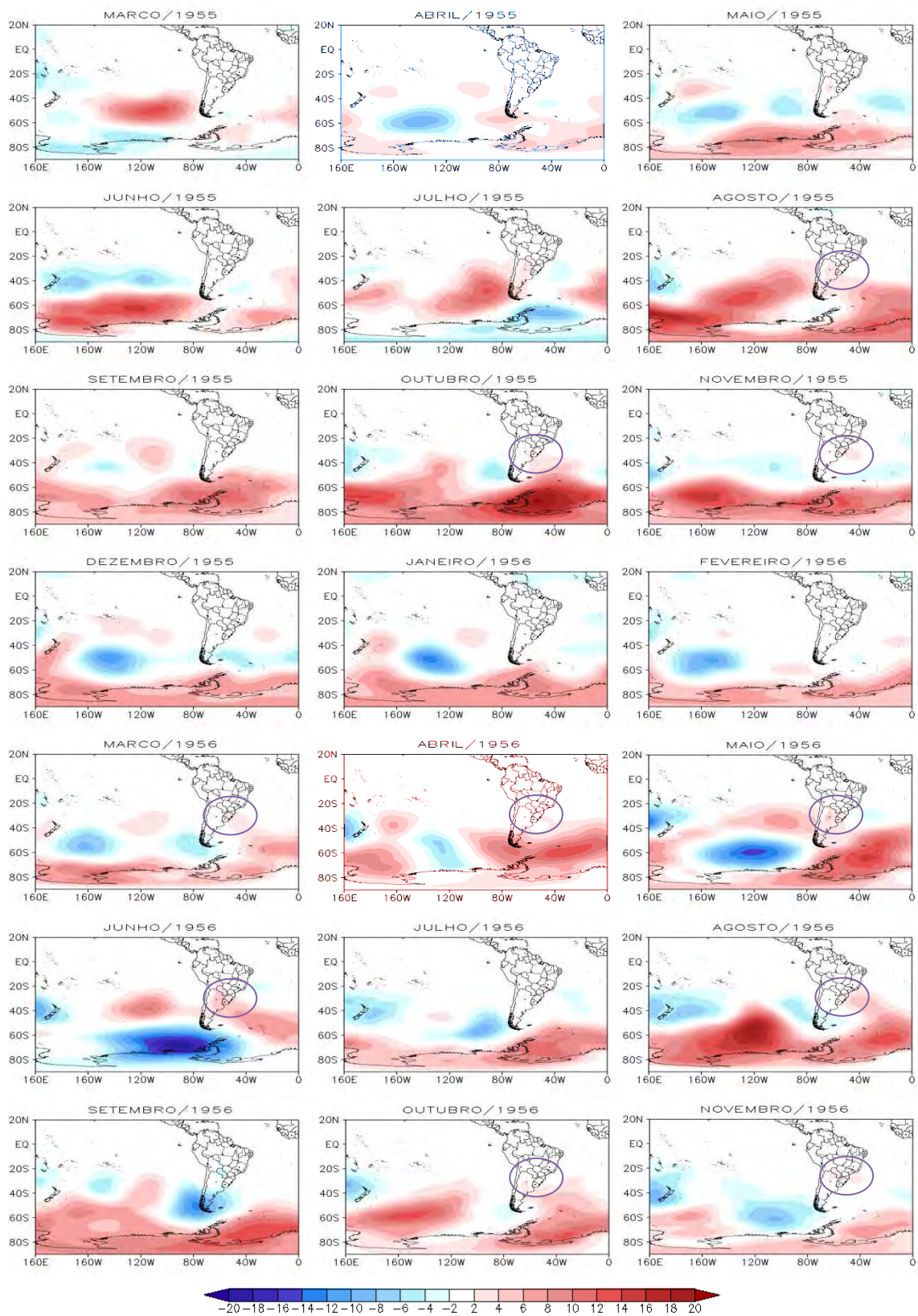


Figura 4.113 - Campos de anomalias mensais de pressão (hPa) de março de 1955 a novembro de 1956, período com precipitação abaixo das normais no RS.

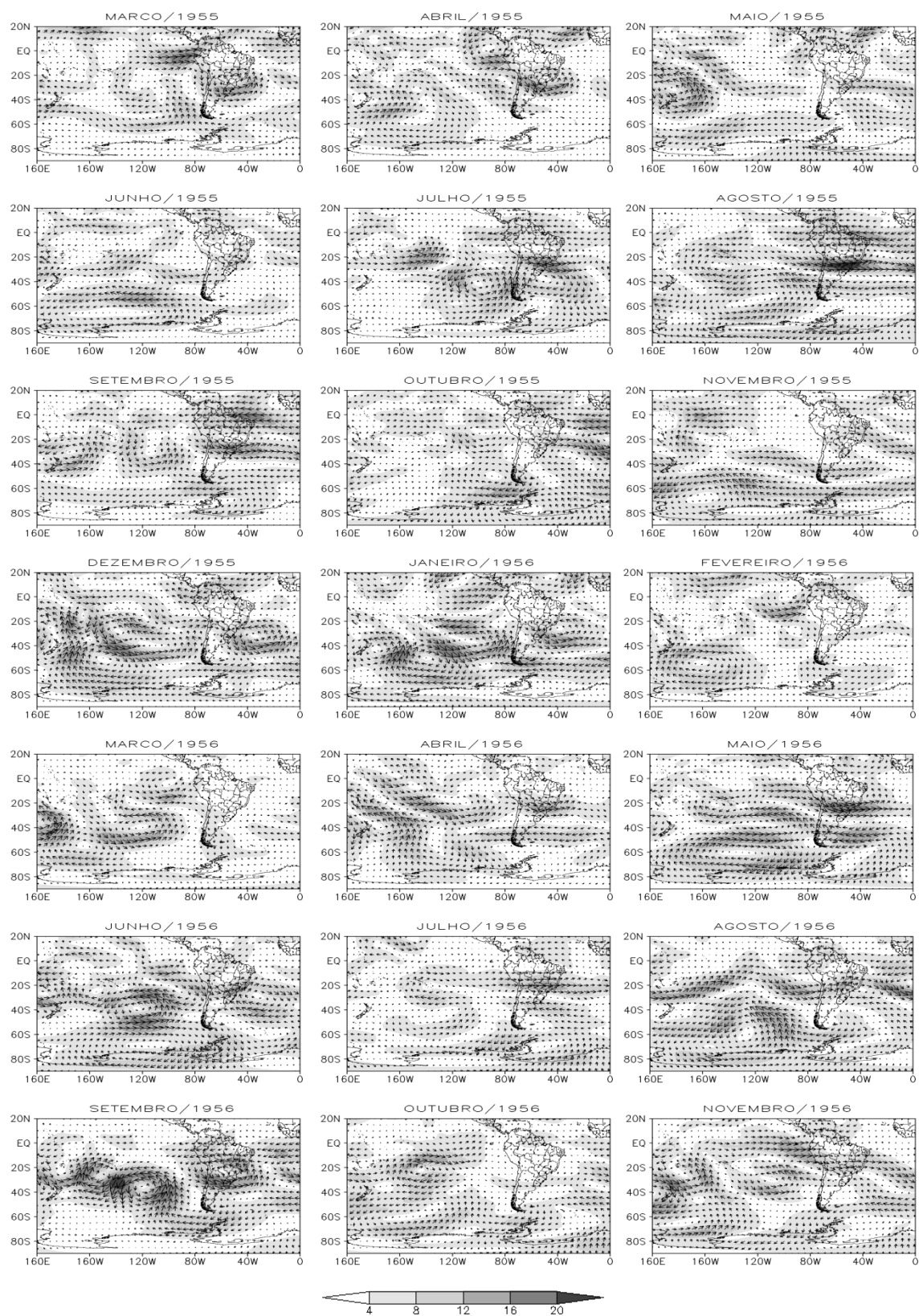


Figura 4.114 - Campos mensais de anomalias (hachurado) e da magnitude do vento (m/s) em 200hPa, de março de 1955 a novembro de 1956, período com precipitação abaixo das normais.

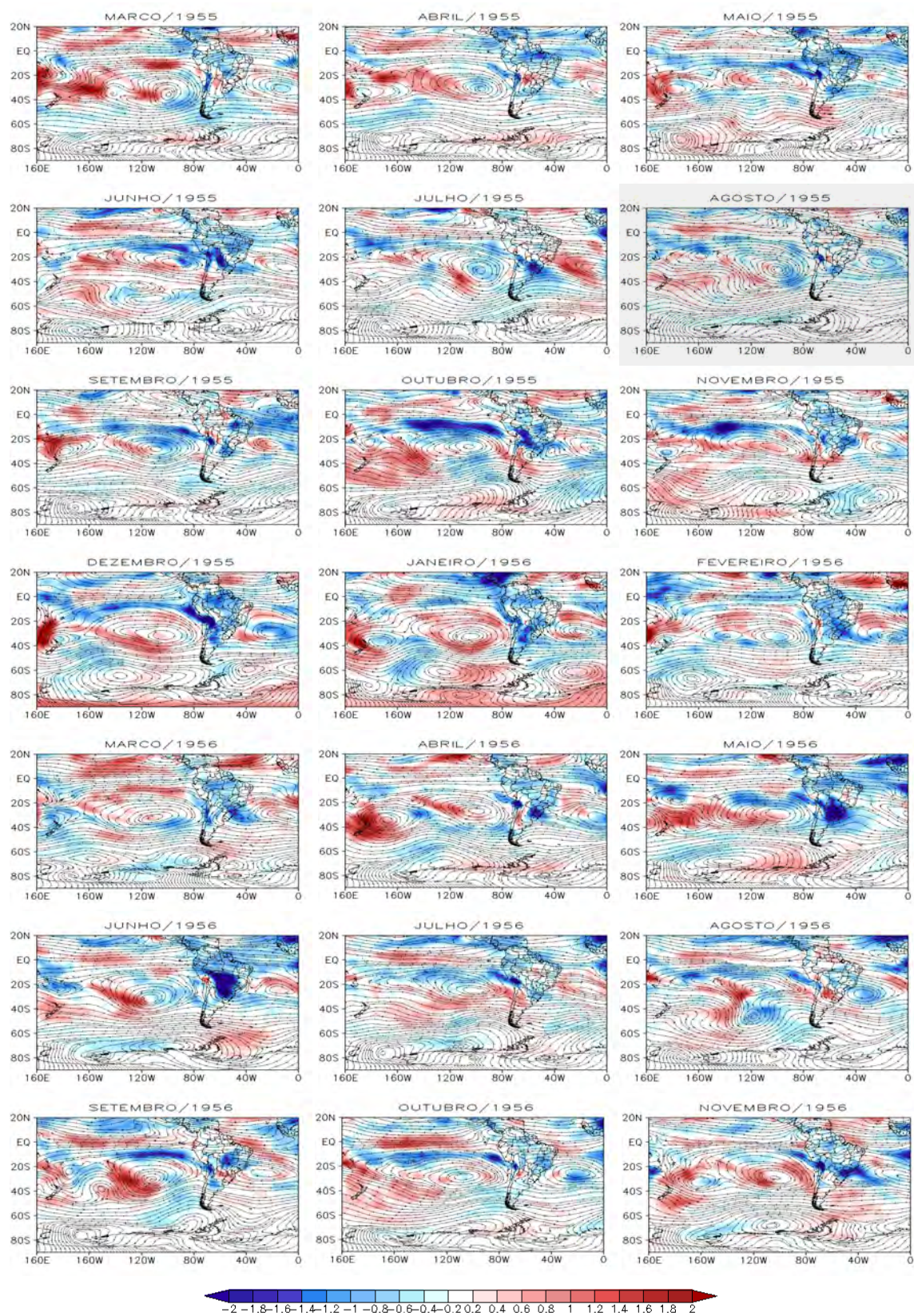


Figura 4.115 - Campos mensais de linhas de corrente em 850hPa e anomalias de umidade específica (g/Kg) de março de 1955 a novembro de 1956, período com precipitação abaixo das normais.

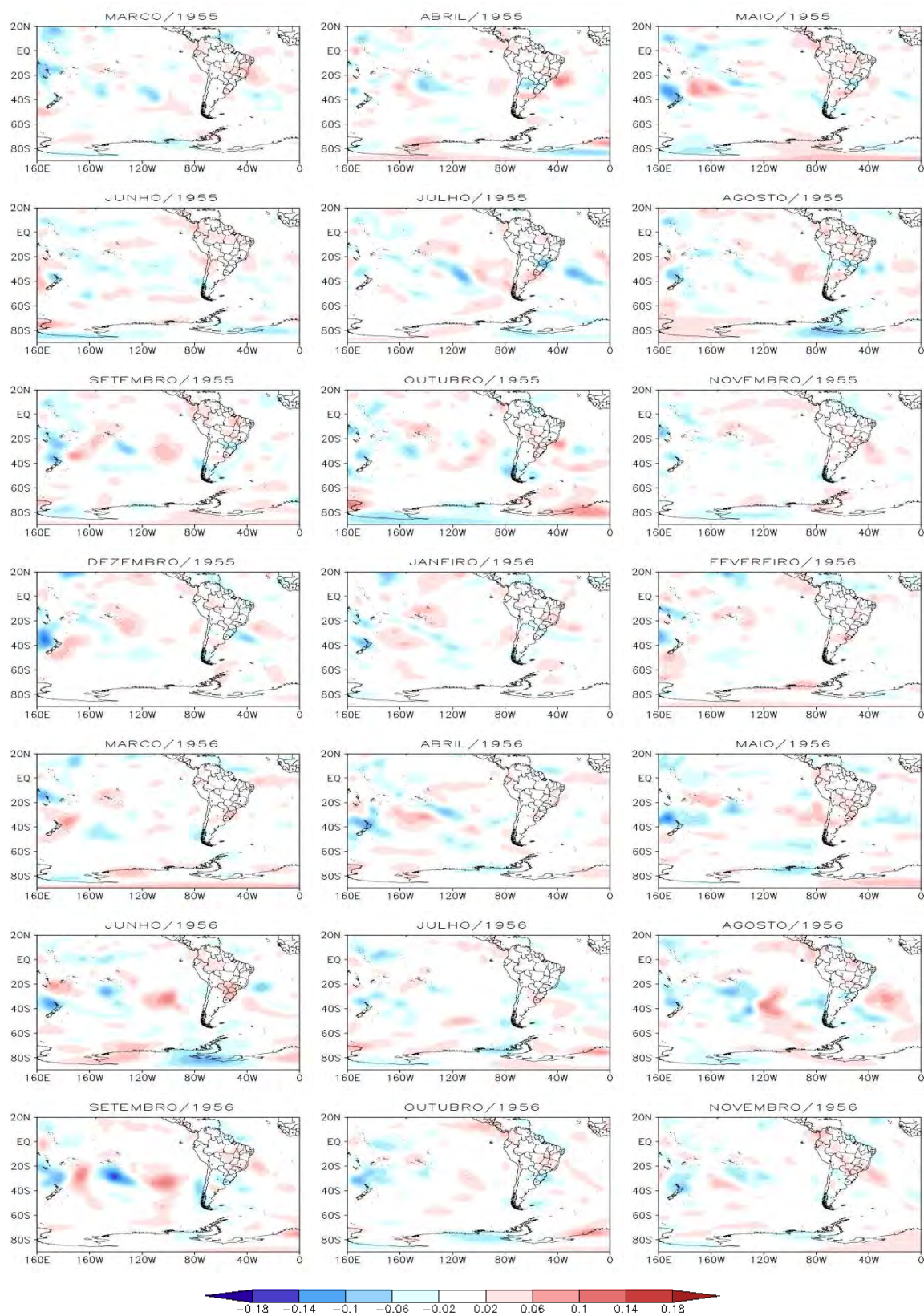


Figura 4.116 - Campos de anomalias mensais da componente vertical do vento  $\omega$  ( $10^{-2}$  Pa/s), em 500hPa, de março de 1955 a novembro de 1956, período com precipitação abaixo das normais no RS.

### 4.3.2 2º Caso: Precipitação acima das normais

O segundo caso de estudo ocorreu entre setembro de 1971 e fevereiro de 1973, e corresponde a um período de precipitações acima das normais no RS. Este caso também foi encontrado durante a fase negativa da ODP de 1947 a 1976, fase na qual as relações são mais fortes (vide Tabela 4.13). Na primavera de 1971 verifica-se anomalias de TSM do ATSW acima das normais, que estão associadas às precipitações acima das normais na estação seguinte (verão 1971/1972). O aquecimento do ATSW que favorece a ocorrência de chuvas acima das normais persiste até a primavera de 1972, influenciando até nas precipitações do verão de 1972/73. Em MAM de 1972, as intensidades do El Niño e da OA (IOA -) também começam a ser importantes, mas a OA só acarretará impactos nas precipitações do RS no inverno, e o ENOS, na primavera. Então na primavera observa-se o impacto conjunto do ATSW, ENOS, PS e OA nas precipitações acima das normais no RS. Já no verão, persistem os impactos do ENOS, PS e do ATSW. A Tabela 4.17 mostra os valores das anomalias normalizadas de cada índice e da precipitação neste caso de estudo.

Tabela 4.17 - Anomalias normalizadas de cada índice estudado e da precipitação média no RS.

ANO	ENOS				ATSW				Precipitação			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
1971				-1,06				0,54				-0,82
1972	-1,09	0,15	1,09	1,73	0,58	0,66	0,58	0,30	0,41	0,42	1,48	0,55
1973	1,78				0,55				0,43			
ANO	IOA				PS				Precipitação			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
1971				0,45				0,85				-0,82
1972	-0,46	-0,51	-0,97	0,45	-0,13	0,05	-0,37	-0,61	0,41	0,42	1,48	0,55
1973	-0,07				-0,02				0,43			

\* Valores em vermelho estão acima e azuis estão abaixo das normais.

Na primavera de 1971, sabe-se que apenas o ATSW influenciou nas precipitações, que estiveram acima das normais no verão seguinte. Assim, pela Figura 4.117 notam-se anomalias positivas de pressão sobre o ATSW em setembro e outubro de 1971, que, devido à persistência (pouca cobertura de nuvens) causaram aquecimento nesta região, e devido a sua dinâmica, puderam levar umidade para o RS. Já em novembro de 1971,

nota-se uma região com anomalias negativas de pressão a sul da América do Sul, que se aproxima ainda mais do continente em dezembro. Isso mostra que, em média, ocorreram mais ciclones nesta região, que associado às Altas do Atlântico e do Pacífico, podem intensificar o Jato de Baixos Níveis (WEYKAMP; AMBRIZZI, 2006). Desde março de 1972, nota-se anomalias negativas de pressão abaixo do PS, e de maio a agosto pode-se observar anomalias negativas de pressão no RS, isto é, mais regiões de baixas pressões se mantiveram no estado, causando mais chuvas que o esperado. Em setembro têm-se, novamente, anomalias de baixa pressão ao sul da América do Sul. De setembro de 1972 a fevereiro de 1973 é o período onde mais padrões estão atuando com sinais favoráveis ao aumento de precipitação no RS, porém nos campos de pressão não se nota a ocorrência de anomalias negativas de pressão no RS. Isso pode ocorrer devido ao avanço de mais frentes frias, ao invés de sua permanência sobre o Estado. Assim, elas causariam o aumento de chuvas, mas a oscilação entre a presença do ciclone associado a frente com o anticiclone presente em sua retaguarda, fariam com que, em média, as pressões estivessem dentro do esperado.

A Figura 4.118 mostra que o JST ficou deslocado para norte da sua posição média (sobre o RS) é mais zonal em novembro de 1972, de forma a facilitar o avanço de frentes frias no RS; e mais intenso em janeiro de 1973, resultando na entrada de frentes mais intensas no Estado. Nesses meses a precipitação está sob influência do ENOS.

Em baixos níveis (Figura 4.119), nota-se que há um fluxo bem configurado, aliado a umidade vinda do Chaco a partir de maio de 1972, quando o impacto nas precipitações começa a ser verificado, devido ao sinal do ATSW. Assim, nos meses seguintes, a anomalia de umidade acima do esperado sobre o RS persiste, com o fluxo de baixos níveis sendo o principal responsável pelo transporte de umidade na região.

A Figura 4.120 mostra o campo de anomalias da componente vertical do vento  $\omega$  em 500hPa e revela que há movimento ascendente anômalo, indicando maior possibilidade de ocorrência de precipitação acima das normais no período, apenas em junho de 1972 e Janeiro e Fevereiro de 1973. Válido ressaltar que este é apenas um fator para ocorrência de chuvas que, apesar de necessário, pode ser mascarado na média mensal, assim como



os demais. Em junho de 1972, também há anomalias negativas de pressão, alta umidade, trazida pelo JBN, e alta anomalias positiva nas precipitações no RS, como discutido previamente. O mesmo ocorre em Janeiro e Fevereiro de 1973.

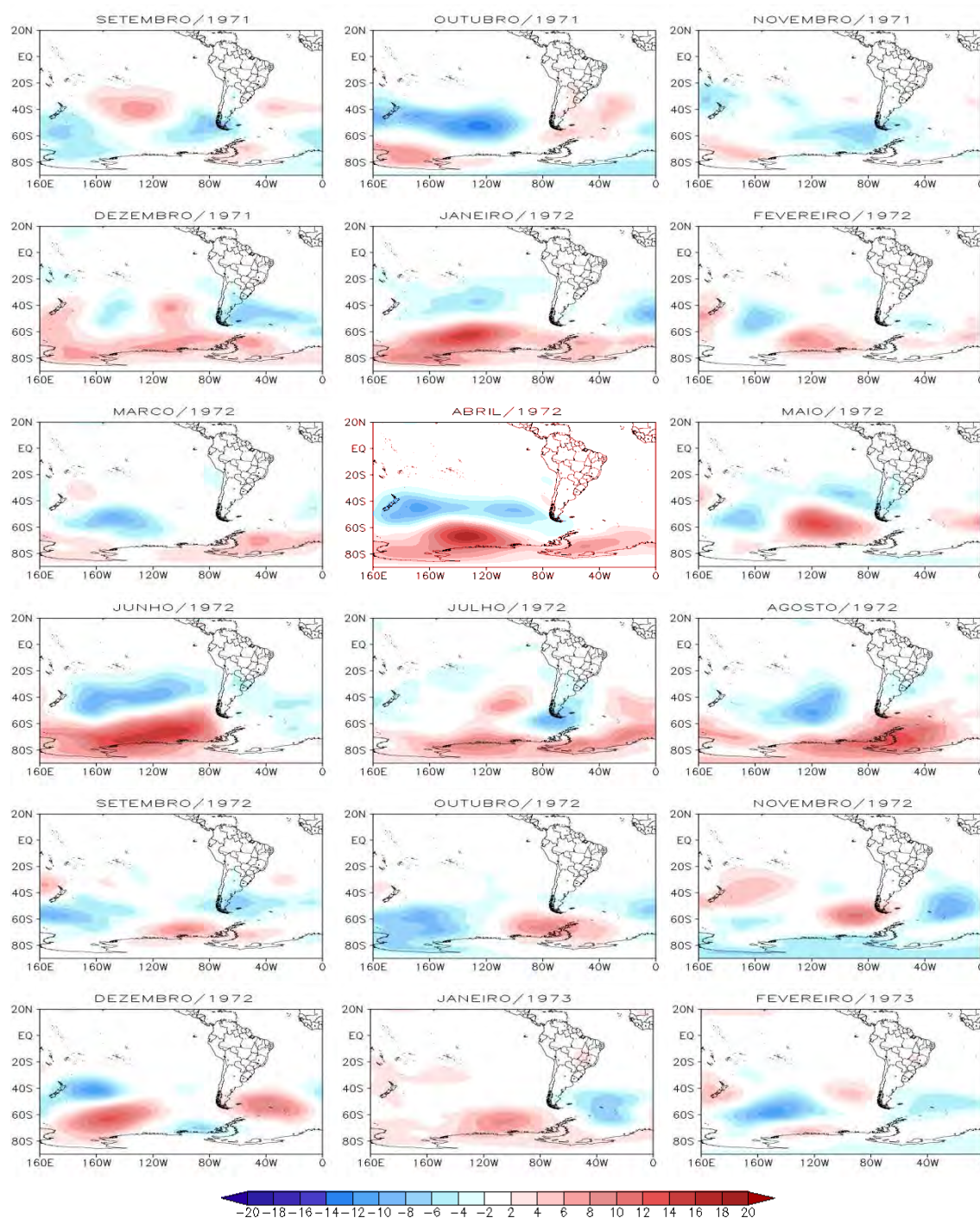


Figura 4.117 - Campos de anomalias mensais de pressão (hPa) de junho de 1971 fevereiro de 1973, período com precipitação acima das normais no RS.

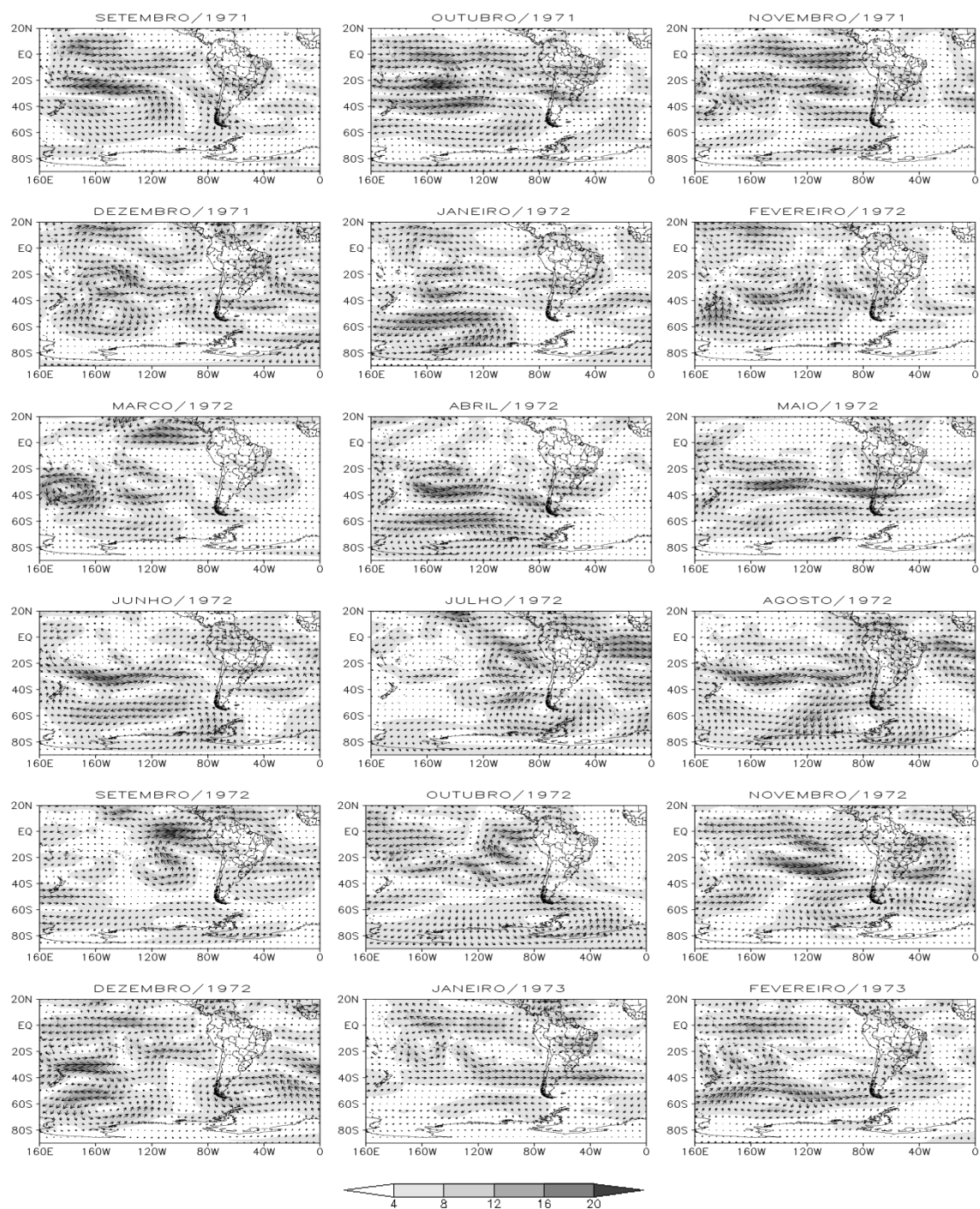


Figura 4.118 - Campos mensais de anomalia (hachurado) e da magnitude do vento (m/s) em 200hPa, de junho de 1971 fevereiro de 1973, período com precipitação acima das normais no RS.

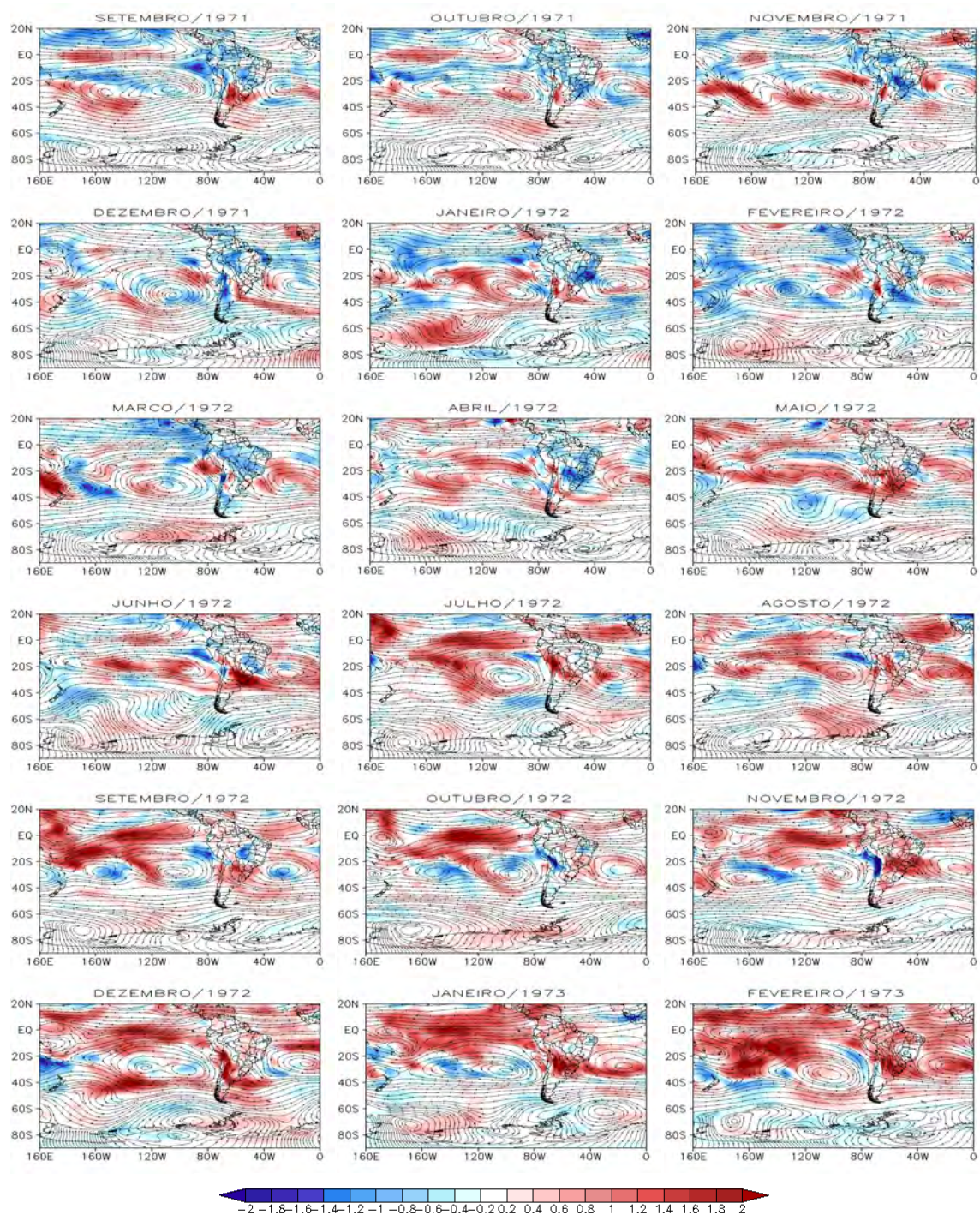


Figura 4.119 - Campos mensais de linhas de corrente em 850hPa e anomalias de umidade específica (g/Kg) de junho de 1971 fevereiro de 1973, período com precipitação acima das normais no RS.

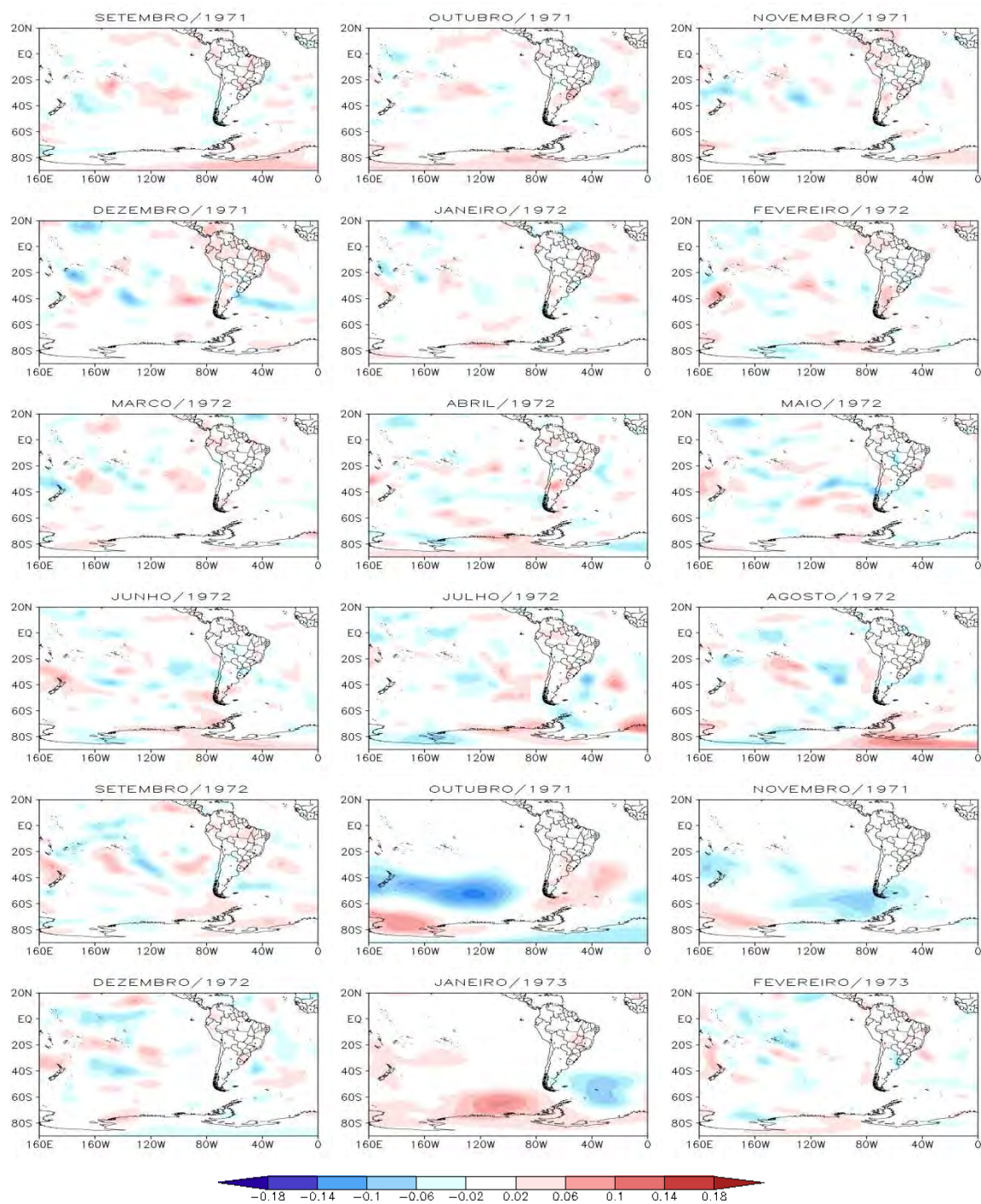


Figura 4.120 - Campos de anomalias mensais da componente vertical do vento  $\omega$  ( $10^{-2}$  Pa/s), em 500hPa, de março de 1955 a novembro de 1956, período com precipitação abaixo das normais no RS.

### 4.3.3 3º Caso: Temperaturas Mínimas abaixo das normais

O terceiro caso de estudo analisado foi observado entre setembro de 1954 e março de 1956, e corresponde à ocorrência de temperaturas mínimas abaixo das normais no RS. Mais uma vez, o caso foi selecionado na fase negativa da ODP de 1947 a 1976. Na primavera de 1954 se inicia o evento de La Niña, que influencia na ocorrência de temperaturas mínimas abaixo das normais no outono de 1955. É no outono também que aparece o impacto das TSM do ATSW, aliadas às do PS e da OA. Desta forma, no inverno de 1955, os quatro padrões estão atuando de forma que as temperaturas mínimas permaneçam abaixo das normais. Na primavera seguinte, ainda se tem o impacto da La Niña e da OA e no outono de 1956, da La Niña e do ATSW. A Tabela 4.18 as anomalias normalizadas de cada índice e das temperaturas mínimas neste caso de estudo.

Tabela 4.18 - Anomalias normalizadas de cada índice estudado e da temperatura mínima no RS.

ANO	ENOS				ATSW				Temperatura Mínima			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
1954				-1,12				0,18				0,01
1955	-1,15	-0,68	-1,27	-1,96	-0,19	-0,61	-1,00	-0,94	0,42	-0,42	-0,80	-0,32
1956	-2,02	-0,62			-0,30	-0,65			0,14	-1,35		
ANO	IOA				PS				Temperatura Mínima			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
1954				0,82				0,71				0,01
1955	0,40	0,45	-0,34	-0,51	0,23	0,34	0,71	0,62	0,42	-0,42	-0,80	-0,32
1956	-0,10	0,14			-0,05	0,24			0,14	-1,35		

\* Valores em vermelho estão acima e azuis estão abaixo das normais.

Na Figura 4.121, nota-se que de setembro de 1954 a fevereiro de 1955, quando há apenas o sinal da La Niña que irá impactar nas temperaturas mínimas abaixo das normais no outono, aparecem em geral, anomalias positivas de pressão ao Sul da América do Sul e também no Pacífico e Atlântico, próximos ao continente. No outono, quando além do impacto do ENOS, começa também do ATSW, além dos sinais do PS e da OA, não se notam alterações nas anomalias de pressões no RS. Porém, no inverno seguinte, verifica-se valores de alta pressão no continente, próximas ao Estado, o que pode indicar aproximação de massas de ar polares frias e secas na região, principais

responsáveis pela queda das temperaturas. Na primavera, seguem os impactos da La Niña e da OA, e nota-se presença de anomalias de alta pressão próximas ao RS, em outubro, e sobre o Estado em novembro. No verão, nota-se uma anomalia negativa na pressão na região a sul do PS.

Na Figura 4.122, observa-se, praticamente em todos os meses, através das anomalias de vento em altos níveis que o JST está intensificado e mais a norte de sua posição climatológica (e.g. de julho a outubro de 1955) ou com uma componente meridional mais intensa (e.g. junho e novembro de 1955), fatores que propiciam a incursão de frentes frias no país, e quando as frentes conseguem avançar rapidamente a latitudes mais baixas, as regiões de alta pressão e ar frio da retaguarda da frente acabam chegando ao RS, ainda intensificadas.

De acordo com a Figura 4.123, nota-se que de setembro a dezembro, quando já há o sinal da La Niña, mas ainda não influenciando as temperaturas mínimas do RS, ocorrem anomalias de temperaturas abaixo das normais no Pacífico, a leste da América do Sul, porém a circulação anti-ciclônica nesta região e a ocorrência de ventos predominantemente zonais a sul da América do Sul, não favorecem a incursão do ar frio no Estado. No período de outono, quando persiste o sinal da La Niña, somado aos sinais do ATSW, do PS e da OA, nota-se anomalias menores, porém uma circulação mais favorável. Já no inverno de 1955, quando todos os padrões estão com sinais favoráveis, e sendo a época em que seus impactos ocorrem simultaneamente, nota-se anomalias negativas intensas nas temperaturas mínimas, além de cavado ao Sul do RS. Na primavera seguinte, quando persistem os impactos da La Niña e da OA, essa configuração observada no inverno continua, porém já enfraquecida no último mês, novembro. No verão de 1956, são os sinais do ENOS e do ATSW que se mostram favoráveis a ocorrência de temperaturas mínimas abaixo das normais no RS, com os impactos ocorrendo no outono. Porém na estação seguinte, quando os impactos do La Niña e do ATSW são efetivos, nota-se o surgimento de um padrão ondulatorio ao sul da América do Sul, responsável pela incursão de ar polar na região.

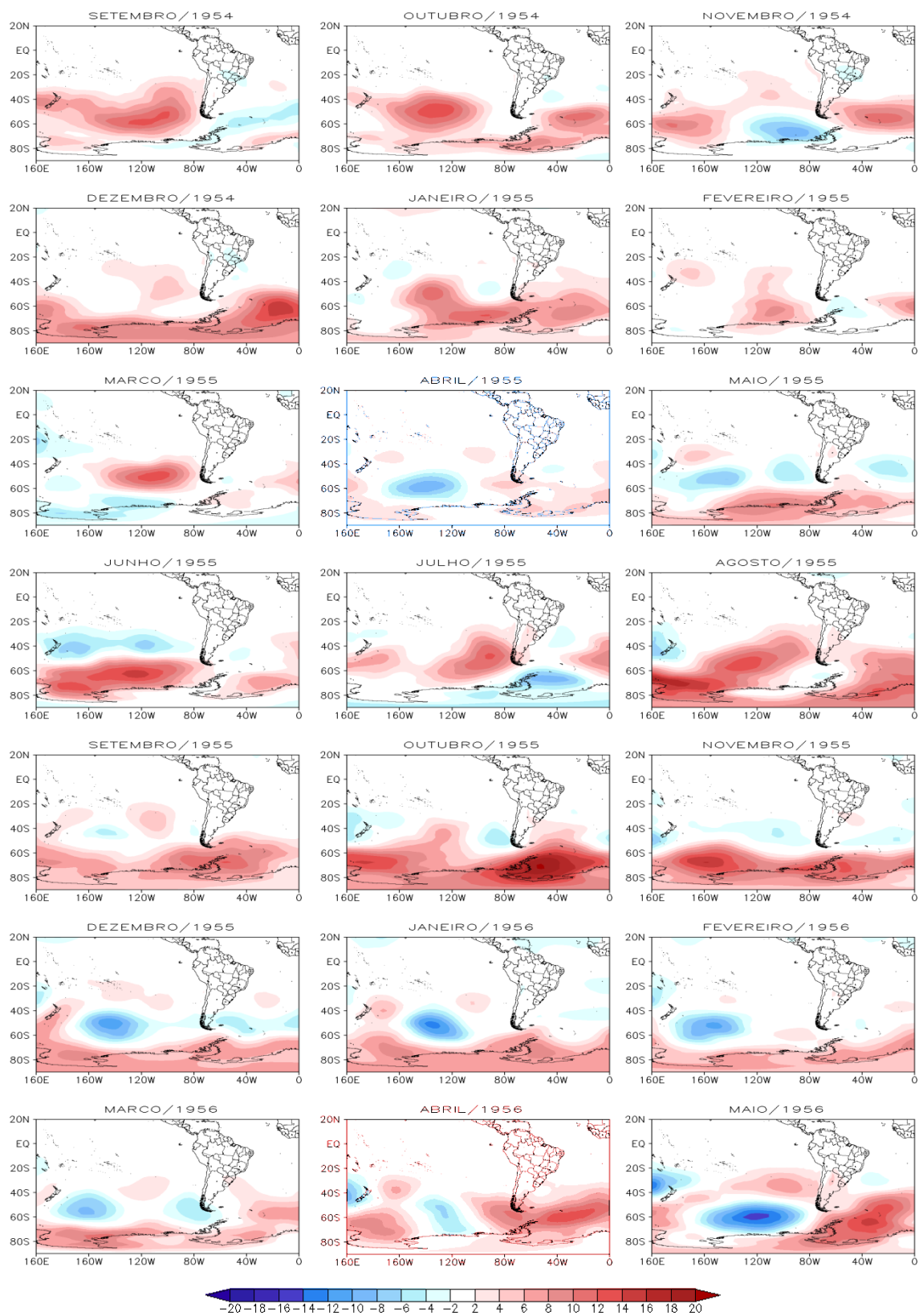


Figura 4.121 - Campos de anomalias mensais de pressão (hPa) de setembro de 1954 a maio de 1957, período com temperaturas mínimas abaixo das normais no RS.

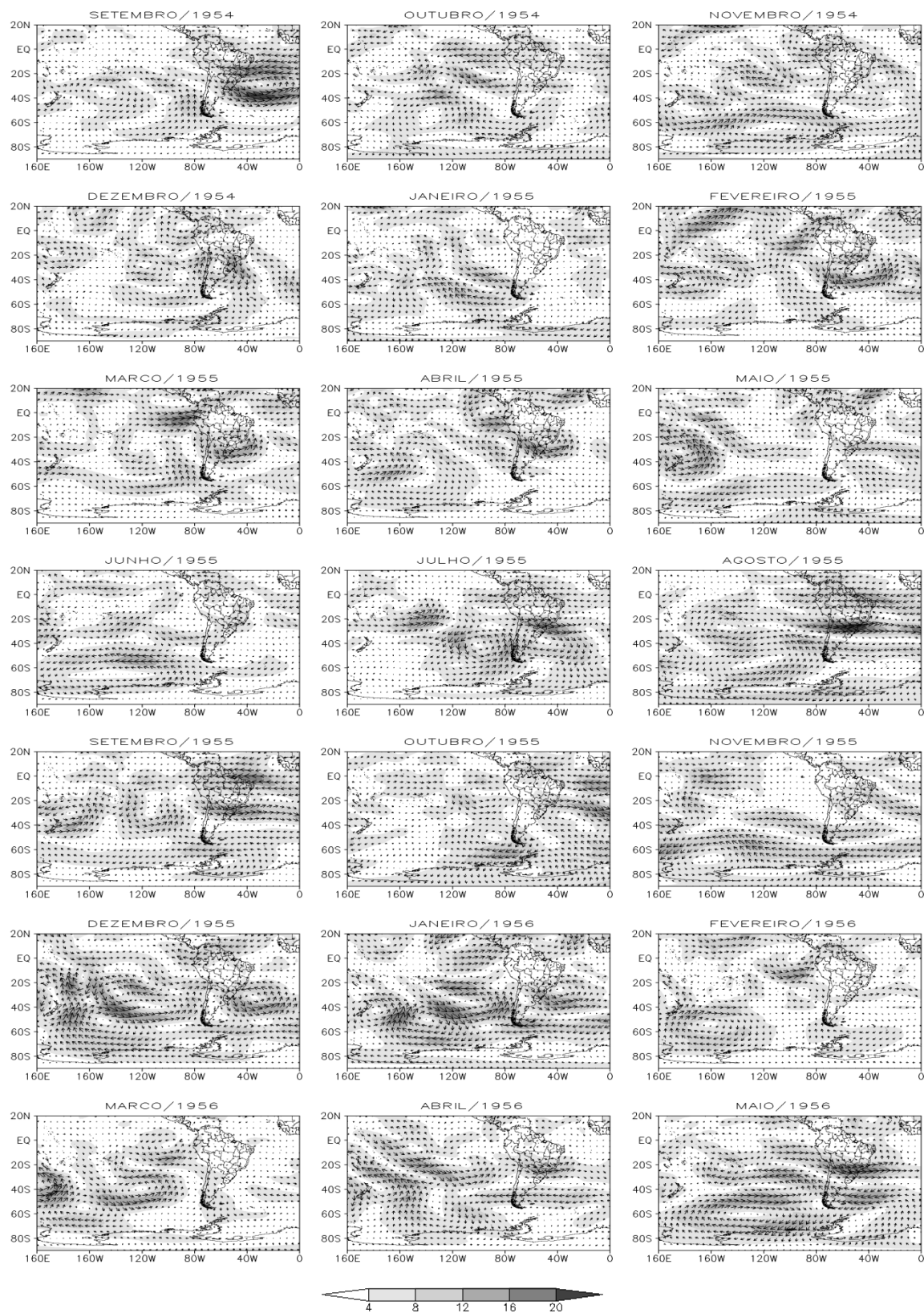


Figura 4.122 - Campos mensais de anomalias (hachurado) e magnitude do vento (m/s) em 200hPa, de setembro de 1954 a maio de 1956, período com temperaturas mínimas abaixo das normais.



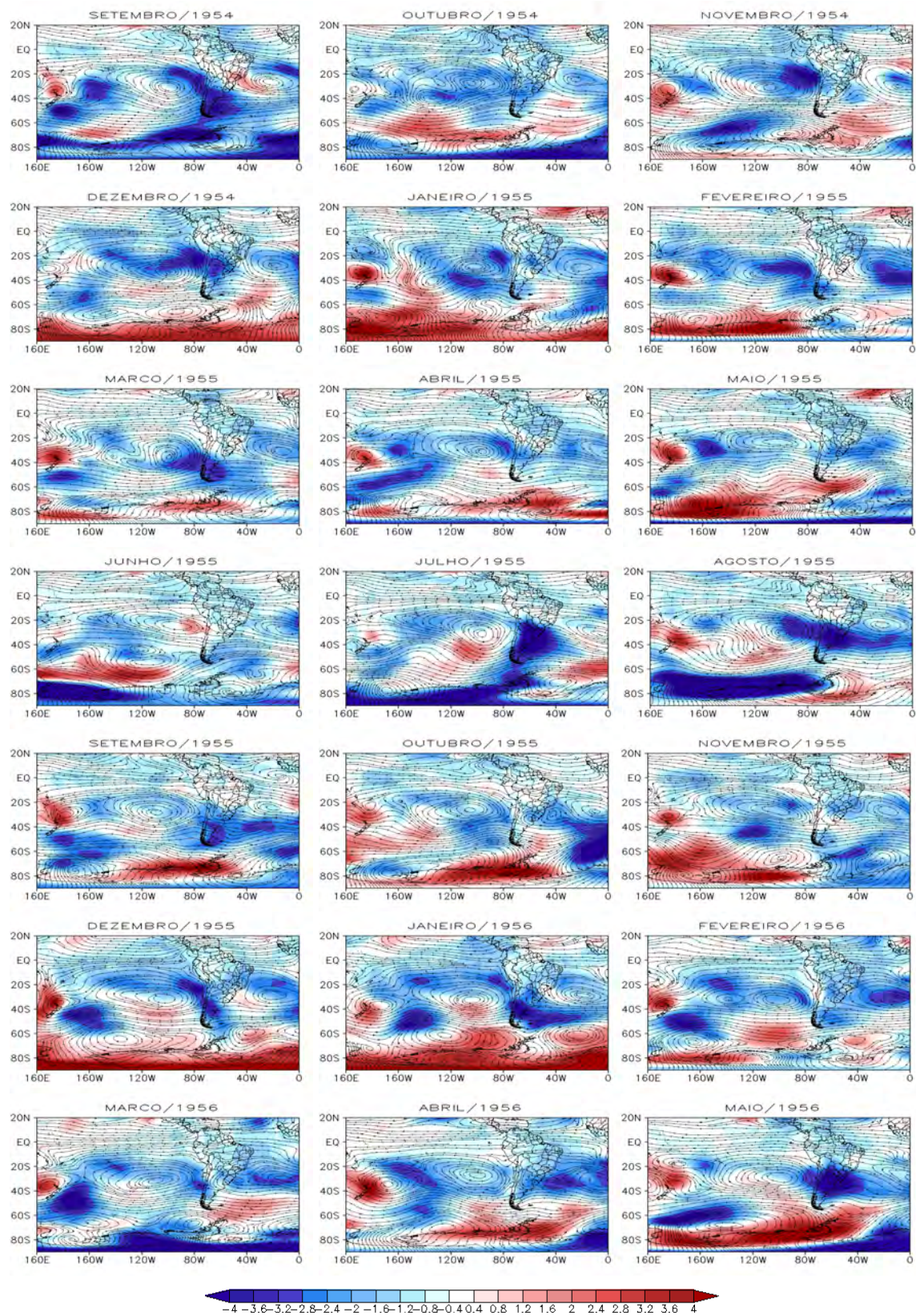


Figura 4.123 - Campos mensais de linhas de corrente em 850hPa e anomalias de temperatura (°C) de setembro de 1954 a maio de 1959, período com temperaturas mínimas abaixo das normais.

#### 4.3.4 4º Caso: Temperaturas Máximas acima das normais

O quarto caso de estudo refere-se à ocorrência de temperaturas máximas acima das normais no RS no período de dezembro de 1951 e agosto de 1953, durante a fase negativa da ODP de 1947 a 1976. Em dezembro de 1951 a AO está em sua fase negativa, influenciando as temperaturas máximas. No outono de 1952, persiste o impacto da OA e aparecem anomalias de TSM abaixo das normais no PS, que impactarão as temperaturas máximas no inverno. Em dezembro, aparece novamente sinal e impacto da OA. No outono de 1953, persiste sinal da OA e aparecem sinais do El Niño, que impactarão no inverno seguinte. A Tabela 4.19 mostra os valores das anomalias normalizadas de cada índice e da temperatura máximas neste caso de estudo.

Tabela 4.19 - Anomalias normalizadas de cada índice estudado e da temperatura máxima no RS.

ANO	ENOS				ATSW				Temperatura Máxima			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
1952	0,31	0,05	-0,04	-0,07	-1,14	0,02	-0,32	-0,13	0,59	0,66	0,02	-0,45
1953	-0,07	0,05	0,16		0,96	0,68	0,50		0,79	0,94	0,57	

ANO	IOA				PS				Temperatura Máxima			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
1952	-0,54	-0,62	-0,21	-0,34	0,58	-0,37	0,49	0,40	0,59	0,66	0,02	-0,45
1953	-0,61	-0,61	-0,27		-0,07	0,07	-0,97		0,79	0,94	0,57	

\* Valores em vermelho estão acima e azuis estão abaixo das normais.

Na Figura 4.124, vê-se que no verão de 1951/1952, quando a OA (IOA -) começa a influenciar as temperaturas máximas do RS, existe uma alta pressão anômala na região Antártica, que alcança o Estado em dezembro, e em janeiro e fevereiro, em média, a pressão se mantém normal na região. No outono, quando continua a influência da OA e surgem os sinais do ENOS e PS, observa-se predomínio de uma anomalias positiva de pressão a sul do PS, e em maio, há anomalia positiva de pressão também no ATSW, que adentra ao continente cobrindo o Uruguai e parte da Argentina. Em junho, julho e agosto, quando se verificam os impactos do El Niño e do PS (abaixo das normais), a pressão no RS está com valores dentro do esperado. No verão e no outono de 1953, quando o impacto da OA (IOA-) é forte, observa-se, novamente, anomalias de alta pressão a sul do PS e norte da Antártica, e pressão dentro do esperado no RS. Em junho, julho e agosto, tem-se a influência do ENOS além da OA, e em julho, nota-se anomalia

de alta pressão sobre o RS. Salienta-se que as temperaturas máximas ocorrem, em geral, durante o dia e que elas são maiores, quanto menor for a nebulosidade da região. Como neste caso as pressões estão dentro ou acima do esperado, indicando, em média, pouca persistência de nebulosidade no RS para o período analisado, conclui-se que as condições favoreceram o aumento das temperaturas máximas no Estado.

A Figura 4.125 mostra o comportamento anômalo dos ventos em altos níveis, e indica uma acentuada curvatura do JST, favorecendo entrada de frentes nos meses de dezembro e janeiro de 1952. Porém, em fevereiro isso já não se verifica. Em março e maio, o posicionamento do jato dificulta a entrada de frentes, e nos meses mais críticos para a incursão de sistemas frontais, junho, julho e agosto, o JST está mais intenso e inclinado para sudeste, o que torna ainda mais difícil a incursão destes sistemas, que são os principais causadores de chuvas e, portanto, nebulosidade, no RS, neste período do ano. Não havendo nebulosidade, a tendência é o aumento das temperaturas máximas. No verão de 1952/1953, apenas em dezembro haveria uma configuração favorecendo a entrada de frentes, porém neste mês a frequência destes sistemas no RS é naturalmente menor. De março a agosto, quando a frequência de frentes volta a ser maior, novamente nota-se que o JST não favorece sua incursão no Estado, seja pelo posicionamento, inclinação ou intensidade.

Em baixos níveis (Figura 4.126), os ventos associados com as anomalias de temperatura mostram que apesar de em dezembro de 1951 existirem anomalias negativas de temperatura sobre o RS, a circulação predominante vem do Atlântico, onde o ar está anormalmente quente. Em janeiro e fevereiro de 1952, as anomalias negativas das temperaturas se tornam menos intensas. Em março e maio, nota-se anomalias positivas nas temperaturas, com ventos vindo do Atlântico e do Chaco, respectivamente. No inverno, em julho e agosto, justamente quando o JST não está direcionando as frentes para o RS, o fluxo de baixos níveis oriundo da região do Chaco, em contrapartida está bem configurado, trazendo ar quente, e provavelmente seco, da região centro-oeste do Brasil. Neste momento, são o ENOS e PS que estão atuando nas temperatura máximas. No verão, quando surge o impacto da OA, apesar de haverem anomalias negativa na temperatura sobre o RS, há circulação anticiclônica sobre o RS, o que inibe convecção,

e, portanto, nebulosidade. Válido lembrar que a temperatura do campo é média, o que pode significar que as mínimas caíram mais do que as máximas subiram, mas não necessariamente que as máximas estão abaixo da normal. No outono de 1953, nota-se o JBN bem configurado, juntamente com a alta do Atlântico, bem próxima ao continente, e em maio, nota-se anomalias positivas de temperatura no RS. No inverno seguinte, repete-se o mesmo ocorrido no outono, com anomalias positivas de temperatura em junho, e mais intensas ainda em agosto.

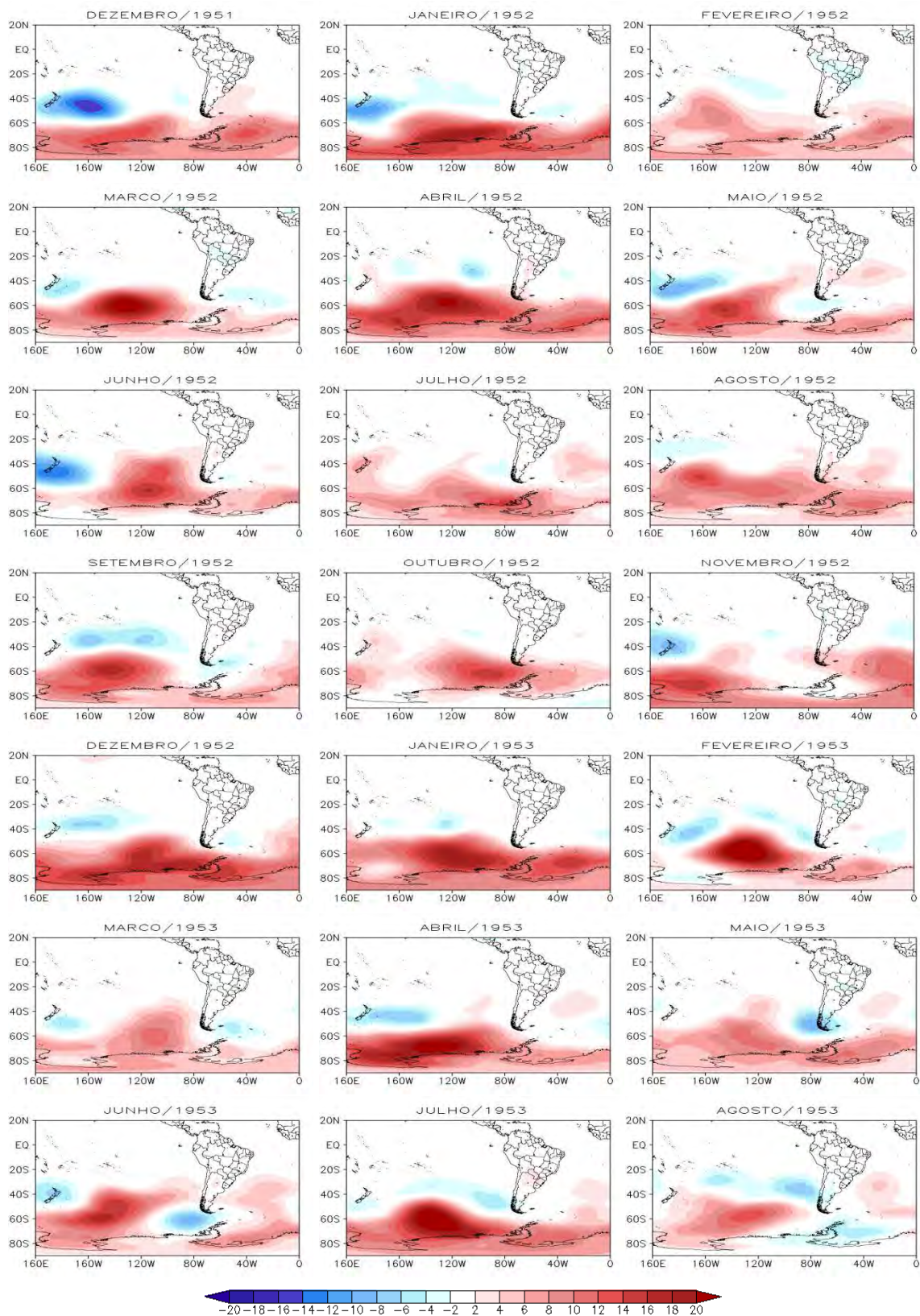


Figura 4.124 - Campos de anomalias mensais de pressão (hPa) de setembro de 1952 a maio de 1953, período com temperaturas mínimas abaixo das normais no RS.

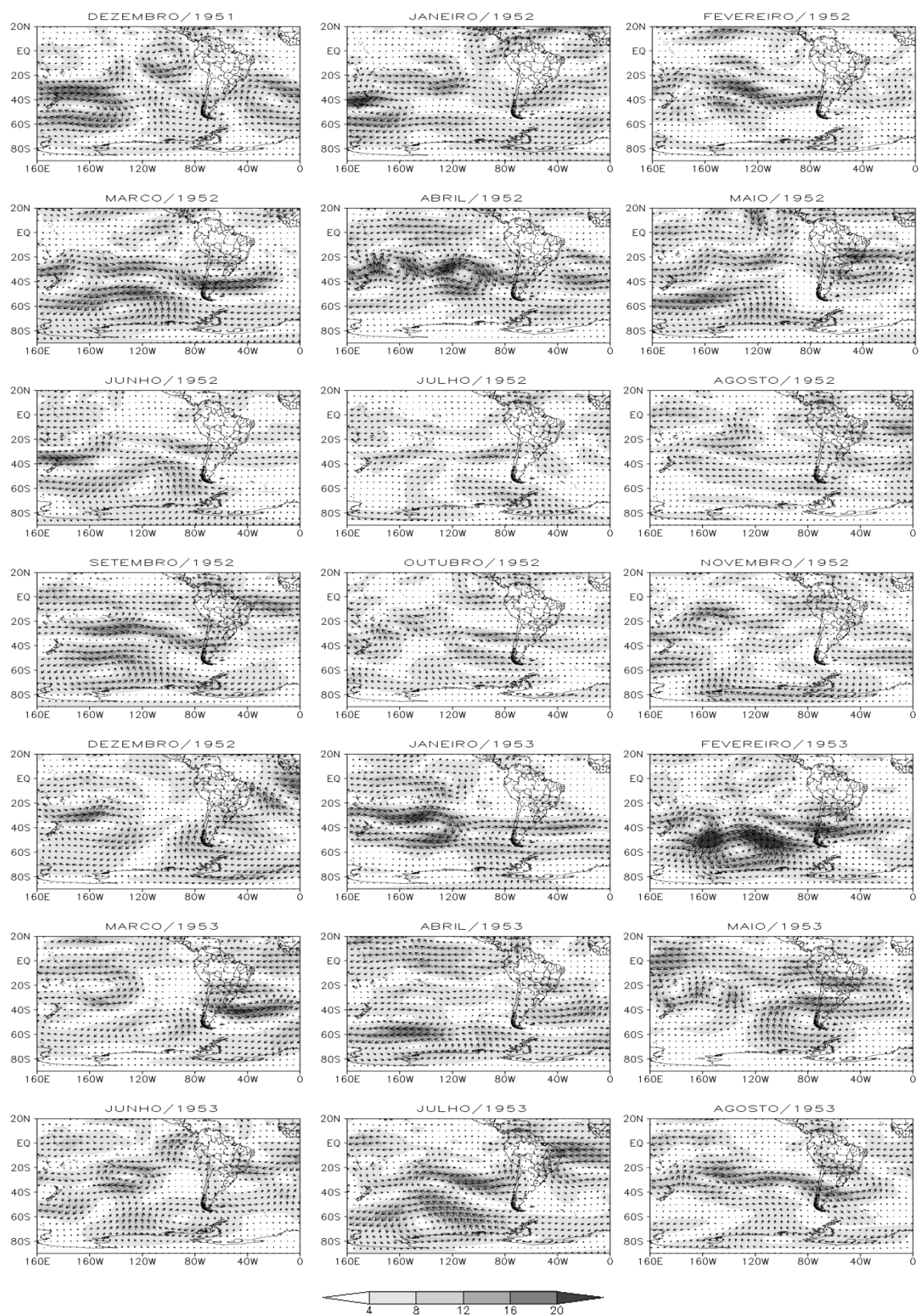


Figura 4.125 - Campos mensais de anomalias (hachurado) e magnitude do vento (m/s) em 200hPa, de dezembro de 1951 a agosto de 1953, período com temperaturas máximas acima das normais.

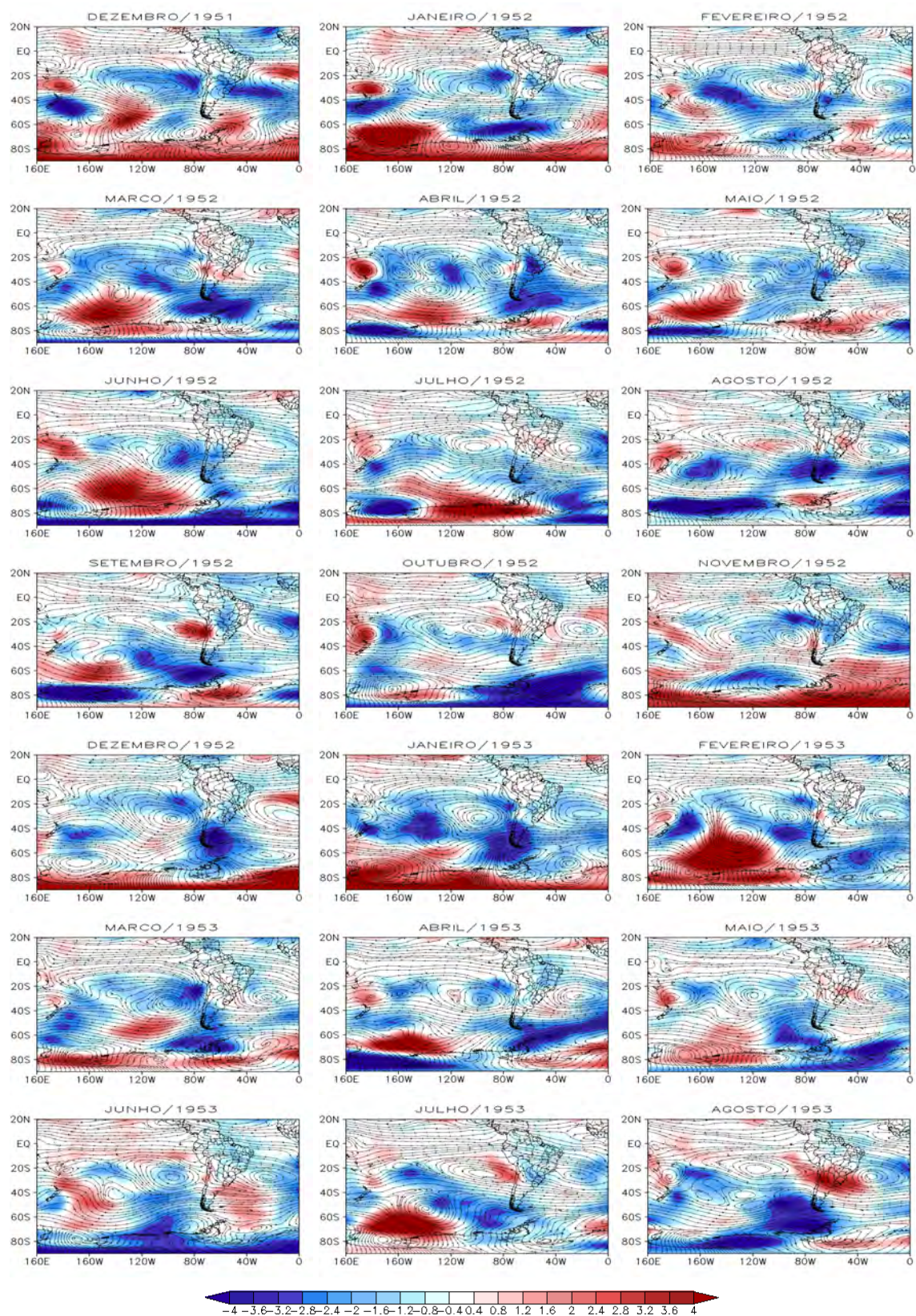


Figura 4.126 - Campos mensais de linhas de corrente em 850hPa (em metros) e anomalias de temperatura (°C) de dezembro de 1951 a agosto de 1953, período com temperaturas máximas acima das normais.





## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando se trata de estudos de variabilidade climática em que se utilizam séries temporais de longo prazo, é de extrema importância uma análise prévia das mesmas, removendo-se tendências significativas e verificando suas autocorrelações, por exemplo. Constatou-se que todas as séries utilizadas (ENOS, ATSW, PS, OA, ODP) possuíam tendências e autocorrelações significativas, e isso poderia influenciar os resultados das análises de correlações cruzadas entre elas. Logo, estas séries tiveram suas tendências lineares removidas para passar no teste de Mann-Kendall modificado.

A série do Niño 3.4 corrigida por Bunge e Clarke (2009), se mostrou mais adequada por corrigir as inconsistências com o IOS nas baixas frequências. Isso é fundamental, visto que, fisicamente, as componentes oceânica e atmosférica do ENOS estão acopladas. Outro ponto positivo desta série é que foi observada a interação entre ENOS e ODP em todas as escalas de tempo. Esta escolha foi de grande importância para as análises, uma vez que o interesse era avaliar as relações do ENOS com outros índices e suas variabilidades, em todas as escalas de tempo.

Quanto à ocorrência de eventos extremos positivos e negativos do ENOS, ATSW, PS e OA, utilizando-se tabelas de contingência 2x2, pode-se afirmar que a fase da ODP influencia nas durações (ENOS, ATSW e OA) e nas frequências (ATSW e OA) dos eventos, mas não nas suas intensidades, e que o PS é o que sofre menor impacto da ODP. Os eventos ENOS, em geral, se iniciam no inverno e terminam no verão e tanto as La Niñas quanto os El Niños duram em média, 12 meses, sendo que a anomalia média normalizada dos El Niños (0,96) é maior em magnitude do que a das La Niñas (-0,85). Os eventos extremos no ATSW, classificados em tercis, também duraram cerca de 12 meses, mas tanto os positivos (quentes) quanto os negativos (frios) tiveram anomalias médias de  $\pm 0,7$ . Já os do PS persistiram 14 meses em média com anomalias de 1,04 e -0,8. As maiores diferenças entre as anomalias dos eventos foi para a OA, na qual os eventos positivos tiveram uma média de 0,91 e os negativos de -0,59, ambos com duração da ordem de 11 meses.

Da análise de correlação simples, observa-se que a ODP influenciou mais o ENOS e o PS do que o ATSW e a OA, ou seja, sua influência estaria restrita ao Pacífico e ocasionaria diferentes impactos no ATSW e na OA de maneira indireta. Assim, o ENOS é claramente influenciado pela ODP e o ATSW não, apesar das correlações (positivas) do ENOS com ATSW serem mais fortes na fase negativa da ODP. As correlações entre ENOS e PS têm sinal oposto (negativo) e são mais intensas durante a fase positiva da ODP. O mesmo ocorre com as relações entre o PS e o ATSW, o ENOS e a OA, a OA e o ATSW, voltando a inverter (correlação positiva na fase negativa da ODP) na relação entre a OA e o PS. Assim, em estudos envolvendo o impacto do ENOS no PS e no Atlântico Sul, ou entre esses dois oceanos indiretamente, ou mesmo envolvendo índices atmosféricos (IOA), deve-se obrigatoriamente considerar as fases da ODP. Também são importantes a defasagem e a sazonalidade, que são características de cada correlação entre os diferentes índices e devem ser levadas em conta, pois as correlações mais intensas, na maioria dos casos, não são simultâneas e ocorrem em uma estação do ano preferencial.

As correlações parciais indicam que os impactos do ENOS no ATSW e PS se mostram mais fracos quando desconsiderada a influência da ODP, o que confirma a sua importância nestas relações. Se observados os efeitos da ODP no ATSW e PS, nota-se que são mais fracos que os causados pelo ENOS e, desconsiderando-se a ação deste, os coeficientes de correlação deixam de ser significativos. Isso mostra que, quanto aos seus impactos no ATSW e no PS, o ENOS é o mecanismo mais importante, mas a ODP também deve ser considerada, pois pode intensificar estes efeitos. Já as relações entre ENOS e o ATSW ficaram mais fortes sem o PS, que pode ser devido às diferenças de sinais, defasagens e sazonalidade nas correlações. As correlações da OA com o ATSW e o PS apresentaram coeficientes mais baixos e poucas diferenças entre as parciais e as totais, sugerindo que este índice não interage tão fortemente com os demais.

As tabelas de contingência mostraram que o impacto do ENOS no ATSW é direto, e que há diferenças quanto à atuação da La Niña na redução e do El Niño na aumento da TSM do ATSW. Assim, as influências não são antissimétricas quanto à intensidade e defasagem das relações. Isso torna questionável a utilização exclusiva de correlações

para efetuar um diagnóstico destas relações, uma vez que esta técnica supõe simetria entre as séries comparadas. O diagrama ROC enfatizou estes resultados, mostrando que o impacto da La Niña na redução das anomalias de TSM do ATSW é maior que o do El Niño em seu aumento. Porém, algumas semelhanças foram encontradas entre os impactos dos El Niños e das La Niñas, tais como, escores máximos nas fases negativas da ODP e impactos mais fortes no inverno seguinte à fase madura do ENOS. As relações entre o ENOS e o PS também apresentaram escores altos, especialmente na primavera e no outono. Novamente, a influência das La Niñas foi mais forte que dos El Niños, mas desta vez, a fase da ODP que intensificou as relações foi a positiva. Já as relações entre o PS e o ATSW mostraram-se mais fracas e sem um padrão repetitivo, reforçando o que foi encontrado nas correlações parciais. A OA apresentou relações menos consistentes com os demais índices, salvo algumas exceções. Mostrou escores altos com o ENOS, com 1 mês de defasagem, no outono e na fase negativa da ODP, com o impacto dos El Niños mais forte do que das La Niñas. Com o ATSW também foi no outono, mas com maior defasagem e fase positiva da ODP, sendo maior a influência das anomalias negativas do IOA. Em relação à ODP, quando positiva, seu impacto é mais forte no ENOS (El Niño), principalmente no verão. Quando negativa, também se destaca o ENOS (La Niña), porém apenas no verão e primavera, sendo mais intensa a relação com PS no inverno. Nos casos mais intensos, seu impacto no ENOS e no ATSW é mais forte em sua fase negativa, já no PS e na OA, na fase positiva.

As ondaletas cruzadas mostraram que ENOS e ATSW têm relações coerentes numa escala de 8-15 anos, com o ENOS precedendo com defasagem de até 2 anos. Nas fases negativas da ODP estas relações são coerentes também na alta frequência (4 anos). Com o PS, o ENOS apresentou forte coerência na escala de 2-8 anos, negativa e quase simultânea. ENOS e OA tiveram relações coerentes apenas na fase positiva da ODP, de 5-8 anos e também de sinal oposto. A ODP mostrou relação significativa com PS e ATSW, na escala do ENOS (4-8 anos), em suas fases negativas. Com a OA, a ODP apresentou relação coerente numa escala maior (8-12 anos) e após 1990, também na alta frequência (4-8 anos) e com sinal invertido.

Cinco das seis séries de precipitação no RS apresentaram tendência positivas e autocorrelação de lag 1. Em relação ao ENOS, o impacto das La Niñas (El Niños) associado às precipitações abaixo (acima) das normais se mostrou um pouco mais forte na fase positiva da ODP, principalmente no verão, e nestes anos o sinal do ENOS começou até 6 meses antes, enquanto na fase negativa da ODP estas relações já se mostravam importantes a partir da primavera. Com o ATSW, as relações foram mais intensas na fase negativa da ODP, com o ATSW abaixo (acima) das normais influenciando as precipitações também abaixo (acima) das normais, principalmente no verão (ano todo), com defasagens de até 6 meses. Já com o PS, estas relações foram mais fracas e inversas, porém também nota-se escores mais altos na fase negativa da ODP, especialmente na primavera, sendo que o impacto do PS se inicia no outono anterior. A OA também mostrou relação inversa com as precipitações no RS, sendo diferente de acordo com as fases da ODP.

Em relação às séries de anomalias mensais de temperatura mínima no RS, todas as estações consideradas apresentaram tendências positivas significativas e autocorrelação de lag 1. Com exceção da OA, os demais índices mostraram escores mais altos relacionados às temperaturas mínimas durante a fase negativa da ODP. As La Niñas (El Niños) estiveram relacionadas com ocorrência de temperaturas mínimas abaixo (acima) das normais, mais fortemente na primavera e outono (outono e inverno), com o sinal do ENOS adiantado em até 6 meses. O ATSW também influenciou diretamente as temperaturas mínimas, principalmente no inverno, com defasagens de até 3 meses. Com o PS estas relações foram inversas, mais fortes no inverno, com seu sinal começando no verão anterior. As relações com a OA também foram inversas. Quando na fase negativa, a OA influenciou na ocorrência de temperaturas mínimas acima das normais, mais fortemente na ODP positiva, no verão e outono, com defasagens de até 3 meses. Quando na fase positiva, o impacto da OA associado às temperaturas abaixo das normais ocorreu na primavera e inverno, começando seu sinal no outono anterior, na fase negativa da ODP; e no verão e no outono, com sinal já na primavera, na fase positiva da ODP.

Apenas duas estações (Porto Alegre e São Luiz Gonzaga) apresentaram tendências positivas nas temperaturas máximas, e uma (Santa Maria), negativa. Porém, todas as séries apresentaram autocorrelação de lag 1. O impacto da La Niña e do El Niño nas temperaturas máximas é direto (inverso) na fase negativa (positiva) da ODP, ocorrendo principalmente no inverno (verão), com o sinal do ENOS começando no outono (inverno) anterior. Para o PS ocorre o contrário, é inverso (direto e mais fraca) na ODP negativa (positiva), ocorrendo principalmente no inverno (verão), com defasagens de até 6 (3) meses. Isto é, tanto para o ENOS como para o PS, as relações se inverteram de acordo com a fase da ODP. Já em relação ao ATSW, suas relações com as temperaturas mínimas são diretas e mais intensas na ODP negativa, especialmente no inverno, com defasagem de 3 meses. A OA apresentou uma relação inversa com as temperaturas mínimas do RS, sendo que quando a fase desta é negativa (positiva) o impacto ocorre nas temperaturas máximas acima (abaixo) das normais. Para a fase negativa da OA, os impactos são mais fortes na ODP negativa, no outono e inverno, com defasagens de até 6 meses. Para OA na fase positiva, os impactos ocorrem na primavera e inverno, se a ODP é negativa, e no verão e outono, se a ODP é positiva, sempre com um atraso de até 6 meses do sinal do IOA para a ocorrência dos efeitos nas temperaturas máximas.

A escala de variabilidade mais significativa das precipitações no RS, obtida através da análise de ondaletas, é de 2-8 anos. Em geral, ela interage dentro dessa escala com o ENOS, quase simultaneamente, com descontinuidades nos períodos referentes às fases negativas da ODP; com o ATSW, quase simultaneamente; com o PS, inversamente; e com a OA, desta vez, precedendo por  $\frac{1}{4}$  do período. Bagé é, em geral, a estação mais bem relacionada com todos os índices.

As temperaturas mínimas apresentaram variabilidade mais significativa na escala de 4-8 anos. Está mais relacionada com ENOS, numa escala de 2-6 anos, com o ENOS precedendo; e ATSW, de 2 a 10 anos, com o ATSW precedendo. As relações com o PS e a OA são mais fracas, embora em algumas situações (Estação/ano) não devam ser desconsideradas. Já em relação às temperaturas máximas, a maioria das estações apresenta variabilidade, principalmente, na escala de 8-16 anos, e algumas também de 4-8 anos. As regiões de coerência com o ENOS, o ATSW, o PS e a OA são menores do

que as apresentadas pela precipitação e temperaturas mínimas, mas não são desprezíveis.

O estudo dos casos selecionados com todo o conjunto dos índices corroborando para precipitações acima e abaixo das normais, temperaturas mínimas abaixo e máximas acima das normais, mostraram coerência com o esperado.

## 6 CONCLUSÕES

Este estudo mostrou a viabilidade e utilidade de um método simples e robusto, tabelas de contingência, no caso, como auxiliar nas previsões climáticas sazonais. Considerando-se o RS, os quatro índices utilizados: ENOS, ATSW, PS e OA mostraram-se importantes e indispensáveis para uma boa previsão. Além disso, as fases da ODP também devem ser consideradas, visto que alteram os seus impactos nas precipitações e temperaturas, seja modificando a intensidade, a época ou a defasagem em que eles ocorrem.

As diferentes metodologias apresentaram, algumas vezes, resultados destoantes, o que implica que cuidados devem ser tomados na escolha da ferramenta a ser utilizada dependendo da intenção da investigação.

As tabelas de contingência mostraram que a atuação dos eventos El Niño e La Niña não são anti-simétricos no ATSW, PS e AO, suposição que é imposta quando usadas as correlações. As relações entre esses índices de TSM (ENOS, ATSW, PS) e o IOA se mostraram mais relevantes em determinadas fase da ODP, estações do ano e defasagens, de acordo com cada caso.

ENOS e ODP interagem em ambas as escalas de frequência, com ENOS liderando a ODP por cerca de 2 a 8 meses, numa escala de 3-8 anos (ENOS), e ODP liderando o ENOS por cerca de 1- 1,5 ano, numa escala de 16 a 30 anos (ODP). As interações entre as frequências do ENOS, PS, ATSW e OA foram significativas especialmente na escala temporal do ENOS.

Os impactos dos eventos ENOS, ATSW, PS e OA nas temperaturas máximas, mínimas e precipitações do RS são relevantes e também não ocorrem de forma simétrica. Em geral, ENOS e ATSW influenciam nas precipitações e temperaturas do RS de maneira direta (o aumento de um implica no aumento de outro), enquanto PS e AO, de maneira inversa. Mas observaram-se diferenças nas respostas das temperaturas máximas e das temperaturas mínimas. Geralmente, as relações são mais intensas na fase negativa da ODP, com algumas exceções. Assim, os impactos se mostraram mais intensos em

determinada fase da ODP, estação do ano, defasagem e localidade do Estado, variando caso a caso.

Finalmente, esse trabalho alerta que em estudos sobre mudanças climáticas deve-se atentar para as transições das fases da ODP, principalmente da positiva para a negativa, quando se observa uma intensificação de várias teleconexões e maior ocorrência de extremos de precipitação e temperaturas máximas e mínimas devido à influência do ENOS, do ATSW, do PS e da OA.

Como sugestões para trabalhos futuros:

- Estender este mesmo tipo de análise para outras regiões, considerando outros padrões de teleconexão que afetam o clima destas regiões, incluindo outras escalas de tempo, como a intrassazonal, por exemplo;
- Analisar a influência destes padrões oceânicos e atmosféricos em outros índices climáticos, como alguns sugeridos pelo IPCC, tais como: máxima sequência de dias chuvosos e secos, de ondas de frio e de calor, etc.;
- Fazer um estudo mais aprofundado dos mecanismos atmosféricos que atuam nestes casos, considerando as relações e interações sazonais, simultâneas e defasadas entre os índices de TSM e a AO, levando em conta as suas fases.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEITUNO, P. On the functioning of the southern oscillation in South American Sector. Part I: surface climate. **Monthly Weather Review**, v.116, p.505-524, 1988.
- ALEXANDERSSON, H. A homogeneity test applied to precipitation data. **International Journal of Climatology**. v.6, n.6, p. 661-675, 1986.
- AMBRIZZI, T.; HOSKINS, B.J; HSU, H.H. Rossby wave propagation and teleconnection patterns in the austral winter. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 52, p. 3661-3672, 1995.
- ANDRADE, G. P. Os Climas. In: Azevedo, A. (org.) **Brasil, a terra e o homem**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editorial Nacional, 1972, v.1, p. 397-462.
- ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 185p. (INPE-14056-TDI/1067). Dissertação ( Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
- 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.
- ARKIN, P. A. The relationship between interannual variability in the 200 mb tropical wind field and Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 110, n. 10, p. 1393-1404, 1982.
- ASHOK, K. S.; BEHERA, S. K.; RAO, S. A.; WENG, H.; YAMAGATA, T. El Niño Modoki and its possible teleconnection. **Journal of Geophysical Research**, v.112, p. C11007, 2007.
- BARROS, V. R.; GRIMM, A. M.; DOYLE, M. E. Relationship between Temperature and Circulation in Southeastern South America and its Influence from El Niño and La Niña Events. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.80, n.1, p.21-32, 2002.
- BAPTISTA, R. L.; BERLATO, M. A. Relações do rendimento de grãos de feijão safra do Estado do Rio Grande do Sul com a precipitação pluvial, a temperatura e o El Niño Oscilação Sul (ENOS). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, n.2, p.307-314, 2004.
- BARBOSA, A.C.B.; BLITZKOW D. **Ondaletas**: histórico e aplicação. São Paulo. 39p. 2008.

BARROS, V.R.; SILVESTRI, G.E. The relation between sea surface temperature at the subtropical south-central Pacific and precipitation in southeastern South America. **Journal of Climate**, v.15, n.3, p.251-267, 2002.

BERLATO, A.M.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003. 110p.

BIDEGAIN, M.; RENON, M. Temperaturas extremas y amplitudes diárias en Uruguay condicionadas segun el fenomeno ENOS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguacu. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2012. 1. CD-ROM.

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.

BUNGE, L. A.; CLARKE J. A verified estimation of the El Niño index NINO3.4 since 1877, **Journal of Climate**, 22, 3979-3992, 2009.

CARDOSO, A. O. **Relações entre a TSM nos oceanos Atlântico e Pacífico e as condições climáticas nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil**. 2005. 158 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CAPISTRANO, V. B. **Precipitação na América do Sul associada às variabilidades de baixa frequência nas TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico**. 169p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

CARVALHO, L. M.; JONES, C. A. A satellite method to identify structural properties of mesoscale convective systems based on maximum spatial correlation tracking technique. **Journal of Applied Meteorology**, v.40, p. 1683-1701, 2001.

CARVALHO, L. M.; JONES, C.; AMBRIZZI, T. Opposite phases of the Antarctic Oscillation and relationships with intraseasonal to interannual activity in the tropics during the austral Summer. **Journal of Climate**, v.18, p. 702-718, 2005

CATALDI, M.; ASSAD, L. P. F.; JUNIOR, A. R. T.; ALVES, J. L. D. Estudo da influência das anomalias da TSM do Atlântico Sul extratropical na região da confluência Brasil Malvinas no regime hidrometeorológico de verão do sul e sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.4, p. 513 - 524, 2010.

CAVALCANTI, I. F. A. ; KOUSKY, V. E. Climatology of South American cold fronts. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 7., Wellington, New Zealand. **Proceedings...** 2003. p. 121-122. Papel. (INPE - 10220 – PRE 57/41). Disponível em: <<http://ams.confex.com/ams/pdfview.cgi?username=59757>> . Acesso em: 21 set. 2012.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V.E. Frentes Frias no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F.(org). **Tempo e Clima no Brasil**, p.135-147, São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CAZES-BOEZIO, G.; ROBERTSON, A. W.; MECHOSO, C.R. Seasonal dependence of ENOS Teleconnections over South America and relationships with precipitation in Uruguay. **Journal of Climate**, v.16, n.8, p.1159-1176, 2003.

CHAVES, R. R.; NOBRE, P. Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. **Geophysical Research Letter**, v.31, n.3, 2004.

CHELTON, D.B.; SCHLAX, M. G.; WITTER, D. L.; RICHMAN, J. G. GEOSAT altimeter observations of the surface circulation of the Southern Ocean. **Journal Geophysical Research**, v.95, p.17877-17903, 1990.

DIAZ, A.F.; STUDZINSKI, C.D.; MECHOSO, R.C. Relationship between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. **Journal of Climate**, v.11, p.251-271, 1998.

DINIZ, G. B.; BERLATO, M. A., CLARKE, R. T., FONTANA, D. C. Identificação de regiões homogêneas de temperaturas máxima e mínima no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.2, p.303-312, 2003.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), **Brasil em Relevo**: Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/rs/index.htm>. Acesso em: 29/10/2012.

FAN, K.,; WANG, H. J. Antarctic Oscillation and the dust weather frequency in North China, **Geophysical Research Letter**, v. 31,L10201,doi:10.1029/2004GL019465, 2005.

FEDOROVA, N.; CARVALHO, M.H. Processos Sinóticos em anos de La Niña e El Niño. Parte II: Zonas Frontais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.15, n.2, p.57-72, 2000.

FIRPO, M. A. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.27, n.1, 287-294, 2012.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Influência do El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre a precipitação do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.127-132, 1997.

GAN, M.A.; RAO, V.B. Surface Cyclogenesis over South America. **Monthly Weather Review**. v.119, n.5, p.1293-1302, 1991

GERSHUNOV, A.; BARNETT, T.P. Interdecadal Oscillation of ENSO teleconnections. **Bulletin of American Meteorology Society**, v.79, p.2715-2725,1998.

GILLET, N. P.; KELL, T. D.; JONES, P. D. Regional climate impacts of the Southern Annular Mode. **Geophysical Research Letters**, v. 33, L23704, 2006.  
doi:10.1029/2006GL027721

GRIMM, A. M. ; FERRAZ, S. E. T. ; GOMES, J. . Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 11, n. 11, p. 2863-2880, 1998.

GRIMM, A. M.; TOGATLIAN, I. M. Relação entre eventos El Niño /La Niña e frequência de extremos frios e quentes de temperatura no Cone Sul da América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2002. 1 CD-ROM.

GRIMM, A. M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, v. 16, n. 1, p. 263-280, 2003

GRIMM, A. M. Clima da Região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F.(org). **Tempo e Clima no Brasil**, p.135-147, São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

GONG, D; WANG, S. Definition of Antarctic Oscillation index. **Geophysical Research Letters**, v.26, p.459-462, 1999.

GOOSSENS C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, v. 4, p.385-400, 1986.

GORDON, A.L. Brazil-Malvinas Confluence – 1984. **Deep Sea Research**, v. 36, n.3A, p. 359-405, 1989.

GUEDES, R. L.; SILVA DIAS, M. A. F. Estudo de tempestades severas associadas com o jato subtropical na América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 3., 1984, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBMet, 1984. p. 289-296.

GUPTA, A. S.; ENGLAND, M. H. Coupled Ocean-Atmosphere-Ice response to variation in the Southern Annular Mode. **Journal of Climate**, v.19, p.4457-4486, 2006.

HALPERT, M. S.; ROPELEWSKI, C.F. Surface temperature patterns associated with the Southern Oscillation. **Journal of Climate**. v.5, p. 577-593, 1992.

HAYLOCK, M. R.; PETERSON, L. M.; ALVES, L.M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIACÃO, M. T.; BAEZ, J. et al. Trends in total and extrem South American rainfall in 1960-2000 and link with sea surface temperture. **Journal of Climate**, v.19, p.1490-1512, 2005.

- HENDON, H. H.; THOMPSON, D. W. J.; WHEELER, M.C. Australian Rainfall and Surface Temperature Variations Associated with the Southern Hemisphere Annular Mode. **Journal of Climate**, v.20, p. 2452-2467. 2006.
- HO, M.; VERDON-KIDD, D. C. The Southern Annular Mode: a comparison of indices. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.16, p.967-982, 2012.
- JOSEPH, R.; NIGAM, S. ENSO evolution and teleconnections in IPCC's twentieth-century climate simulations: realistic representation? **Journal of Climate**, v. 19 p 4360-4377, 2006.
- KALNAY et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.77, n.3, p. 437-471,1996.
- KAPLAN, A.; CANE, M.; KUSHNIR, Y.; CLEMENT, A.; BLUMENTHAL, M.; RAJAGOPALAN, B. Analysis of global sea surface temperature 1856-1991, **Journal of Geophysical Research**, v.103, n.18, p. 567-589, 1998.
- KAROLY, D. J. The role of transient eddies in low-frequency Zonal variations of the Southern Hemisphere circulation. **Tellus**, v. 42A, p. 41–50, 1990.
- 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, p. 531-540, 2007.
- KAYANO, M. T.; SANSIGOLO, C. A. Interannual to decadal variations of precipitation and daily maximum and daily minimum temperatures in southern Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 94, p. 1, 2008.
- KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F. Relations between ENSO and the South Atlantic SST modes and their effects on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, DOI:10.1002/joc.3569, 2012.
- KIDSON, J. W.; WATTERSON, I. G. The structure and predictability of the “high-latitude mode” in the CSIRO general circulation model. **Journal of the Atmospheric Sciences**. v.56, p. 3859-3873, 1999.
- KILADIS, G.N.; DIAZ, H.F. Global climate anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v.2, p. 1069-1090, 1989.
- KILADIS, G.N.; K.MO, Interannual and intraseasonal variability in the Southern Hemisphere. In: KAROLY, D.; VINCENT, D. (ed) **Meteorological Monographs**. American Meteorological Society. v. 27, n. 49, p. 307- 333, 1998.
- KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.3, p.217-231,1988.

LENTINI, C. A. D.; GONI, A. J.; OLSON, D. B. Investigation of Brazil Current rings in the confluence region. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, C06013, 2006.

LOPES, F.; M.A. BERLATO. Relações entre a temperatura da superfície do mar na região do Nino 3.4 e a temperatura média mínima do Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria, RS. **Anais...** Sete Lagoas, MG: SBAGro, 2003. 1 CD-ROM.

LOPES, F. Z.; DINIZ, G. B.; MARQUES, J. R. Relação entre o Multivariate ENSO Index (MEI) e a TSM das Regiões dos Niños com a precipitação em regiões homogêneas do Estado do Rio Grande do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 30, n.2, p.11-22, 2007.

MADDOX, R. A. Mesoscale Convective Complexes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.61, n. 11, p.1374-1387, 1980.

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

MARQUES J. R., **Variabilidade espacial e temporal de precipitação pluvial no Rio Grande do Sul e sua relação com indicadores oceânicos**. 210p. Tese (Doutorado em Agrometeorologia – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia ) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MARQUES, J. R.; GARCIA, M. A. R. Variabilidade da precipitação no Rio Grande do Sul e sua relação com o Índice de Oscilação Antártica. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 16, 2010, Belém, PA. **Anais...** Rio de Janeiro:SBMet, 2010. 1 CD-ROM.

MASON, J.; GODDARD, L. Probabilistic Precipitation Anomalies associated with ENSO. **Bulletin of the American Meteorological Society**.v.82, n.4, 2001.

MÉLICE, J.L.; SERVAIN, J. The tropical Atlantic meridional SST gradient index and its relationships with the SOI, NAO and Southern Ocean. **Climate Dynamics**, v.20, p. 447-464, 2002.

MEZZOMO, D. **Modelos Prognósticos da temperatura mínima média numa região homogênea do Rio Grande do Sul. 2005**. 89p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas, 2005.

MO, K. C.; WHITE, G. H. Teleconnections in the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**, v. 113, p. 22-37, 1985.

MOTA, F. S. Influência dos Fenômenos El Niño e La Niña sobre o rendimento do arroz irrigado na Região de Pelotas (RS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.15, n.2, p.21-24, 2000.

MORAN, J. M.; MORGAN M. D. **Meteorology: the atmosphere and the science of weather**, Ed. 5, New York: Prentice Hall, 1996, 535p.

MÜLLER, G.V. **Variabilidade interanual en la frecuencia de ocurrencia de heladas en la Pampa Húmeda y su relación con la circulación atmosférica asociada**. 2005. Tese (doutorado em Meteorologia) - Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, 2005.

MÜLLER, G. V.; AMBRIZZI, T.; NUÑEZ, M. N. Mean Atmospheric Circulation leading to Generalized Frosts in Central Southern South America. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 82, p. 95-112, 2005.

MÜLLER, G. V.; BERRI, G. J. Atmospheric Circulation Associated with Persistent Generalized Frosts in Central-Southern South America. **Monthly Weather Review**, v. 135, p. 1268-1289, 2007.

NEWMAN, M.; COMPO, G.P.; ALEXANDER, M.A. ENSO forced variability of the Pacific Decadal Oscillation. **Journal of Climate**, v.16, n. 23, p.3853-3857, 2003.

NÍMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE – Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. Ed, 1989, 421p.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOOA). **National weather service jet stream - online school for weather**. Disponível em: <http://www.srh.noaa.gov/jetstream/tropics/enso.html>. Acesso em: 04/04/2012.

OLIVEIRA, C. P. **Influência do Pacífico e Atlântico na variabilidade interanual da precipitação sobre a América do Sul**. 2008. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2008.

ÖNÖZ, B.; BAYAZIT, M. The Power of Statistical Tests for Trend Detection. **Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences**, n.27, p. 247-251, 2003.

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

PEREIRA, C. S.; ESPÍRITO SANTO, C. M.; GIAROLA, EMANUEL. An in situ-based climatology of the sea surface temperature field for the Southwestern Atlantic Ocean and its anomalies in ENSO years. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.3, p. 333-346, 2005.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. Variabilidade de Mesoescala e interação oceano-atmosfera no Atlântico Sudoeste. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F.(org). **Tempo e clima no Brasil**, p.135-147, São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; ACEVEDO, O.; WAINER, I. E. K.; MATA, M. M.; GARCIA, C. A. E.; CAMARGO, R. Multi-year measurements of the Oceanic and Atmospheric Boundary Layers at the Brazil-Malvinas Confluence Region. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, p. D011379, 2009. doi: <[10.1029/2008JD011379](https://doi.org/10.1029/2008JD011379)>.

PHILANDER, S. G. H. El Niño and La Niña. **Journal of Atmospheric Science**, v.42, p. 2652-2662, 1985.

PHILANDER, S. G. H. **El Niño, La Niña, and the southern oscillation**. San Diego: Academic Press, 1990, 293p.

POHL, B.; FAUCHEREAU, N. REASON, C.J.C.; ROUAULT, M. Relationships between the Antarctic Oscillation, the Madden-Julian Oscillation, and ENSO, and consequences for rainfall analysis. **Journal of Climate**, v.23, p. 238-254, 2010.

PUCHALSKI, L.A. **Efeitos associados ao El Niño e La Niña na temperatura média, precipitação pluvial e no déficit hídrico no Estado do Rio Grande do Sul**. 2000.83p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000.

RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of Rainfall over Brazil: Annual Variations and Connections with the Southern Oscillations. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, p. 81-91, 1990.

RAYNER, N. A.; PARKER, D. E.; HORTON, E. B.; FOLLAND, C. K.; ALEXANDER, L. V.; ROWELL, D. P.; KENT, E. C.; KAPLAN, A. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. **J. Geophys. Res.**, v.108, 4407, 2003. doi:10.1029/2002JD002670

REASON, C. J. C.; ROUAULT, M. Links between the Antarctic Oscillation and winter rainfall over western South Africa. **Geophysical Research Letter**, v.32, L07705, doi:10.1029/2005GL022419, 2005.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Relationship between the southern annular mode and southern hemisphere atmospheric systems. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.1, 2009, disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862009000100005>

RENWICK, J.; THOMPSON, D. W. J. The Southern Annular Mode and New Zealand climate. **Water Atmos.**, v.14, p.24-25, 2006.

ROBERTSON, A. W.; MECHOSO, C. R. Interannual and interdecadal variability of the South Atlantic Convergence Zone. **Monthly Weather Review**, v.128, p.2947-2957, 2000.

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



RUSTICUCCI, M.M.; VARGAS, W.M. Interannual variability of temperature spells over Argentina. **Atmosfera**, v.14, p. 75-86, 2001.

SANSIGOLO, A.S; PEREIRA, C.S.; SILVA, I.R. Relações entre as precipitações regionais no Sul do Brasil e as temperaturas da superfície dos oceanos Atlântico e Pacífico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.1, p 5-11, 2004.

SANSIGOLO, C.A.; DINIZ, G.B. E MACHADO J.P. Impacto das fases extremas do ENOS nas temperaturas médias sazonais do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis, SC. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2006. 1 CD-ROM.

SANSIGOLO, C. A, Relações Sazonais entre o Índice de Oscilação Antártica (IOA) e as Temperaturas Máximas e Mínimas e Precipitações no Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém, PA. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2010. 1 CD-ROM.

SANSIGOLO, C. A.; KAYANO, M. T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913-2006 period. **Theoretical and Applied Climatology**, v.101, p. 209-216, 2010.

SEVERO, D. L.; GAN, M.A.; FERREIRA, N. J., 1994: Estudo de um caso de chuvas intensas associado a enchentes na região do Vale do Itajaí, em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., 1994, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1994. 1 CD-ROM.

SEVERO, D. L. **Padrões de circulação anômala associados a episódios úmidos e secos no sul do Brasil**. 2007. 224p. (INPE-15143-TDI/1245). Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mct-m17@80/2007/07.02.18.39>>. Acesso em: 21 set. 2012.

SEVEROV, D.N.; MORDECKI, E.; PSHENNIKOV, V.A. SST anomaly variability in Southwestern Atlantic and El Niño/Southern Oscillation. **Advances in Space Research**, v.33, n.3, p. 343-347, 2004.

SILVA, I.R. Variabilidade sazonal e interanual das precipitações na região sul do Brasil associadas às temperaturas dos Oceanos Atlântico e Pacífico. 2001. 98p. (INPE-11267-TDI/949). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2001. Disponível em:<<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2004/06.02.15.12>>. Acesso em: 21 set. 2012.

SILVESTRI, G. E.; VERA, C.S. Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n.21, 2115, doi:10.1029/2003GL018277, 2003.

SIQUEIRA, A. H. B.; SOUZA, L. O.; VAZ, J. C. M.; MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O.; SALVADOR, M. A.; OLIVEIRA, J. P. P. Impactos do ENOS no Norte e Nordeste brasileiros e sua relação com a Oscilação Decadal do Pacífico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis, SC. **Anais...** Rio de Janeiro, 2010. 1 CD-ROM.

SMITH, T.M., REYNOLDS, R.W., PETERSON, T. C.; LAWRIK, J.. Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880-2006). **Journal of Climate**, v. 21, p. 2283-2296, 2008.

SNEYERS, R. **Sur l' Analyse statistique des séries d' observations**. [S.l.]: Météorologique Mondial, 1975. 192 p. (OMM Note Technique, 143).

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. São Paulo: Mc Graw-Hill, 1985. 454p.

STUDZINSKI, C.D.; DIAZ, A.F. Relação da precipitação no sul do Brasil-Uruguai com a temperatura da superfície do mar (TSM) por correlações canônicas (CCA). In: PESSOA, M.L.; MINE, M.R.M.; LEITE, E.A. (Coord.). **Meteorologia e hidrologia: aspectos e considerações no contexto brasileiro**. Curitiba: Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar), p.191-205, 1994.

TASCETTO, A. S. **O impacto do Atlântico Sul no clima regional**. Tese (Doutorado em Oceanografia Física) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21132/tde-09082006-152644/>>. Acesso em: 2012-01-10.

TASCETTO, A. S.; WAINER, I. The impact of the subtropical South Atlantic SST on South American precipitation. **Annales Geophysicae**, v.26, n.11, p. 3457-3476, 2008.

TEDESCHI, R. G.; CAVALCANTI, I. F. A., GRIMM, A. M. Influences of two types of ENSO on South American Precipitation. **International Journal of Climatology**, DOI:10.1002/joc.3519, 2012.

THOMPSON, D.W.J.; SOLOMON, S. Interpretation of recent Southern Hemisphere climate change, **Science**, v. 296, p.895–899, 2002.

THOMPSON, D.W.J.; WALLACE, M. Annular modes in the Extratropical circulation. PartI: Month-to-month variability. **Journal of Climate**, v.13, p.1000–1016, 2000.

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

TORRENCE, C.; WEBSTER, P. J. Interdecadal changes in the ENSO- monsoon system. **Journal of Climate**, v.12, p. 2679-2690. 1999.

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

UCCELLINI, L. W.; JOHNSON, D. R.. The coupling of upper and lower tropospheric jet streaks and implications for the development of severe convective systems. **Monthly Weather Review**, v.107, n.6, p. 662-703, 1979.

VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F.A. Extreme precipitation over Southeastern Brazil in the austral summer and relations with the Southern Hemisphere annular mode. **Atmospheric Science Letters**, v.11, n.1, p. 21-26, 2010.

VELASCO, I. FRITSCH, M. J. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. **Journal Geophysical Research**, v.92, n.D8, p.9591-9613, 1987.

VENEGAS, A.S.; MYSAK, A.L.; STRAUB, D.N. Evidence for interannual and interdecadal climate variability in the South Atlantic. **Geophysical Research Letters**, v.23, n.19, p.2673-2676, 1996.

VERDON, D.C.; FRANKS, S.W. Long-term behavior of ENSO: Interactions with PDO over the past 400 years inferred from paleoclimatic records. **Geophysical Research Letters**, v. 33, p. L06712 , 2006. DOI 10.1029/2005GL025052.

VERA, C. S.; HAZELEGER, W.; WAINER, I.; SERVAIN, J. Climate variability in the South Atlantic Ocean. In: WORKSHOP SACOS : SOUTH ATLANTIC CLIMATE OBSERVING SYSTEM, 2003, Angra dos Reis. **Electronic Proceedings...** White paper. Disponível em: [http://ioc-goos-oopc.org/meetings/oopc-9/SACOS\\_report.pdf](http://ioc-goos-oopc.org/meetings/oopc-9/SACOS_report.pdf). Acesso em: 30 Oct. 2012.

VIANA, D. R.; AQUINO, F. E.; MUÑOZ, V. A. Avaliação de desastres no Rio Grande do Sul associados a complexos convectivos de mesoescala. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.21, n.2, p. 91-105, 2009.

WALKER, G. T. Correlation in seasonal variations of weather. IX. A further study of world weather. **Memoirs of the Indian Meteorological Department**. v. 24, parte 9, p. 275-332, 1924.

WANG, C. Atmospheric circulation cells associated with the El-Niño/Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v.15, n.4, p.399-419, 2002.

WAINER, I.; VENEGAS, S. A. South Atlântic Multidecadal Variability in the Climate System Model. **Journal of Climate**, v.15, p. 1408-1420, 2002.

WEYKAMP, F. V.; AMBRIZZI, T. The role of the Low-Level Jet East of the Andes in extreme rainfall events over Southern South America. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 8, 2006, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: Amer. Meteor. Soc., 2006, p.1231-1234.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2. Ed. International Geophysics, v. 91. London: Academic Impress, Elsevier, 2006. 627p.

WOLTER, K. The Southern Oscillation in surface circulation and climate over the Tropical Atlantic, Eastern Pacific, and Indian Oceans as captured by cluster analysis. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v.26, p. 540-558, 1987.

XAVIER, T. M. B.; XAVIER, A. F. S. A ODP a Eventos no Atlântico Intertropical e no Nordeste Setentrional do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza, CE. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2004. 1 CD-ROM.

YUE, S.; WANG, C. Y. The Mann-Kendall Test Modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. **Water Resources Management**, v.18, n.3, p. 201-218, 2004.

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

## APÊNDICE A – Ondas de coerência e fase

### A.1 Ondas de coerência e fase entre ENOS e Precipitação no RS

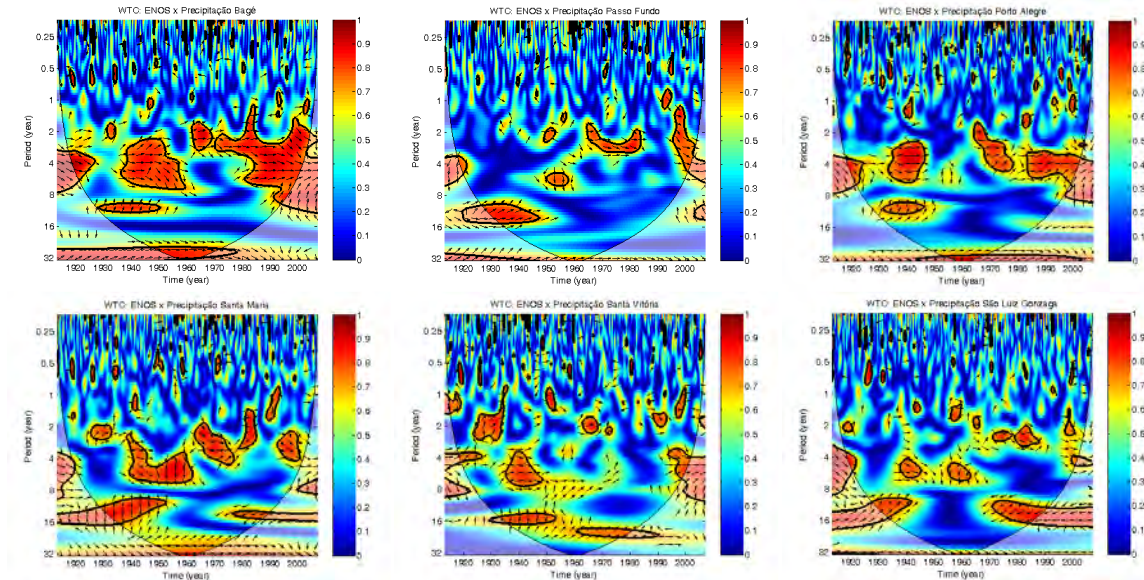


Figura A.1 - Ondas de coerência e fase entre as séries temporais normalizadas da ENOS e das Precipitações no RS de 1913 a 2006. O contorno em preto representa valores significativos a 5% contra o ruído vermelho (coerência). Os vetores representam as fases, e podem estar para a direita (séries em fase), para a esquerda (fora de fase), a 90° para cima (Precipitação precedendo o ENOS), a 90° para baixo (ENOS precedendo a Precipitação).

### A.2 Ondas de coerência e fase entre ATSW e Precipitação no RS

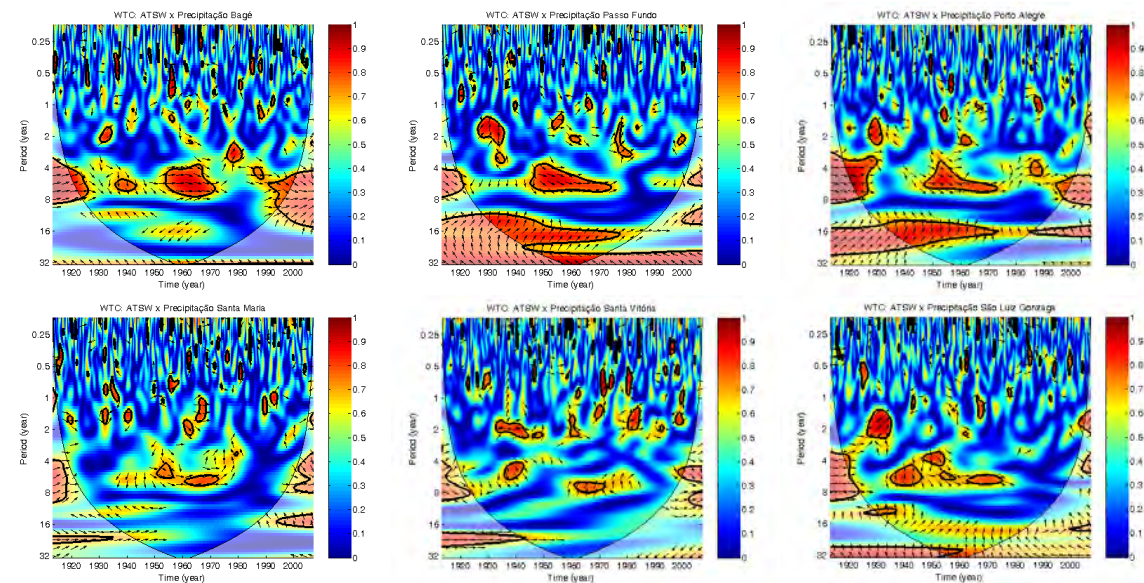


Figura A.2 – Idem à Figura A.1, porém para o ATSW em vez do ENOS.

### A.3 Ondas de coerência e fase entre PS e Precipitação no RS

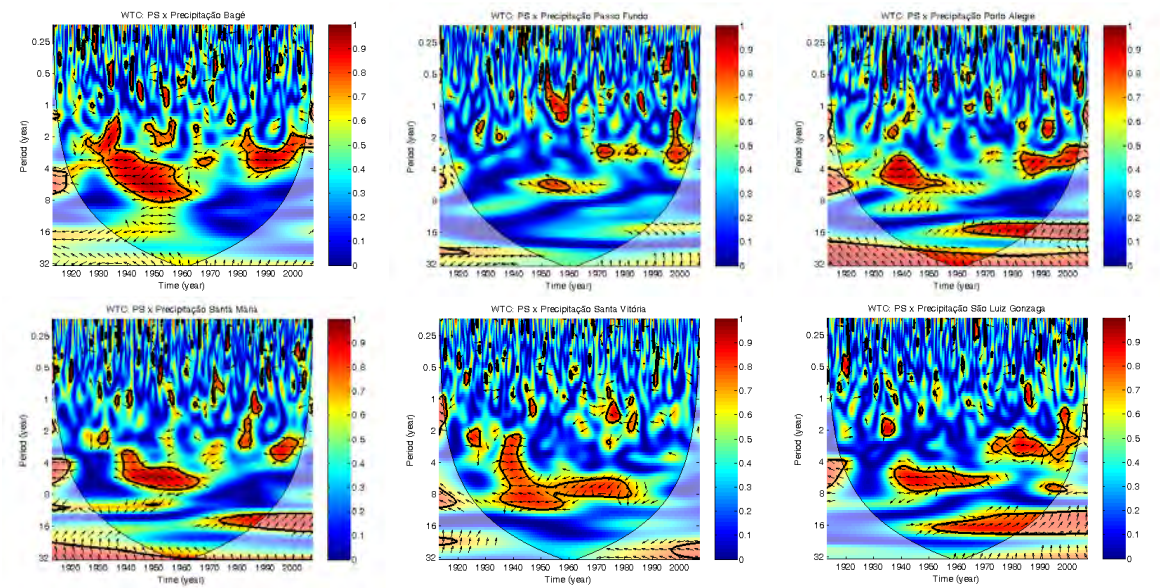


Figura A.3 – Idem à Figura A.1, porém para o PS em vez do ENOS.

### A.4 Ondas de coerência e fase entre OA e Precipitação no RS

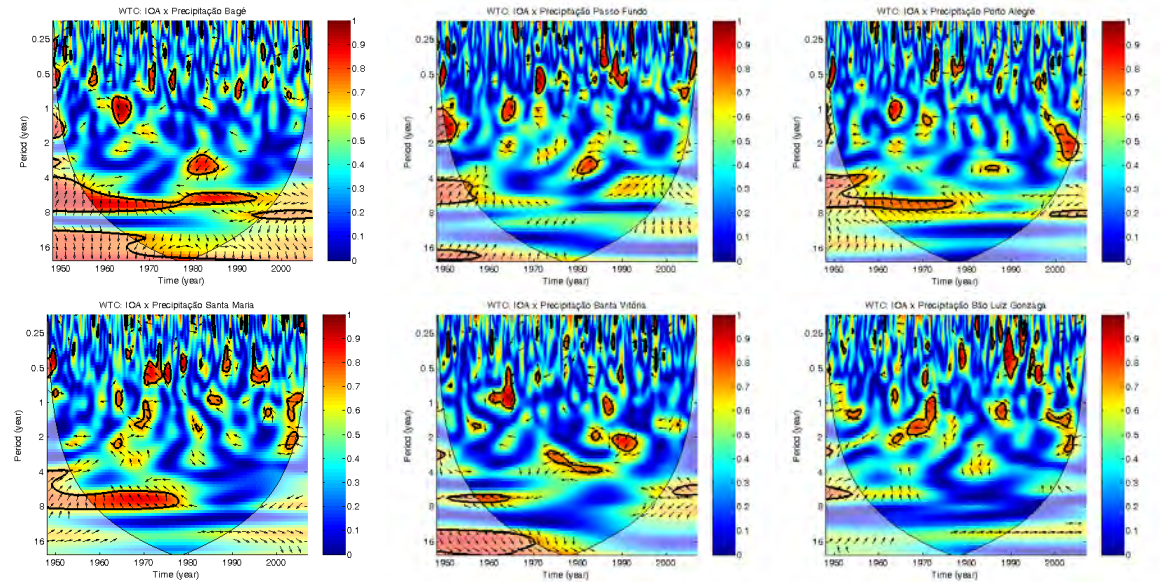


Figura A.4 – Idem à Figura A.1, porém para a OA em vez do ENOS.

## A.5 Ondas de coerência e fase entre ODP e Precipitação no RS

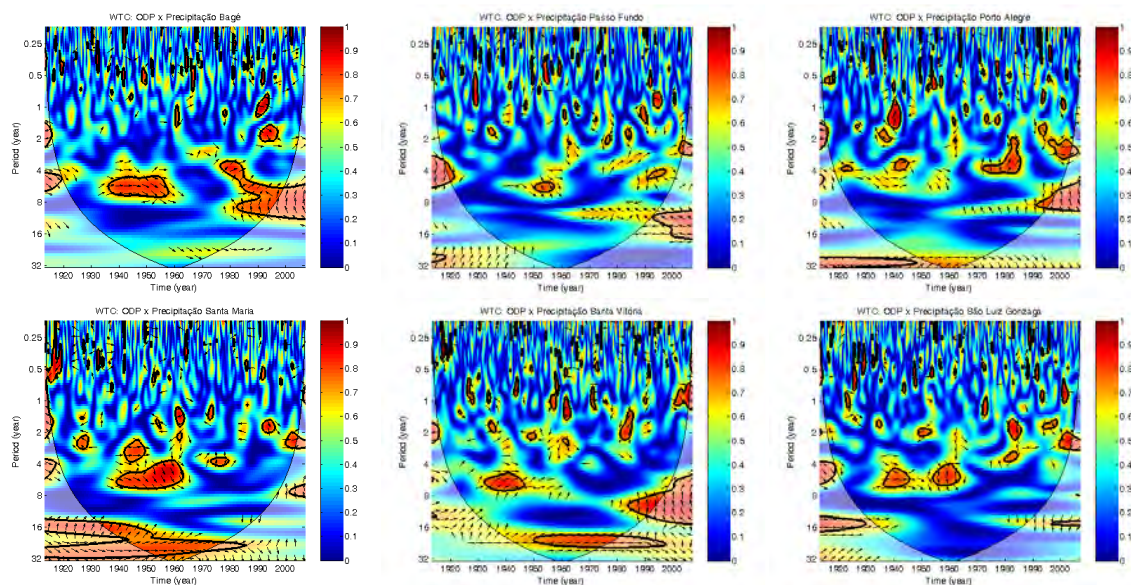


Figura A.5 – Idem à Figura A.1, porém para a ODP em vez do ENOS.

## A.6 Ondas de coerência e fase entre ENOS e Temperaturas Mínimas no RS

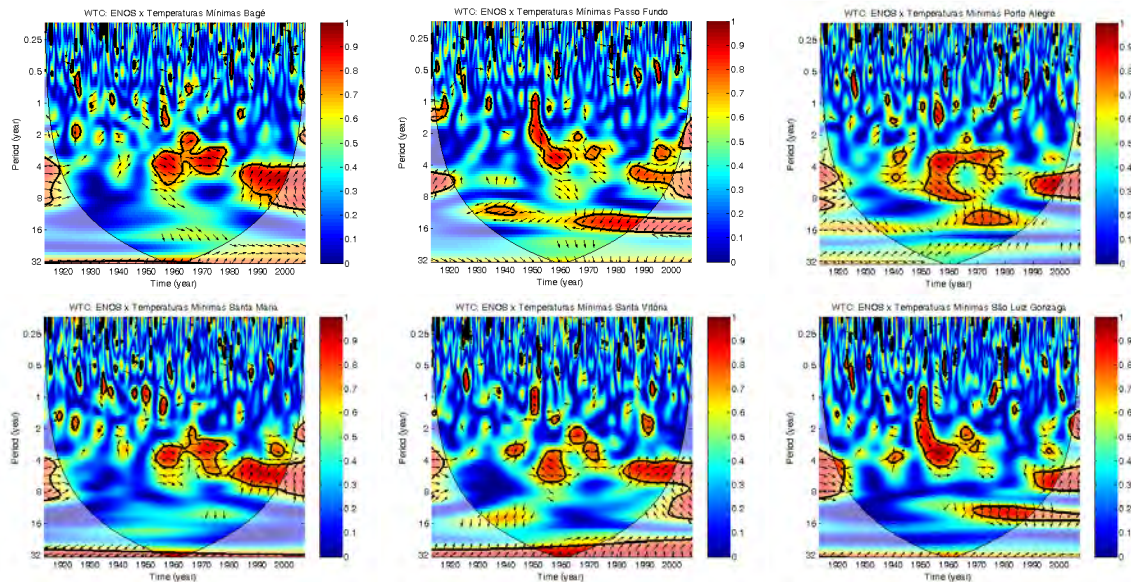


Figura A.6 – Idem à Figura A.1, porém para as Temperaturas Mínimas em vez da Precipitação.

## A.7 Ondaletas coerência e fase entre ATSW e Temperaturas Mínimas no RS

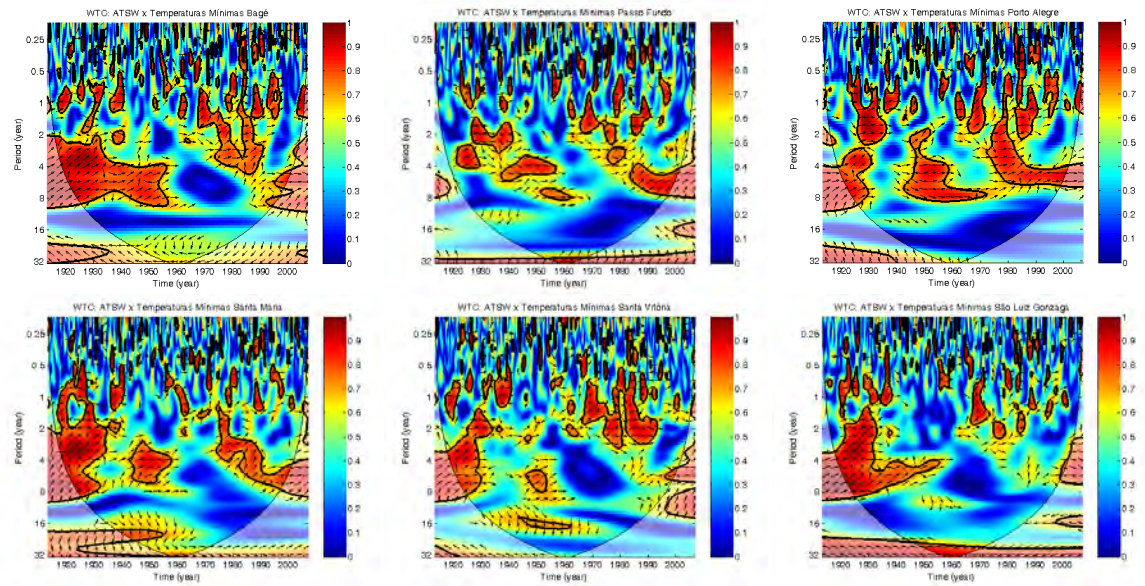


Figura A.7 – Idem à Figura A.6, porém para o ATSW em vez do ENOS.

## A.8 Ondaletas coerência e fase entre PS e Temperaturas Mínimas no RS

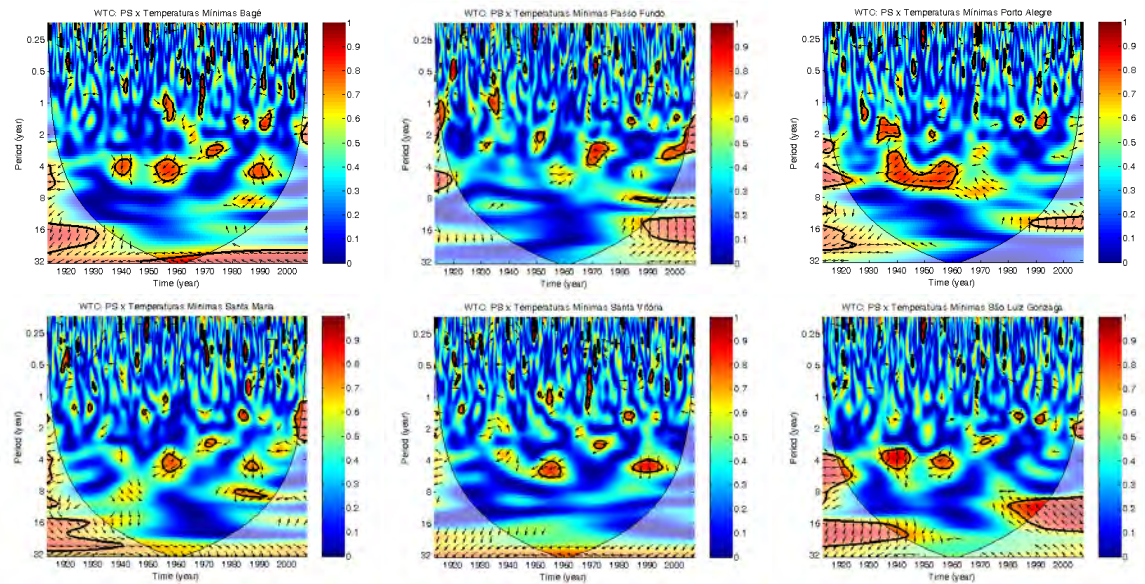


Figura A.8 – Idem à Figura A.6, porém para o PS em vez do ENOS.



## A.9 Ondaletas coerência e fase entre OA e Temperaturas Mínimas no RS

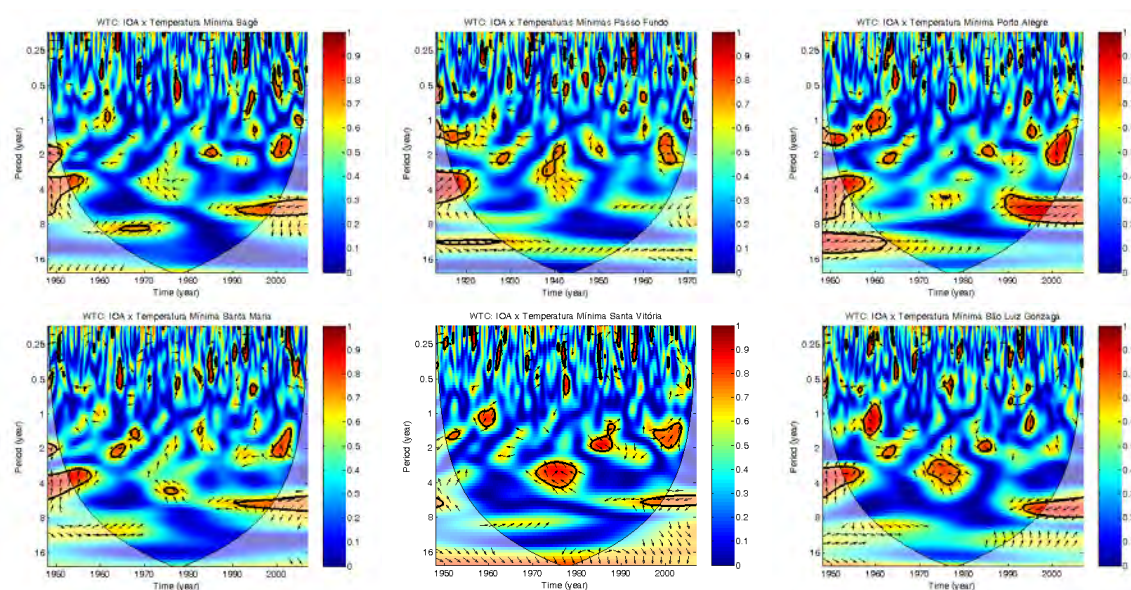


Figura A.9 – Idem à Figura A.6, porém para a OA em vez do ENOS.

## A.10 Ondaletas coerência e fase entre ODP e Temperaturas Mínimas no RS

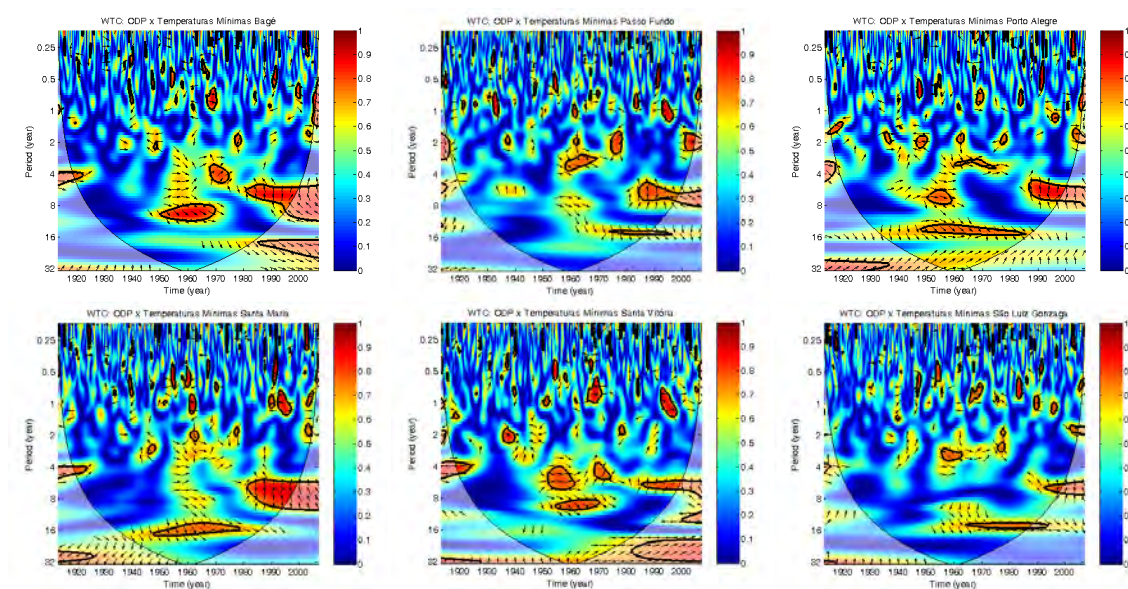


Figura A.10 – Idem à Figura A.6, porém para a ODP em vez do ENOS.

### A.11 Ondaletas coerência e fase entre ENOS e Temperaturas Máximas no RS

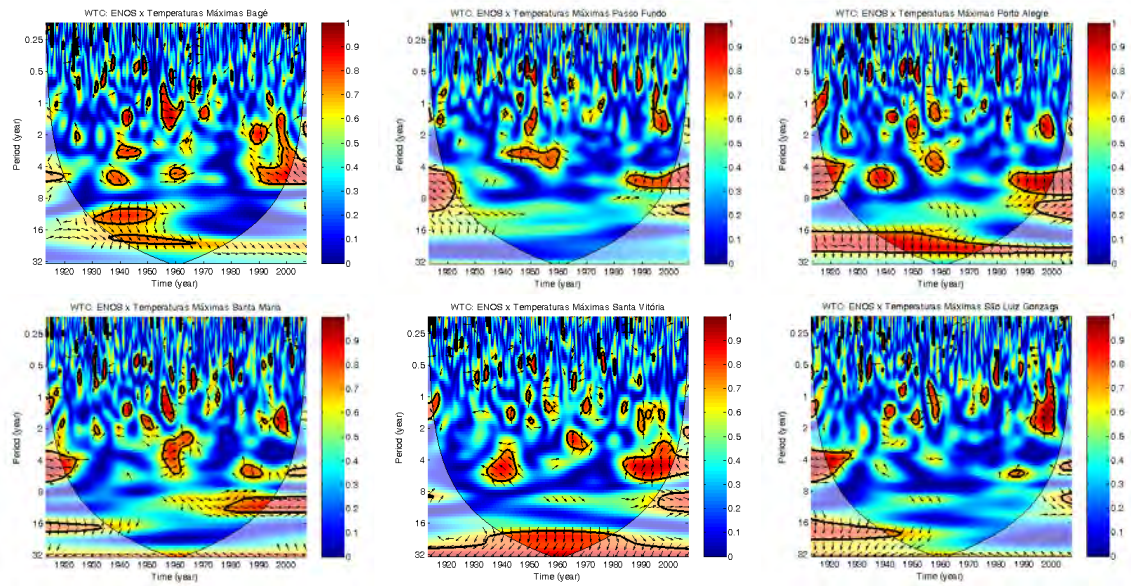


Figura A.11 - Idem à Figura A.1, porém para as Temperaturas Máximas em vez da Precipitação.

### A.12 Ondaletas coerência e fase entre ATSW e Temperaturas Máximas no RS

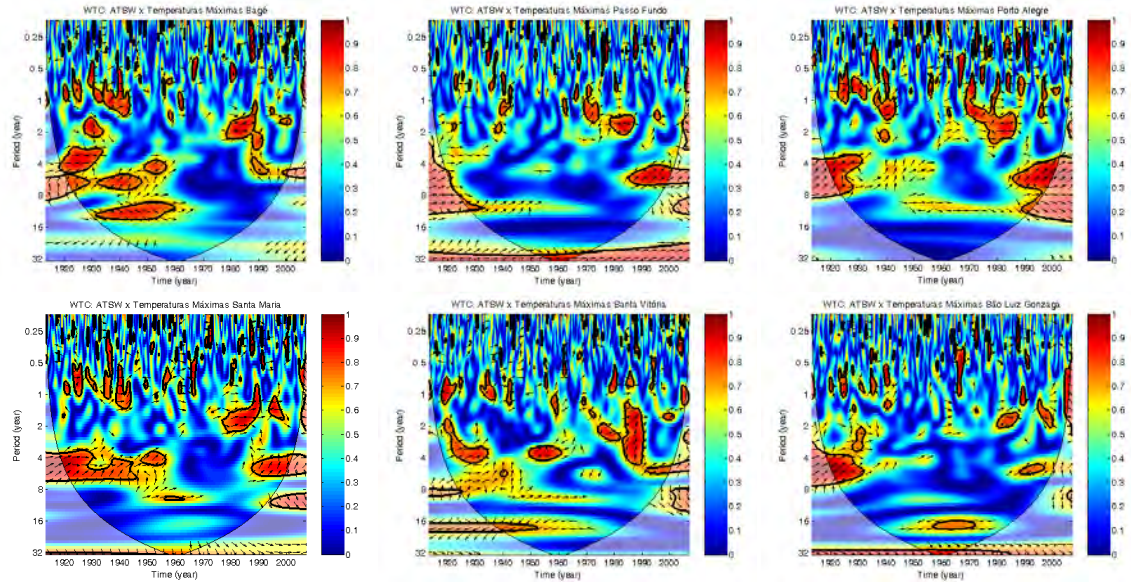


Figura A.12 - Idem à Figura A.11, porém para ATSW em vez do ENOS.

### A.13 Ondaletas coerência e fase entre PS e Temperaturas Máximas no RS

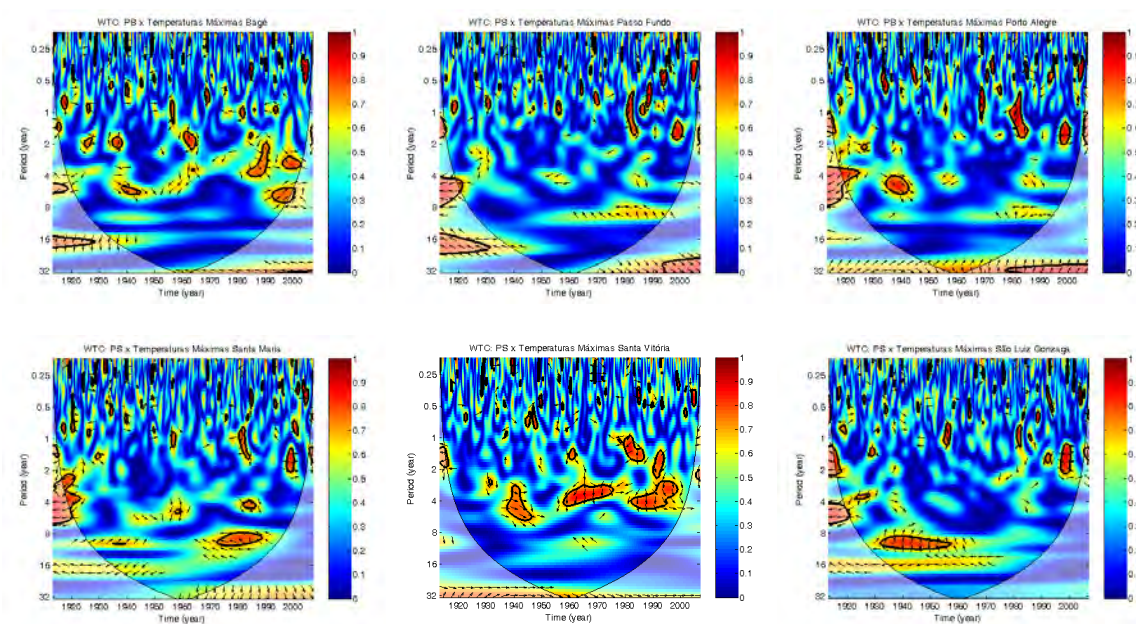


Figura A.13 - Idem à Figura A.11, porém para PS em vez do ENOS.

### A.14 Ondaletas coerência e fase entre OA e Temperaturas Máximas no RS

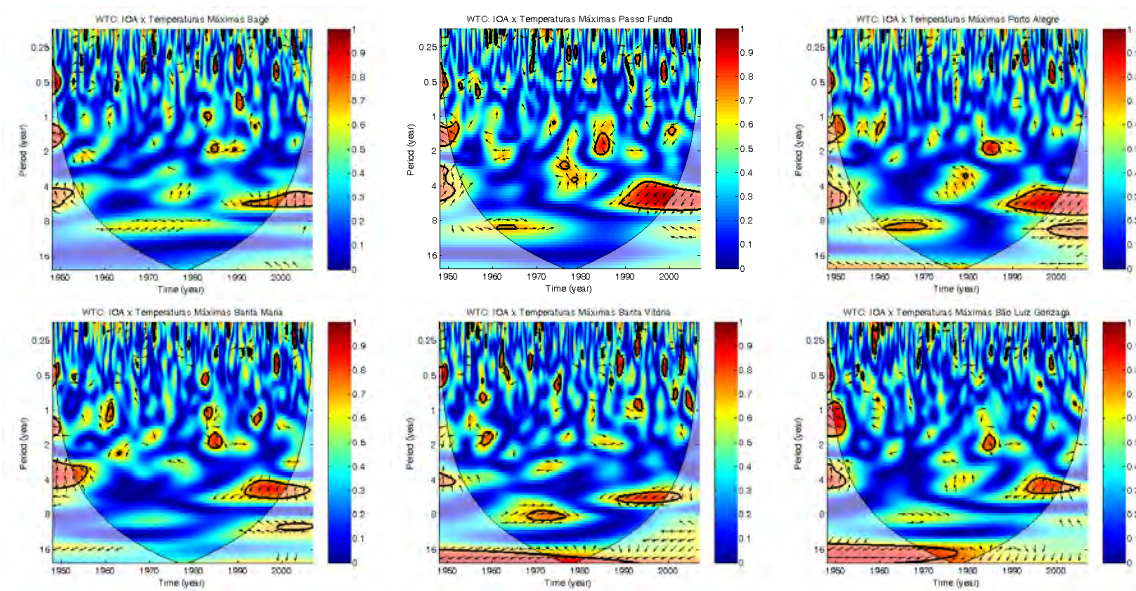


Figura A.14 - Idem à Figura A.11, porém para OA em vez do ENOS.

## A.15 Ondaletas coerência e fase entre ODP e Temperaturas Máximas no RS

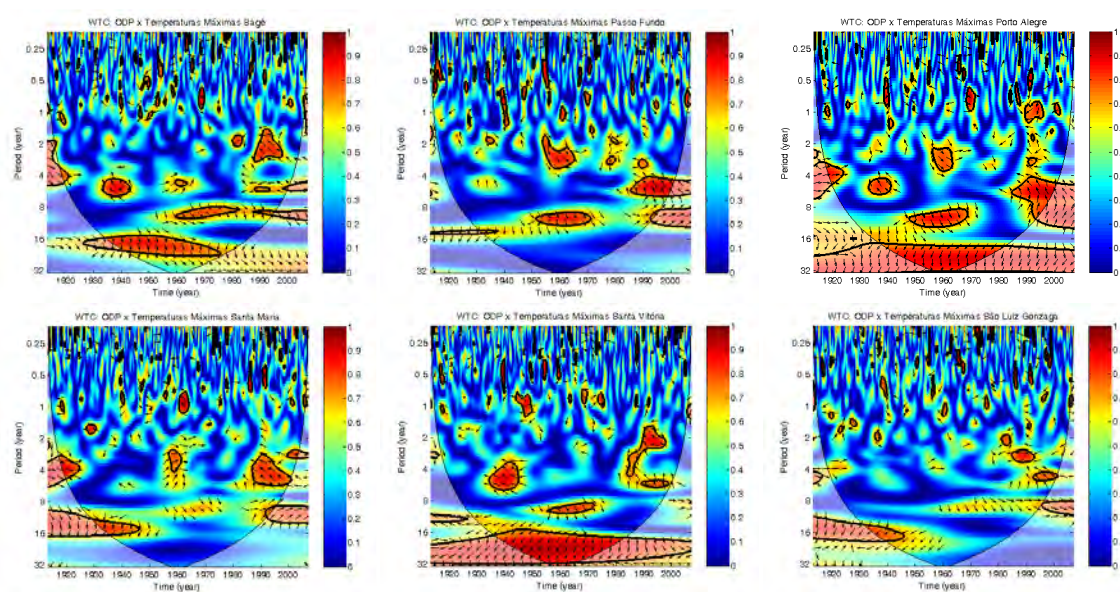


Figura A.15 - Idem à Figura A.11, porém para ODP em vez do ENOS.

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

Teses e Dissertações (TDI)

Manuais Técnicos (MAN)

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

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

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

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.

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)

Publicações Didáticas (PUD)

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

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

Programas de Computador (PDC)

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

São a sequencia 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.