

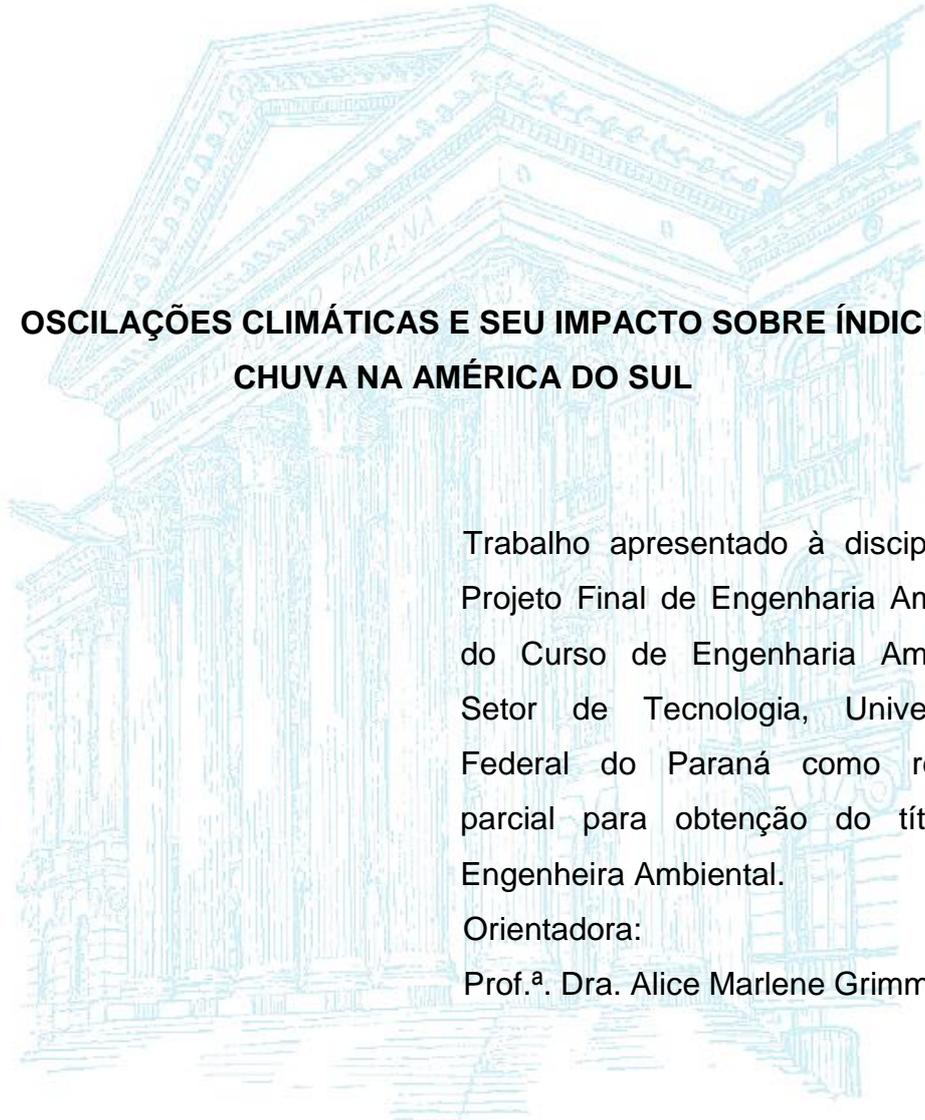
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

NICOLE CRISTINE LAUREANTI

**OSCILAÇÕES CLIMÁTICAS E SEU IMPACTO SOBRE ÍNDICES DE
CHUVA NA AMÉRICA DO SUL**

**CURITIBA
2017**

NICOLE CRISTINE LAUREANTI



**OSCILAÇÕES CLIMÁTICAS E SEU IMPACTO SOBRE ÍNDICES DE
CHUVA NA AMÉRICA DO SUL**

Trabalho apresentado à disciplina de Projeto Final de Engenharia Ambiental do Curso de Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientadora:

Prof.^a. Dra. Alice Marlene Grimm

CURITIBA

2017



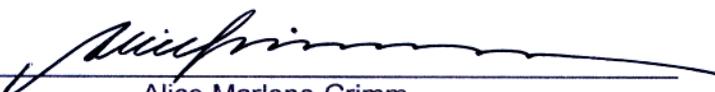
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

NICOLE CRISTINE LAUREANTI

OSCILAÇÕES CLIMÁTICAS E SEU IMPACTO SOBRE ÍNDICES DE CHUVA NA AMÉRICA DO SUL

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 100 pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a): 
Alice Marlene Grimm
Departamento de Física / UFPR

Membro(a) 1: 
Maurício Gobbi
Departamento de Engenharia Ambiental / UFPR

Membro(a) 2: 
Cynara L. da Nóbrega Cunha
Departamento de Engenharia Ambiental / UFPR

Curitiba, 07 de dezembro de 2017.

RESUMO

O conhecimento da influência das oscilações climáticas sobre as características da precipitação diária, incluindo eventos extremos, é importante em vários setores. Pretende-se verificar a influência dos modos de variabilidade de temperatura da superfície do mar (TSM) interdecadais do Atlântico e Pacífico (OMA e OIP) e interanual El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre índices associados à precipitação diária, durante o outono e inverno. A análise compreende a avaliação da diferença, entre fases opostas destas oscilações, dos seguintes índices: precipitação total mensal (PT), número de dias com precipitação (ND), precipitação média por dia de chuva (PM) e número de eventos extremos (EXT). Os modos são obtidos da análise de componentes principais (ACP) de um conjunto de dados de TSM. Com a variação temporal de cada modo, são classificados os anos de fase positiva e negativa. Para os anos de cada fase, são calculadas as composições de anomalias e também o coeficiente de correlação entre a série de CP do modo e o índice de precipitação. Nas regiões mais afetadas por certo modo, é avaliada a diferença entre fases opostas da distribuição de frequência dos índices de chuva, a partir dos testes de Kolmogorov-Smirnov e de Mann-Whitney U. Nos resultados, todos os modos geram anomalias (positivas ou negativas) sobre a PT, com significância verificada pelos testes. Tais anomalias recebem diferentes contribuições das anomalias de ND e de PM, variando de acordo com a região ou modo. No geral, os testes demonstraram diferenças significativas entre fases opostas de ENOS e para os modos interdecadais, com menor significância no segundo caso.

Palavras-chave: Oscilações climáticas; características da precipitação; América do Sul.

ABSTRACT

Knowledge of the influence of climate oscillations on the characteristics of daily precipitation, including extreme events, is important for several sectors. The aim of this study is to verify the influence of the modes of interdecadal variability of sea surface temperature (SST) of the Atlantic and Pacific (AMO and IPO) and interannual variability El Niño-Southern Oscillation (ENSO) on indices based on daily precipitation during autumn and winter. The analysis comprises the evaluation of the difference between the opposite phases of these oscillations for the indices: monthly total precipitation (PT), number of days with precipitation (ND), average precipitation per day of precipitation (PM), number of extreme events (EXT). Variability modes are obtained from the principal component analysis (PCA) of a SST set. From the time variation of each mode, the positive and negative phase years are classified and, for the years of each phase, the composites of anomalies are calculated and also the correlation coefficients between the PC series of the modes and the precipitation indices. In the most affected regions, the difference between the opposite phases of the daily rainfall indices probability density functions is assessed with the Kolmogorov-Smirnov and Mann-Whitney U tests. In the results, all the oscillations produced anomalies (positive or negative) in the PT, with significance verified by the tests. These anomalies have different contributions of ND and PM anomalies, for each oscillation in certain regions. The tests demonstrated significant differences in opposite phases of ENOS and for the interdecadal oscillations, with less significance in the second case.

Key words: Climate oscillation; precipitation characteristics; South America.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclos anuais de precipitação em áreas de 2.5°x2.5° latitude-longitude, calculados com no mínimo 25 anos de dados no período 1950-2005.....	15
Figura 2 – Anomalias de TSM associadas com a fase positiva de ENOS (El Niño).	20
Figura 3 – Circulação convectiva sobre o Oceano Pacífico Equatorial em anos neutros (a esquerda) e em anos com evento El Niño (direita).	21
Figura 4 – Caracterização das regiões do Equador com referência de ENOS.	23
Figura 5 – Anomalias de TSM no Pacífico Norte, nas fases positiva e negativa da ODP.....	24
Figura 6 – Anomalias de TSM no Atlântico Norte, na fase positiva de OMA.	25
Figura 7 – Série de componentes principais do primeiro modo de TSM anual, antes (a) e depois (b) da aplicação do filtro de Gauss aos dados. As oscilações de frequência maior são suprimidas e a curva é suavizada.	30
Figura 8 – Exemplo do primeiro modo de variabilidade de TSM obtido na ACP, FL e FS. A variância explicada é de 14,464%.	33
Figura 9 – Distribuição gama da precipitação ajustada para o dia 1º de janeiro. O limiar de precipitação extrema usado é o valor acima do qual há 10% de probabilidade de ocorrência.	36
Figura 10 – (a) Campo de TSM em determinado período e (b) sua respectiva anomalia.....	37
Figura 11 – Composição de anomalias de ND em anos de fase positiva (à esquerda), negativa (centro) e a diferença entre as duas (à direita) para o 1º modo da ACP de TSM com variabilidade interanual do outono.....	38
Figura 12 – Distribuição t de Student.	40
Figura 13 – Diferença entre as composições de anomalias de PT para fases opostas de ENOS (1º modo da ACP de TSM variabilidade interanual do outono). As manchas representam os níveis de confiança, especificados na barra de cores, e as isolinhas representam as anomalias, cujo intervalo é de 30 mm. As regiões com potencial de análise de mudança de distribuição da precipitação diária estão destacadas com linhas verdes. Outono.....	42
Figura 14 – Demonstração da aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov.....	46
Figura 15 – Resumo da metodologia a ser aplicada com o conjunto de dados.	49
Figura 16 – 1º modo interanual de variabilidade da TSM no outono, caracterizando a oscilação ENOS. Factor loadings (FL) à esquerda e factor scores (FS) à direita. – Outono ENOS. 52	52
Figura 17 – Composição de anomalias de PT, ND, PM e EXT (de cima para baixo) para EN (esquerda) e LN (direita). As manchas representam os níveis de confiança, especificados na barra de cores, e as isolinhas representam as anomalias, cujo intervalo é de 30 mm (PT), 2 dias (ND), 1 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Outono ENOS.	55
Figura 18 – Correlação entre o modo ENOS e PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d). As manchas representam o nível de confiança e as isolinhas e números os valores de correlação. – Outono ENOS.	56
Figura 19 – Diferença entre composição de anomalias de EN e LN para PT (a), ND (b), PM (c), e EXT (d). As manchas representam a significância, conforme barra de cores, e o intervalo entre isolinhas é de 30 mm (PT), 2 dias (ND), 1 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Outono ENOS. As quadrículas escolhidas se encontram na região assinalada em verde.	58
Figura 20 – Funções densidade de probabilidade de PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d) para EN (vermelho) e LN (azul). – Outono ENOS: Sul. Cada linha representa uma quadrícula e as linhas grossas as médias das quadrículas.....	60
Figura 21 – Funções densidade de probabilidade de PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d) para EN (vermelho) e LN (azul). – Outono ENOS: Nordeste. Cada linha representa uma quadrícula e as linhas grossas as médias das quadrículas.....	62

Figura 22 – Logaritmo da razão f_{pos}/f_{neu} (em vermelho) e f_{neg}/f_{neu} (azul) para cada intervalo de precipitação diária. De cima para baixo: distribuição empírica, Gama e exponencial. – Outono ENOS: Sul.....	64
Figura 23 – Logaritmo da razão f_{pos}/f_{neu} (em vermelho) e f_{neg}/f_{neu} (azul) para cada intervalo de precipitação diária. De cima para baixo: distribuição empírica, Gama e exponencial. – Outono ENOS: Nordeste.	65
Figura 24 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov. Comparação entre as funções de distribuições acumuladas (FDA): Gama (em cinza), Exponencial (preta) e, em linhas pontilhadas estão os limites do intervalo de 95% de confiança para a verdadeira FDA da qual os dados foram retirados. - Outono ENOS: Sul.	66
Figura 25 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov. Comparação entre as funções de distribuições acumuladas (FDA): Gama (em cinza), Exponencial (preta) e, em linhas pontilhadas estão os limites do intervalo de 95% de confiança para a verdadeira FDA da qual os dados foram retirados. - Outono ENOS: Nordeste.	67
Figura 26 – 1º modo interanual de variabilidade da TSM no inverno, caracterizando a oscilação ENOS. Factor loadings (FL) à esquerda e factor scores (FS) à direita. – Inverno ENOS. 68	
Figura 27 – Composição de anomalias de PT, ND, PM e EXT (de cima para baixo) para EN (esquerda) e LN (direita). As manchas representam os níveis de confiança, especificados na barra de cores, e as isolinhas representam as anomalias, cujo intervalo é de 10 mm (PT), 1 dia (ND), 1 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Inverno ENOS.....	71
Figura 28 – Correlação entre o modo OIP e a PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d). As manchas representam o nível de confiança e as isolinhas e números os valores de correlação. – Inverno ENOS.....	72
Figura 29 – Diferença entre composição de anomalias de EN e LN para PT (a), ND (b), PM (c), e EXT (d). As manchas representam a significância, conforme barra de cores e o intervalo entre isolinhas é de 10 mm (PT), 1 dia (ND) e 1 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Inverno ENOS. As quadrículas escolhidas se encontram na região assinalada em verde.	74
Figura 30 – Funções densidade de probabilidade de PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d) para EN (vermelho) e LN (azul). – Inverno ENOS: Sul. Cada linha representa uma quadrícula e as linhas grossas as médias das quadrículas.....	76
Figura 31 – Funções densidade de probabilidade de PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d) para EN (vermelho) e LN (azul). – Inverno ENOS: Nordeste. Cada linha representa uma quadrícula e as linhas grossas as médias das quadrículas.....	78
Figura 32 – Logaritmo da razão f_{pos}/f_{neu} (em vermelho) e f_{neg}/f_{neu} (azul) para cada intervalo de precipitação diária. De cima para baixo: distribuição empírica, Gama e exponencial. – Inverno ENOS: Sul.	80
Figura 33 – Logaritmo da razão f_{pos}/f_{neu} (em vermelho) e f_{neg}/f_{neu} (azul) para cada intervalo de precipitação diária. De cima para baixo: distribuição empírica, Gama e exponencial. – Inverno ENOS: Nordeste.	81
Figura 34 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov. Comparação entre as funções de distribuições acumuladas (FDA): Gama (em cinza), Exponencial (preta) e, em linhas pontilhadas estão os limites do intervalo de 95% de confiança para a verdadeira FDA da qual os dados foram retirados. - Inverno ENOS: Sul	82
Figura 35 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov. Comparação entre as funções de distribuições acumuladas (FDA): Gama (em cinza), Exponencial (preta) e, em linhas pontilhadas estão os limites do intervalo de 95% de confiança para a verdadeira FDA da qual os dados foram retirados. - Inverno ENOS: Nordeste.....	83
Figura 36 – 2º modo interdecadal de variabilidade da TSM, caracterizando a OIP. FL à esquerda e FS à direita. – Outono OIP.	85
Figura 37 – Composição de anomalias de PT, ND, PM e EXT (de cima para baixo) para OIP (+) (esquerda) e OIP (-) (direita). As manchas representam os níveis de confiança, especificados na barra de cores, e as isolinhas representam as anomalias, cujo intervalo é de 7 mm (PT), 1 dia (ND), 1 mm (PM) e 0,5 eventos (EXT). – Outono OIP.....	88

Figura 38 – Correlação entre o modo OIP com a PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d). As manchas representam o nível de confiança e as isolinhas e números os valores de correlação. – Outono OIP.	89
Figura 39 – Diferença entre composição de anomalias de OIP (+) e OIP (-) para PT (a), ND (b), PM (c), e EXT (d). As manchas representam a significância, conforme barra de cores e o intervalo entre isolinhas é de 7 mm (PT), 1 dia (ND), 1 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Outono OIP. As quadrículas escolhidas se encontram na região assinalada em verde. ..	91
Figura 40 – Funções densidade de probabilidade de PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d) para OIP (+) (vermelho) e OIP (-) (azul). – Outono OIP. Cada linha representa uma quadrícula e as linhas grossas as médias das quadrículas.	93
Figura 41 – Logaritmo da razão f_{pos}/f_{neu} (em vermelho) e f_{neg}/f_{neu} (azul) para cada intervalo de precipitação diária. De cima para baixo: distribuição empírica, Gama e exponencial. – Outono OIP.	95
Figura 42 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov. Comparação entre as funções de distribuições acumuladas (FDA): Gama (em cinza), Exponencial (preta) e, em linhas pontilhadas estão os limites do intervalo de 95% de confiança para a verdadeira FDA da qual os dados foram retirados. – Outono OIP.	96
Figura 43 – 2º modo interdecadal de variabilidade da TSM no inverno, caracterizando a oscilação OIP. Factor loadings (FL) à esquerda e factor scores (FS) à direita. – Inverno OIP.	97
Figura 44 – Composição de anomalias de PT, ND, PM e EXT (de cima para baixo) para OIP (+) (esquerda) e OIP (-) (direita). As manchas representam os níveis de confiança, especificados na barra de cores, e as isolinhas representam as anomalias, cujo intervalo é de 10 mm (PT), 1 dia (ND), 0,5 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Inverno OIP.	100
Figura 45 – Correlação entre o modo OIP e a PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d). As manchas representam o nível de confiança e as isolinhas e números os valores de correlação. – Inverno OIP.	101
Figura 46 – Diferença entre composição de anomalias de OIP (+) e OIP (-) para PT (a), ND (b), PM (c), e EXT (d). As manchas representam a significância, conforme barra de cores e o intervalo entre isolinhas é de 10 mm (PT), 1 dia (ND), 1 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Inverno OIP. As quadrículas escolhidas se encontram na região assinalada em verde.	102
Figura 47 – Funções densidade de probabilidade de PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d) para OIP (+) (vermelho) e OIP (-) (azul). – Inverno OIP.	104
Figura 48 – Logaritmo da razão f_{pos}/f_{neu} (em vermelho) e f_{neg}/f_{neu} (azul) para cada intervalo de precipitação diária. De cima para baixo: distribuição empírica, Gama e exponencial. – Inverno OIP.	106
Figura 49 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov. Comparação entre as funções de distribuições acumuladas (FDA): Gama (em cinza), Exponencial (preta) e, em linhas pontilhadas estão os limites do intervalo de 95% de confiança para a verdadeira FDA da qual os dados foram retirados. – Inverno OIP.	107
Figura 50 – 3º modo interdecadal de variabilidade da TSM no Outono, caracterizando a OMA. Factor loadings (FL) à esquerda e factor scores (FS) à direita. – Outono OMA.	109
Figura 51 – Composição de anomalias de PT, ND, PM e EXT (de cima para baixo) para OMA (+) (esquerda) e OMA (-) (direita). As manchas representam os níveis de confiança, especificados na barra de cores, e as isolinhas representam as anomalias, cujo intervalo é de 7 mm (PT), 1 dia (ND), 0,5 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Outono OMA.	112
Figura 52 – Correlação entre o modo OMA e a PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d). As manchas representam o nível de confiança e as isolinhas e números os valores de correlação. – Outono OMA.	113
Figura 53 – Diferença entre composição de anomalias de OMA (+) e OMA (-) para PT (a), ND (b), PM (c), e EXT (d). As manchas representam a significância, conforme barra de cores e o intervalo entre isolinhas é de 30 mm (PT), 1 dia (ND), 3 mm (PM) e 1 evento (EXT) – Outono OMA.	114

Figura 54 – 3º modo interdecadal de variabilidade da TSM no Inverno, caracterizando a oscilação OMA. Factor loadings (FL) à esquerda e factor scores (FS) à direita. – Inverno.	116
Figura 55 – Composição de anomalias de PT, ND, PM e EXT (de cima para baixo) para OMA (+) (esquerda) e OMA (-) (direita). As manchas representam os níveis de confiança, especificados na barra de cores, e as isolinhas representam as anomalias, cujo intervalo é de 5 mm (PT), 1 dia (ND), 1 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Inverno OMA.....	119
Figura 56 – Correlação entre o modo OMA e a PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d). As manchas representam o nível de confiança e as isolinhas e números os valores de correlação. – Inverno OMA.....	120
Figura 57 – Diferença entre composição de anomalias de OMA (+) e OMA (-) para PT (a), ND (b), PM (c), e EXT (d). As manchas representam a significância, conforme barra de cores e o intervalo entre isolinhas é de 5 mm (PT), 1 dia (ND), 1 mm (PM) e 1 evento (EXT) – Inverno OMA. As quadrículas selecionadas são destacadas em verde.	121
Figura 58 – Funções densidade de probabilidade de PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d) para OMA (+) (vermelho) e OMA (-) (azul). – Inverno OMA.	123
Figura 59 – Logaritmo da razão f_{pos}/f_{neu} (em vermelho) e f_{neg}/f_{neu} (azul) para cada intervalo de precipitação diária. De cima para baixo: distribuição empírica, Gama e exponencial. – Inverno OMA.....	125
Figura 60 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov. Comparação entre as funções de distribuições acumuladas (FDA): Gama (em cinza), Exponencial (preta) e, em linhas pontilhadas estão os limites do intervalo de 95% de confiança para a verdadeira FDA da qual os dados foram retirados. – Inverno OMA.....	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores dos pesos do Filtro Gaussiano.	31
Tabela 2 – Frequência (porcentagem) de quadrículas nas quais há diferença entre a fase positiva e negativa de cada índice, de acordo com os níveis de confiança dos testes KS e MWU. – Outono ENOS: Sul. Valores sublinhados contemplam mais de 50% das quadrículas.	59
Tabela 3 – Frequência (porcentagem) de quadrículas nas quais há diferença entre a fase positiva e negativa de cada índice, de acordo com os níveis de confiança dos testes KS e MWU. – Outono ENOS: Nordeste. Valores sublinhados contemplam mais de 50% das quadrículas.	61
Tabela 4 – Frequência (porcentagem) de quadrículas nas quais há diferença entre a fase positiva e negativa de cada índice, de acordo com os níveis de confiança dos testes KS e MWU. – Inverno ENOS: Sul. Valores sublinhados contemplam mais de 50% das quadrículas.	75
Tabela 5 – Frequência (porcentagem) de quadrículas nas quais há diferença entre a fase positiva e negativa de cada índice, de acordo com os níveis de confiança dos testes KS e MWU. – Inverno ENOS: Nordeste. Valores sublinhados contemplam mais de 50% das quadrículas.	77
Tabela 6 – Frequência (porcentagem) de quadrículas nas quais há diferença entre a fase positiva e negativa de cada índice, de acordo com os níveis de confiança dos testes KS e MWU. – Outono OIP. Valores sublinhados contemplam mais de 50% das quadrículas. ...	92
Tabela 7 – Frequência (porcentagem) de quadrículas nas quais há diferença entre a fase positiva e negativa de cada índice, de acordo com os níveis de confiança dos testes KS e MWU. – Inverno OIP. Valores sublinhados contemplam mais de 50% das quadrículas.	103
Tabela 8 – Frequência (porcentagem) de quadrículas nas quais há diferença entre a fase positiva e negativa de cada índice, de acordo com os níveis de confiança dos testes KS e MWU. – Inverno OMA. Valores sublinhados contemplam mais de 50% das quadrículas.	122

LISTA DE ABREVIATURAS

ACP	Análise de Componentes Principais
AMO	<i>Atlantic Multidecadal Oscillation</i>
ANA	Agência Nacional das Águas
EN	El Niño – Fase positiva de ENOS
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
EXT	Número de eventos extremos
FDA	Função Densidade de Probabilidade Acumulada
FDP	Função Densidade de Probabilidade
HN	Hemisfério Norte
HS	Hemisfério Sul
IOS	Índice de Oscilação Sul
IPO	<i>Interdecadal Pacific Oscillation</i>
KS	Kolmogorov-Smirnov
LN	La Niña – Fase negativa de ENOS
MWU	Mann-Whitney U
ND	Número de dias com precipitação maior que 1 mm.
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
OIP (-)	Fase negativa - Oscilação Interdecadal do Pacífico
OIP (+)	Fase positiva - Oscilação Interdecadal do Pacífico
OIP	Oscilação Interdecadal do Pacífico
OMA (-)	Fase negativa - Oscilação Multidecadal do Atlântico
OMA (+)	Fase positiva - Oscilação Multidecadal do Atlântico
OMA	Oscilação Multidecadal do Atlântico
PM	Precipitação média mensal
PT	Precipitação total sazonal
RT	Rotacionado
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UR	Não Rotacionado
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

α_g	parâmetro da distribuição Gama – <i>shape parameter</i>
μ	parâmetro da distribuição Exponencial
β_g	parâmetro da distribuição Gama – <i>inverse escaled parameter</i>
D	parâmetro da distribuição Gama
r	coeficiente de correlação
α	nível de significância
ρ	coeficiente de correlação de pearson

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. OBJETIVOS GERAIS.....	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1. OSCILAÇÕES CLIMÁTICAS	17
3.1.1. EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL – ENOS	19
3.1.2. OSCILAÇÃO INTERDECADAL DO PACÍFICO – OIP	23
3.1.3. OSCILAÇÃO MULTIDECADAL DO ATLÂNTICO – OMA	24
3.2. OSCILAÇÕES CLIMÁTICAS E CARACTERÍSTICAS DE CHUVA DIÁRIA.....	25
4. DADOS E METODOLOGIA	28
4.1. CONJUNTO DE DADOS.....	28
4.2. DETERMINAÇÃO DOS MODOS CLIMÁTICOS	29
4.2.1. FILTRO GAUSSIANO	29
4.2.2. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS – ACP	31
4.3. OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE PRECIPITAÇÃO	33
4.3.1. PRECIPITAÇÃO TOTAL MENSAL – PT	34
4.3.2. NÚMERO DE DIAS COM PRECIPITAÇÃO – ND.....	34
4.3.3. PRECIPITAÇÃO MÉDIA POR DIA DE CHUVA – PM	34
4.3.4. NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS – EXT	35
4.4. ANÁLISES SAZONAIS.....	36
4.4.1. COMPOSIÇÃO DE ANOMALIAS	36
4.4.2. CORRELAÇÃO.....	38
4.4.3. TESTES DE SIGNIFICÂNCIA – T DE STUDENT.....	39
4.5. ANÁLISE DAS DISTRIBUIÇÕES DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA	41
4.5.1. DISTRIBUIÇÕES DE PRECIPITAÇÃO – TEÓRICA E EMPÍRICA.....	42
4.5.2. TESTE DE ADERÊNCIA - KOLMOGOROV-SMIRNOV	45
4.5.3. TESTE DE DIFERENÇA ENTRE DISTRIBUIÇÕES.....	46
4.6. QUADRO-RESUMO DA METODOLOGIA	48
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1. EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL.....	51
5.1.1. OUTONO	51
5.1.2. INVERNO.....	67
5.2. OSCILAÇÃO INTERDECADAL DO PACÍFICO	84
5.2.1. OUTONO	84
5.2.2. INVERNO.....	96
5.3. OSCILAÇÃO MULTIDECADAL DO ATLÂNTICO	108
5.3.1. OUTONO	108
5.3.2. INVERNO.....	115
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	127
REFERÊNCIAS.....	131
ANEXO A – TABELA PARA O CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO T DE STUDENT.	134

1. INTRODUÇÃO

O campo de mudanças e variações climáticas no Brasil ainda tem poucos estudos, apesar de serem cada vez mais necessários, devido aos importantes impactos sociais e em diferentes setores da economia. Variações climáticas são responsáveis por longos períodos de seca ou de precipitação aumentada, além de alterações na frequência e intensidade de eventos meteorológicos extremos. O entendimento do assunto e suas aplicações na previsão são importantes, por exemplo, para o planejamento no gerenciamento de recursos hídricos, na defesa civil e na agricultura.

O Brasil, além de ter grande potencial de aproveitamento hidrelétrico e se destacar pela agricultura, um dos pilares da economia nacional, tem preocupação com desastres naturais decorrentes de eventos meteorológicos. Temos o exemplo recente do El Niño 2015-2016, que causou grandes secas e chuvas em diferentes regiões do Brasil, afetando a geração de energia elétrica, a frequência de incêndios florestais, causando enchentes e perda de produtividade agrícola.

Existem diferentes variações ou oscilações climáticas, que podem ser associadas com processos internos ao sistema Terra-atmosfera ou forças externas (variações na incidência solar, por exemplo), e mudanças climáticas, associadas com a atividade humana. As oscilações climáticas, como a Oscilação de Madden-Julian (OMJ), El Niño-Oscilação Sul (ENOS), Oscilação Interdecadal do Pacífico (OIP) e Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA), são resultados de variações internas naturais do clima. É possível caracterizá-las como oscilações intrassazonais (OMJ), interanuais (ENOS) e decadais/interdecadais (OIP, AMO) (CAVALCANTI et al., 2009), sendo as duas últimas escalas de tempo o objeto de estudo deste projeto. Outra característica que define e diferencia essas oscilações é o padrão de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) que ocorrem em localizações distintas e que estão associadas com alterações atmosféricas

Tendo em vista que a intensidade dos efeitos produzidos sobre a circulação atmosférica por tais modos de variabilidade depende da intensidade das anomalias associadas de TSM, é importante verificar como estas anomalias repercutem na precipitação. Para isto, se faz a análise dos impactos das fases

opostas desses modos climáticos sobre a precipitação média sazonal, o número de dias com chuva e a chuva média por dia de chuva na América do Sul, durante o outono e inverno.

Na Figura 1 pode ser observado ciclos anuais de precipitação na América do Sul, com valores médios de precipitação mensais no período de 1950-2009, agrupados em quadrículas de $2,5^{\circ}$ de latitude e $2,5^{\circ}$ de longitude, obtido nos estudos de Grimm (2011).

Para a primavera e verão, época de chuvas no sul e noroeste da América do Sul, a análise de número de eventos extremos em conexão com oscilações climáticas já foi feita em outros estudos. No outono e inverno se observa aumento de precipitação no norte e nordeste do continente e seca no sudeste (Figura 1). Por isto, é importante também o estudo para outono e inverno, para se determinar a influência dos modos sobre as características normais de precipitação.

Além disto, a inclusão de outros índices climáticos, como a precipitação média mensal, o número de dias com chuva e a precipitação média por dia de chuva permite estabelecer a influência dos modos de variabilidade na precipitação em vários aspectos.

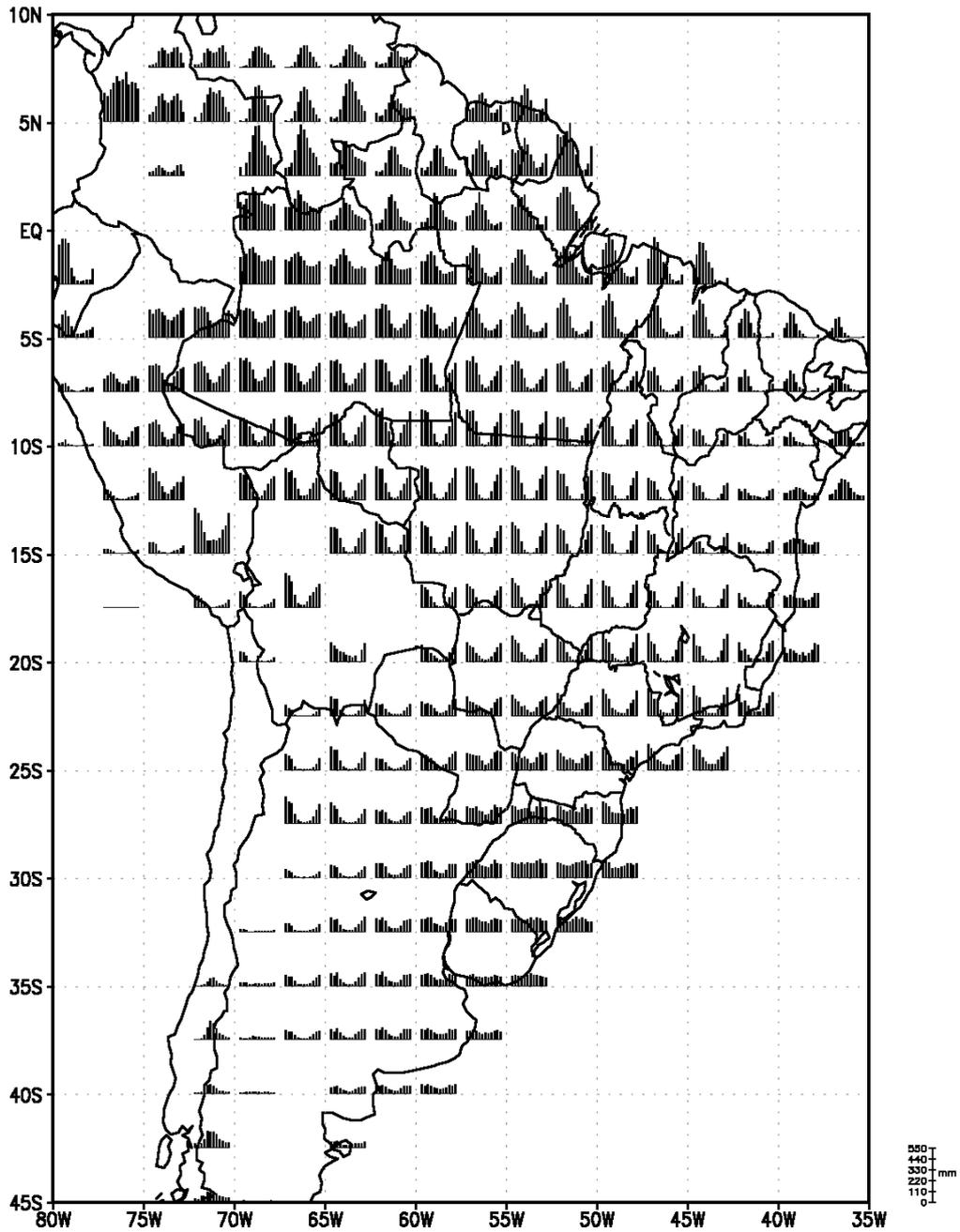


Figura 1 – Ciclos anuais de precipitação em áreas de 2.5°x2.5° latitude-longitude, calculados com no mínimo 25 anos de dados no período 1950-2005.

Fonte: GRIMM (2011).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GERAIS

O presente estudo pretende verificar as interferências provocadas por diversas oscilações climáticas na precipitação mensal, nas características da precipitação diária e no número de eventos extremos durante o outono e inverno e identificar em quais regiões ocorrem, além de verificar se tais oscilações afetam as distribuições teóricas que melhor se adaptam aos dados observados de precipitação diária.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Caracterizar os principais modos de oscilação na temperatura da superfície do mar em escalas interanual e interdecadal;
- Identificar, para cada estação do ano focalizada, possíveis modulações geradas por essas oscilações para os seguintes índices: precipitação total mensal média (PT), número de dias com precipitação (ND), precipitação média por dia de chuva (PM) e frequência de eventos extremos (EXT);
- Em regiões selecionadas por apresentarem maior impacto, verificar se há alterações significativas na distribuição teórica da precipitação diária.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. OSCILAÇÕES CLIMÁTICAS

As oscilações climáticas podem ser associadas a anomalias de convecção, circulação atmosférica e temperatura da superfície do mar (TSM). A magnitude das oscilações e, por consequência, dos seus impactos, é definida frequentemente pela amplitude das anomalias de TSM, que influenciam a convecção e circulação atmosférica. Contudo, também é possível ocorrer acoplamento no sistema oceano-atmosfera, o que aumenta os impactos.

As escalas temporais das oscilações climáticas são longas o suficiente para se diferenciar das oscilações sinóticas – também denominadas de oscilações do tempo – que possuem períodos menores que 10 dias. No Sul do Brasil, por exemplo, variações sinóticas são produzidas pela frequente passagem de frentes frias.

As oscilações climáticas podem ser classificadas como de escala temporal intrassazonal, interanual e multidecadal/interdecadal, além de outras variações de muito longo período (séculos, milênios). Assim, as oscilações do clima representam uma modulação das características estatísticas do tempo.

Como exemplo de variabilidade intrassazonal, pode-se citar a Oscilação de Madden-Julian (MADDEN; JULIAN, 1994), que produz fases secas e úmidas no decorrer da estação chuvosa de primavera-verão na América do Sul. Essa oscilação se propaga para leste, desde o Oceano Índico até sobre o Oceano Pacífico e possui escala temporal de 30 a 60 dias, razão pela qual é considerada oscilação intrassazonal.

Considerando a variabilidade interanual, o exemplo mais estudado é ENOS (El Niño-Oscilação Sul), cujas fases extremas (El Niño, La Niña) podem ocorrer com intervalos de 2 a 7 anos. ENOS é caracterizado pelo aumento ou redução da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico Central-Leste, que causa anomalias na célula de circulação atmosférica de Walker.

Oscilações que se prolongam por 8 anos a várias décadas constituem a variabilidade decadal, interdecadal ou multidecadal, também denominadas de variabilidade de baixa frequência. Por terem períodos longos, exigem uma extensa quantidade de dados cobrindo um período de tempo suficientemente

longo e uma área significativa, o que é um limitante para a análise dessa variabilidade, motivo pelo qual são menos estudadas que as demais (e.g., GRIMM et al., 2016).

Apesar das oscilações interdecadais terem menos estudos, a demanda está em constante ascensão, visto que as mudanças climáticas são tomadas como uma realidade. É necessário que se tenha conhecimento acerca da variabilidade multidecadal/interdecadal e que se aperfeiçoem os modelos preditivos para reproduzi-las, visto que os modelos podem se mostrar pouco acurados caso não consigam reproduzir a variabilidade de baixa frequência (ENFIELD et al., 2001; GRIMM et al., 2006). Além disso, é necessário que se tenha minuciosa caracterização das variabilidades interdecadais para que se possam separar estas das possíveis mudanças climáticas antropogênicas (VENEGAS; MYSAK; STRAUB, 1996; GRIMM E SABOIA, 2015).

Diversos estudos sobre oscilações interdecadais foram realizados na América do Norte e Estados Unidos. Cayan et al. (1998) estudaram estas oscilações de maior período no oeste da América do Norte, e descobriram que de 20% a 50% da variância da precipitação anual é explicada pela variabilidade interdecadal. Também foi constatado que a distribuição espacial da oscilação interdecadal é dividida entre várias componentes, indicando uma relação entre essa oscilação e a TSM. Encontraram uma relação de oposição entre a precipitação do local estudado e o norte da África, fenômeno conhecido como teleconexão. Barlow et al. (2001) encontraram relações entre os três primeiros modos de variabilidade da TSM do Oceano Pacífico e a ocorrência de secas nos Estados Unidos. A intensidade da radiação solar incidente e o módulo e a direção da velocidade do vento são fatores que alteram a TSM. Esta, por sua vez, pode alterar a pressão ao nível do mar, a circulação e a precipitação, causando influência sobre a frequência de eventos extremos.

Estudos mais recentes demonstram o impacto na precipitação da América do Sul gerado por diferentes oscilações interdecadais. Kayano e Andreoli (2004) investigaram a relação entre a variabilidade interdecadal da precipitação e a TSM e anomalias na pressão ao nível do mar no Nordeste do Brasil, utilizando coeficientes de correlação. Foi descoberto que a variação interdecadal na região tem ligações com variações na TSM do Atlântico Tropical

Sul, e que as variações na pressão ao nível do mar conectam a Oscilação Decadal do Pacífico com a precipitação na região.

Os estudos de Grimm e Saboia (2015) e Grimm et al. (2016) demonstram a influência das oscilações OIP e OMA na precipitação sazonal e na produção de eventos extremos de precipitação, para primavera e verão. Além desta constatação, foi determinado que o maior impacto ocorre sobre os volumes de precipitação mais altos da série de chuvas diárias.

Dentre as oscilações climáticas citadas, é importante que se descreva quais os modos de variabilidade atuantes na área de estudo. Assim, priorizando as oscilações interanuais e interdecadais, os principais modos de variabilidade que possuem relação com a precipitação na América do Sul são: El Niño-Oscilação Sul (ENOS), Oscilação Interdecadal do Pacífico (OIP) e Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA). Por esta razão, eles serão descritos a seguir.

3.1.1. EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL – ENOS

O modo de variabilidade climática com maior impacto global sobre o clima é o modo ENOS, que tem variabilidade em escala interanual, com período médio em torno de 3,8 anos. Este modo é o principal responsável por variabilidade climática interanual na América do Sul (GRIMM 2003; 2004; 2011), sendo seus impactos particularmente fortes na Bacia do Paraná/Prata.

Esse fenômeno é composto por variações de elementos atmosféricos e oceânicos no Oceano Pacífico Equatorial Leste, incluindo a região próxima ao Peru. As principais mudanças causadas por ENOS são nos ventos alísios e na TSM nesta região, com o anormal aquecimento e resfriamento da temperatura superficial do mar que caracterizam as duas fases da oscilação: El Niño (fase positiva, Figura 2) e La Niña (fase negativa).

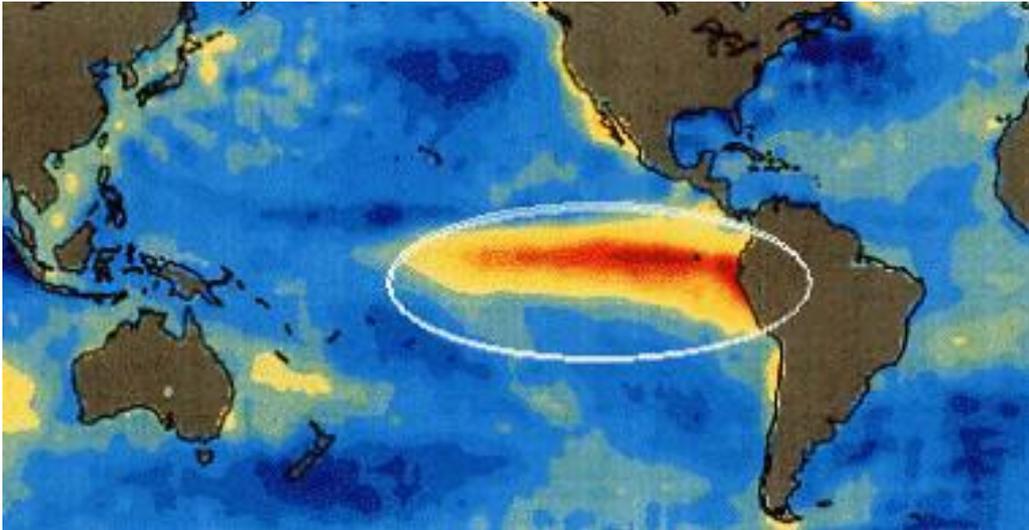


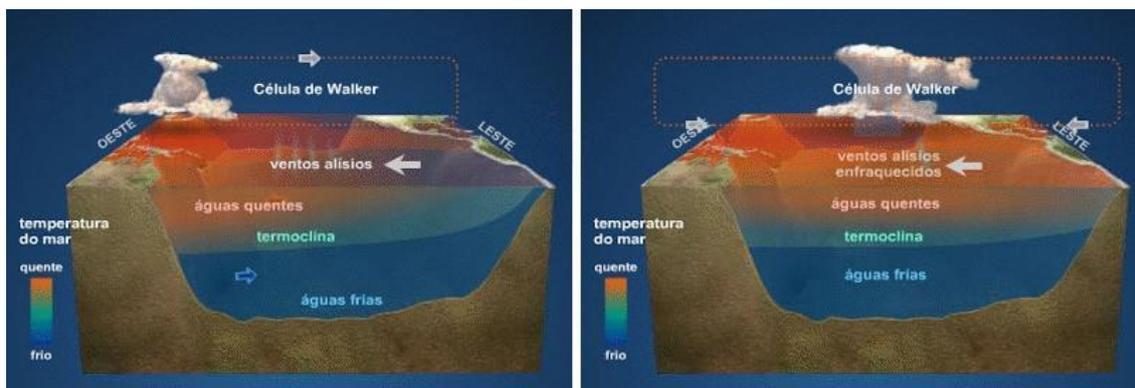
Figura 2 – Anomalias de TSM associadas com a fase positiva de ENOS (El Niño).

Fonte: CPTEC/INPE (2017).

Os elementos atmosféricos estão vinculados ao fenômeno conhecido com Oscilação Sul, que são flutuações de pressão opostas entre o Pacífico central e oeste. A Oscilação Sul pode ser consequência das anomalias dos movimentos de circulação atmosférica que explicam os ventos alísios, propostos por Hadley e Walker. George Hadley (1685 - 1768) propôs primeiramente em 1735 a Célula de Hadley, que, no Hemisfério Sul, seria uma circulação dos ventos sudeste-noroeste em direção ao Equador, onde convergem na superfície com ventos simétricos do Hemisfério Norte, formando a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e ascendendo até a alta troposfera. Uma vez na tropopausa, o ar diverge e se move em direção aos polos, descendo em torno de 30° de latitude na região das altas pressões subtropicais.

No início do século 20, Walker descobriu a Oscilação Sul, que é a variação da diferença de pressão ao nível do mar (PNM) entre Taiti (na Polinésia Francesa, Oceania) e Darwin (Austrália, Oceania), que é o denominado Índice da Oscilação Sul (IOS). Sobre as águas relativamente mais frias do Pacífico equatorial central-leste devido à presença dos alísios, o ar é mais denso e não sobe pelo ramo ascendente da célula de Hadley. Após ser aquecido e abastecido com umidade na porção oeste do Oceano Pacífico, na costa da Austrália, o ar ascende, se move para leste e descende sobre a costa oeste da América do Sul, na região da alta subtropical do Pacífico. Ao atingir a superfície, o ar mais frio e pesado se desloca para oeste, fechando a circulação zonal chamada de célula de Walker. Tal circulação é dirigida por gradiente de temperatura (que produz

gradiente de pressão), que é orientado para oeste em superfície, e para leste em altitude.



**Figura 3 – Circulação convectiva sobre o Oceano Pacífico Equatorial em anos neutros (a esquerda) e em anos com evento El Niño (direita).
Fonte: CPTEC/INPE (2017).**

Em anos normais, portanto, o ar quente que ascende do Pacífico equatorial oeste (Oceania) escoia para a região leste pela alta troposfera e desce no leste do Oceano Pacífico, voltando para o oeste em baixa altitude (Figura 3, esquerda). Esse ciclo de ascendência e descendência do ar está fortemente relacionado com a diferença de pressão do ar em cada região. Há uma fase ENOS positiva (El Niño) quando a TSM do Oceano Pacífico equatorial central e leste está anormalmente quente, enfraquecendo e deslocando a célula de Walker (Figura 3, direita, e o IOS é negativo (IOS (-) corresponde a episódio El Niño). A fase ENOS negativa (La Niña) ocorre quando a TSM do Oceano Pacífico central e leste está mais fria que o normal e o IOS é positivo (IOS (+) corresponde a episódio La Niña). Assim, o ENOS interfere na circulação atmosférica, sendo que o aquecimento do Oceano Pacífico equatorial central e leste em anos El Niño gera a bipartição da Célula de Walker (Figura 3, direita). O ar seco desce nas duas regiões continentais, tanto na Oceania, quanto na América do Sul, o que pode provocar secas nessas regiões, incluindo a Amazônia e o Nordeste. As anomalias de chuva na primavera tendem a ser negativas no Norte e Nordeste do Brasil e positivas no Sul do país, com anomalias contrárias em anos La Niña. na primavera tendem a ser negativas no Norte e Nordeste do Brasil e positivas no Sul do país, com anomalias contrárias em anos La Niña.

Eventos El Niño e La Niña tem uma tendência a se alternar, repetindo-se a cada 3-7 anos. As intensidades dos eventos variam bastante de caso a caso. De acordo com os registros do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais), os eventos El Niño mais intensos desde a existência de registros de TSM ocorreram em 1982-83 e 1997-98.

Uma das características dessa oscilação é seu impacto sobre a precipitação diária: em muitas regiões a intensidade e frequência tendem a aumentar e ocorrem mais eventos extremos de precipitação; em outras, ocorre o contrário. O aumento na chuva mensal não significa necessariamente aumento no número de eventos extremos e vice-versa. Isto significa que a oscilação climática atua diferentemente sobre as diferentes categorias de chuva diária (GRIMM E TEDESCHI, 2009).

Na análise focada no sul brasileiro e o sudeste da América do Sul, Grimm et al (1998, 2000) mostraram que o impacto de ENOS na precipitação de verão é fraco, enquanto é mais forte na primavera, havendo tendência para anomalias reverterem o sinal de novembro para janeiro. (GRIMM, 2003) O estudo de Tedeschi et al. (2015) observa que existem diferentes impactos para distintas localizações de anomalias de TSM do ENOS. Essas anomalias podem se concentrar em diferentes regiões do Oceano Pacífico Equatorial, como demonstrado na Figura 4. No estudo foi determinado que as anomalias que se concentram na região Niño 3 ou 3.4 provocam variações na precipitação mais intensas no sul da América do Sul do que aquelas provocadas por anomalias nas regiões 1, 2 e 4.

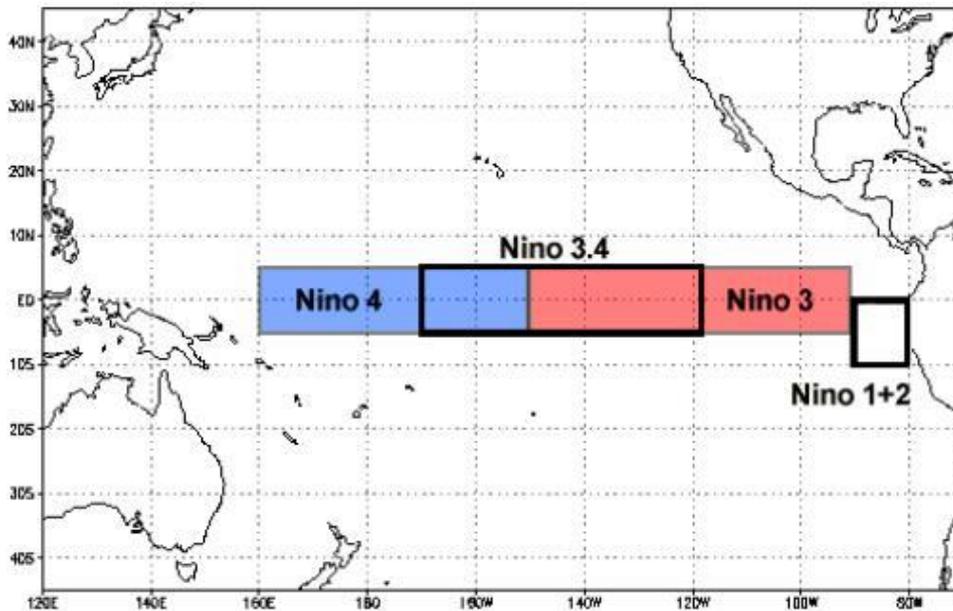


Figura 4 – Caracterização das regiões do Equador com referência de ENOS.

Fonte: NOAA (2017).

3.1.2. OSCILAÇÃO INTERDECADAL DO PACÍFICO – OIP

A Oscilação Interdecadal do Pacífico (OIP) possui padrão de anomalias de TSM no Oceano Pacífico, caracterizado por anomalias no Equador, semelhantes ao ENOS, mas estendendo-se para os subtrópicos, tendo ainda anomalias opostas nos extratropicos. A Figura 5, com aumento de TSM na parte leste do Oceano Pacífico e negativa (direita) de OIP, caracterizada pela redução da TSM na mesma região.

Um importante componente dessa oscilação está no Oceano Pacífico extratropical norte, também conhecida como Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), sendo que alguns estudos fazem a análise particular para essa componente. Entretanto, considerando o estudo para a América do Sul, é importante considerar a totalidade do evento, com presença de anomalias também nos extratropicos do Oceano Pacífico Sul.

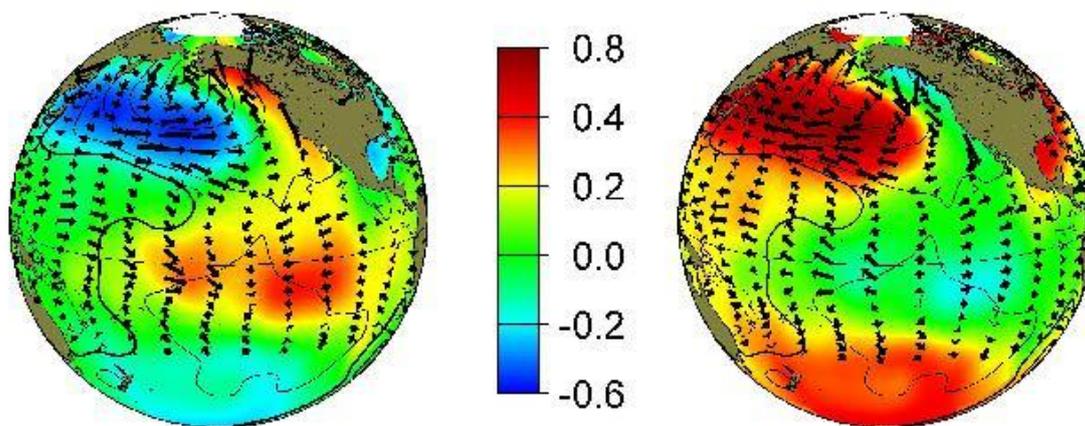


Figura 5 – Anomalias de TSM no Pacífico Norte, nas fases positiva e negativa da ODP.

Fonte: JISAO (2017)

Como o padrão de anomalias de OIP (Figura 5) é similar ao de ENOS (Figura 2), quando ocorrem eventos ENOS em fase positiva (ou quente) em épocas nas quais a OIP também está em sua fase positiva, espera-se que as anomalias de TSM no Oceano Pacífico Central-Leste tropical tenham valores bem mais altos do que se a fase da OIP for neutra. Tais efeitos foram comprovados por Kayano e Andreoli (2004, 2007). Em ambos os estudos foram analisadas as alterações das anomalias de chuva anual (ENOS) com relação à ODP, que é a porção da OIP no Oceano Pacífico Norte. Os dados foram de fontes diferentes e os métodos de análises foram distintos, mas ambos os projetos indicaram uma significativa interferência construtiva quando há mesma fase para as duas oscilações. Portanto, a conexão de ENOS com a precipitação na América do Sul é consideravelmente mais forte quando ENOS e ODP estão na mesma fase e o contrário também é válido. Também foi observado que enquanto a ODP apresenta a fase neutra não há alteração na magnitude do ENOS; portanto, ODP causa mudanças significativas na intensidade de eventos ENOS.

3.1.3. OSCILAÇÃO MULTIDECADAL DO ATLÂNTICO – OMA

A Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) (em inglês, *Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO)*) é um modo de variabilidade que ocorre no Oceano Atlântico Norte e sua principal característica de variação é na TSM. Foi identificada por Schlesinger e Ramankutty em 1994 e possui escala

multidecadal, pois, segundo registros, a sua fase positiva pode durar 50 anos ou mais. Sua fase positiva é determinada pelo aparecimento de anomalias positivas de TSM na região do Oceano Atlântico Norte, conforme demonstra a Figura 6; já a fase negativa pelo aparecimento de anomalias negativas.

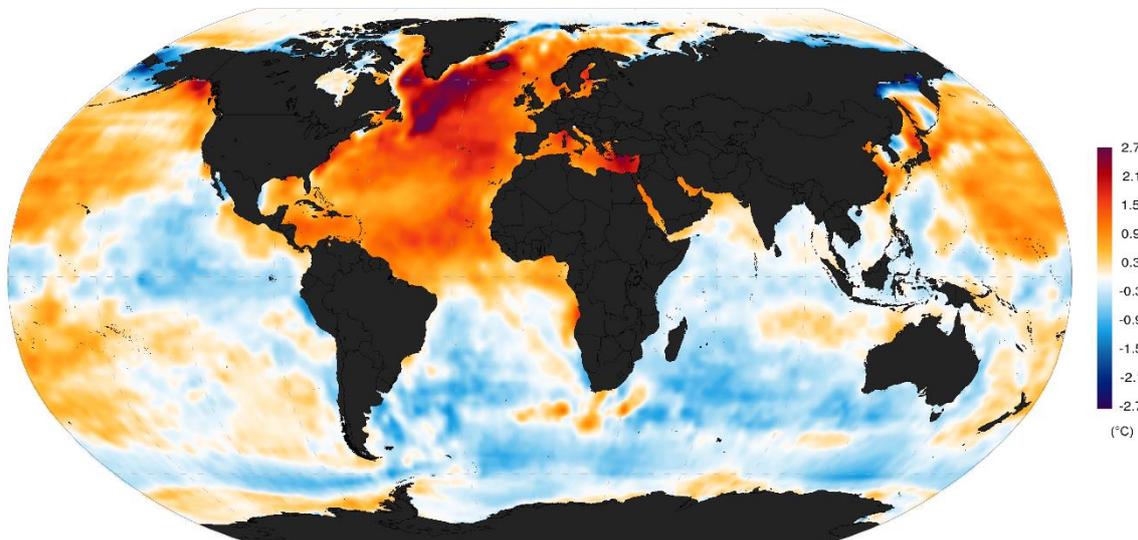


Figura 6 – Anomalias de TSM no Atlântico Norte, na fase positiva de OMA.
Fonte: WIKIPÉDIA, 2017.

Segundo estudos, já foi comprovada que essa oscilação está ligada com fenômenos atmosféricos de alterações de precipitação, formação de furacões e até erupções vulcânicas (ZHANG E DELWORTH, 2006; TISDALE, 2010). Com base nas típicas durações das fases positivas e negativas de AMO e no efeito do aquecimento global, também foi observado como a amplitude de TSM é intensificada em razão de efeitos antrópicos.

Chiessi et al. (2009) verificaram possíveis influências da AMO sobre as monções de verão da América do Sul e concluíram que durante fases negativas (positivas) da AMO, o aquecimento (resfriamento) anômalo do Atlântico Sul aumentaria (diminuiria) a atividade da Zona de Convergência do Atlântico Sul e deslocaria o cinturão principal de precipitação das monções para o Sul (Norte).

3.2. OSCILAÇÕES CLIMÁTICAS E CARACTERÍSTICAS DE CHUVA DIÁRIA

Apesar de oscilações climáticas produzirem variações de mais longo período, elas afetam a variabilidade sinótica e as características da chuva diária, como a frequência de ocorrência de dias chuvosos, a precipitação média em

cada dia chuvoso, a frequência de eventos extremos de chuva diária e a distribuição de probabilidade das chuvas diárias. Portanto, estas oscilações têm influência sobre os eventos que produzem mais impactos sociais e econômicos. Esta influência é o foco deste estudo.

Vários índices podem descrever como as oscilações climáticas afetam as características da chuva diária. Pui et al (2012) fizeram a avaliação dos seguintes índices: número de dias com chuva, número de horas com chuva, precipitação média e acumulada mensal, entre outros. Alguns destes foram adaptados para este estudo. Tal estudo, feito para a Austrália, mostrou que cada um dos índices possui características diferenciadas conforme as fases de algumas das oscilações climáticas. Foi verificado, por exemplo, que a chuva média sazonal ou acumulada mensal não está diretamente relacionada com o número de dias com chuva, ou seja, se a precipitação mensal aumenta não significa que necessariamente o número de dias com chuva aumentou.

Além dos índices mencionados acima, é importante verificar como as oscilações climáticas afetam especificamente a frequência de ocorrência dos eventos extremos de precipitação. A importância do estudo de eventos extremos é dada pelo alto fator de impacto que um evento extremo gera na disponibilidade hídrica, desastres naturais e até na agricultura.

A previsão de tais eventos pode prevenir impactos catastróficos, no sentido de planejamento de políticas públicas ou de defesa civil e implementação de projetos de engenharia. Além de estudos que definam as áreas particulares de ocorrências, deve ser considerada a frequência e intensidade dos eventos, assim como as forçantes que modulam os eventos. Com base na caracterização de eventos extremos tem-se uma poderosa ferramenta de planejamento.

Algumas publicações na literatura já focaram os eventos extremos e os mecanismos a eles associados. Dentre esses estudos, se constituem como parte da base para este projeto o estudo de Grimm e Tedeschi (2009) e de Grimm et al. (2016).

Grimm e Tedeschi realizaram, em 2009, o primeiro trabalho sobre a conexão estatística entre oscilações climáticas e eventos extremos na América do Sul. No estudo, foi analisada a influência das fases opostas do fenômeno ENOS sobre a frequência de eventos extremos de precipitação sobre a América do Sul. Com relação às oscilações interdecadais, Grimm et al. (2016) fizeram a

investigação de sua influência sobre a frequência de eventos extremos, da mesma forma que o estudo de 2009.

Além dos índices que descrevem como as oscilações climáticas alteram a frequência e intensidade média de eventos de chuva diária e a frequência de seus eventos extremos, também é importante analisar o quanto estas oscilações podem alterar a distribuição total de probabilidade das chuvas diárias em certa região. Para definir esta distribuição é possível utilizar uma distribuição teórica de probabilidade. Li et al. (2012) testaram seis diferentes distribuições de probabilidade (entre elas as distribuições Gama e exponencial) na descrição da distribuição de frequências de precipitação diária, e compararam medidas estatísticas para verificar a qualidade do ajuste.

4. DADOS E METODOLOGIA

4.1. CONJUNTO DE DADOS

Os dados de TSM são globais e foram obtidos do *Hadley Centre* no Reino Unido (RAYNER et al., 2005), abrangendo mensalmente os anos de 1950 a 2009, com dados de 1,0° de latitude e 1,0° de longitude em todos os oceanos, com pequenas falhas nos polos. Entretanto, para tratar um conjunto de dados extenso é necessário muito tempo de processamento computacional. A fim de reduzi-lo, foi feita uma interpolação dos dados para obter quadrículas 5,0° x 5,0° (latitude e longitude) e os dados mais próximos dos polos, com latitudes acima de 60 °, que não tem muita variação relativa, foram retirados do conjunto.

Os dados de precipitação usados neste estudo fazem parte do banco de dados do Laboratório de Meteorologia da UFPR. São dados de precipitação diária obtidos da Agência Nacional das Águas (ANA), do Projeto Claris, de um conjunto preparado por Liebmann e Allured (2005) referentes principalmente ao noroeste da América do Sul e de outras instituições hidrometeorológicas de países da América do Sul, abrangendo mais de 10.000 estações pluviométricas.

Para os dados de precipitação foi realizado um procedimento de verificação, tendo em vista que há diferentes tipos de problemas detectados: dados faltantes registrados como zeros (precipitação nula), valores irrealisticamente altos, valores iguais durante certos períodos registrados para duas estações distantes e mudanças improváveis no regime de precipitação. O principal problema é o registro de dados faltantes como zeros, que é especialmente difícil de detectar em regiões com estação seca bem definida, como o Nordeste do Brasil. Esses dados considerados espúrios são detectados e corrigidos conforme precipitação das demais estações da região ou então são identificados como valores indefinidos e excluídos de análises posteriores.

Os dados diários de chuva já corrigidos, que se estendem de 1950 a 2009, foram interpolados em grade de tamanho 1,0° de latitude e 1,0° de longitude sobre a América do Sul.

Todos os dados foram processados através de programação Fortran 90 e os gráficos foram gerados pelo programa GrADS. Após obter os dados finais

de TSM e precipitação, com a devida correção, interpolação e filtragem, segue-se a metodologia de análise estatística dos mesmos.

4.2. DETERMINAÇÃO DOS MODOS CLIMÁTICOS

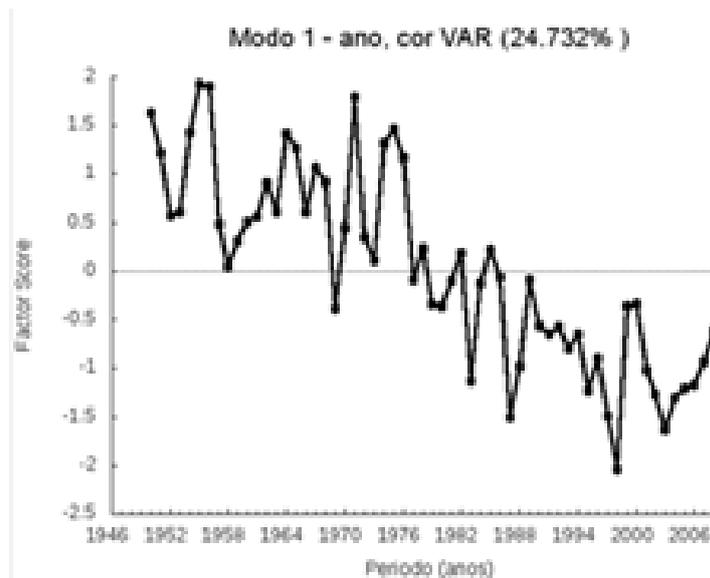
A série de temperatura da superfície do mar (TSM) já preparada pelos passos descritos na seção 4.1 possui um período de 60 anos (de 1950 a 2009) em quadrículas de $5,0^\circ \times 5,0^\circ$ de latitude/longitude. A análise desse conjunto objetiva a obtenção de oscilações de TSM.

Para obter séries de variabilidade interdecadal foi aplicado o filtro gaussiano aos dados de TSM. Os principais modos de variabilidade são obtidos de uma análise de componentes principais (ACP) desses dados.

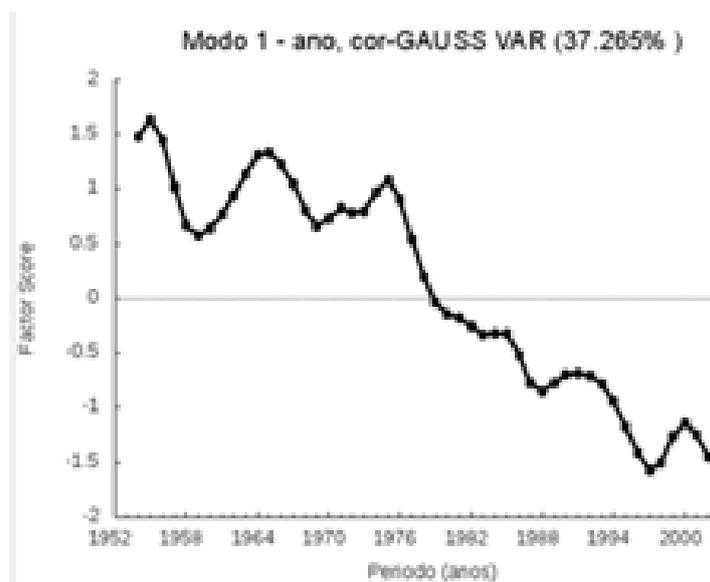
4.2.1. FILTRO GAUSSIANO

Para obter os modos de oscilação interdecadal foi aplicado um filtro gaussiano de 9 pontos. Esse filtro é utilizado para reter as oscilações de mais baixa frequência, caracterizadas por períodos iguais ou maiores que 8 anos. Na Figura 7 é possível observar a série de componentes principais do primeiro modo de TSM anual, antes e depois de ser passado o filtro.

O filtro de Gauss baseia-se em uma média móvel ponderada, cujos pesos seguem uma distribuição gaussiana. Os pesos do filtro de Gauss estão dispostos na Tabela 1. Quando comparados com os valores de pesos para outros filtros, o filtro gaussiano se caracteriza como passa baixa, uma vez que possui a característica de redução de ruídos.



(a) Antes de passar o filtro.



(b) Depois de passar o filtro.

Figura 7 – Série de componentes principais do primeiro modo de TSM anual, antes (a) e depois (b) da aplicação do filtro de Gauss aos dados. As oscilações de frequência maior são suprimidas e a curva é suavizada.

O método da média móvel utilizado atribui o valor da média à posição temporal central e, por esta razão, há perda de oito anos de dados, quatro no início e quatro no final da série, e todas as análises que forem realizadas utilizando a ACP serão compreendidas no período entre os anos de 1954 e 2005.

Tabela 1 – Valores dos pesos do Filtro Gaussiano.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Peso	0.004	0.026	0.099	0.224	0.294	0.224	0.099	0.026	0.004

Para a análise deste trabalho, os totais sazonais de TSM foram filtrados de forma a obter oscilações de período mais longo (interdecadais). Este procedimento é essencial para se obter os modos de variabilidade interdecadal OIP e OMA. Para obter o modo interanual ENOS foi excluída a série filtrada com o filtro gaussiano da série original de totais sazonais, de modo que apenas a variabilidade com períodos de 2 a 7 anos esteja presente. Os dados filtrados são, então, submetidos à ACP.

4.2.2. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS – ACP

A Análise de Componentes Principais (ACP) (*Principal Component Analysis, PCA*, em inglês) foi idealizada em 1901 por Karl Pearson e se tornou a mais simples das análises multivariadas por autovetores. Este cálculo consiste na utilização de métodos estatísticos e de álgebra linear para resumir um grande conjunto de dados (WILKS, 2006). Por essa razão, é comumente usada como ferramenta de análise exploratória de dados e para fazer modelos preditivos.

O procedimento consiste na transformação ortogonal para converter um conjunto de dados de variáveis possivelmente correlacionadas em um conjunto de valores de variáveis linearmente não correlacionadas chamadas de componentes principais. Assim, a partir da matriz de correlação ou de covariância dos dados se obtém os autovalores e autovetores e, desta forma, os modos de variabilidade dos dados. A simples combinação linear dos principais modos de variabilidade do espaço multidimensional explica grande parte da variabilidade contida nos dados originais.

O cálculo da ACP considera que os dados são uma nuvem de pontos no espaço e que existem várias possibilidades de direção de variabilidade conjunta dos dados. Em um sistema cartesiano 3D (3 variáveis), por exemplo, a ACP seleciona as direções x, y, z de acordo com as três direções de maior variabilidade conjunta dos dados (a segunda e terceira ortogonais à primeira) e

estas serão chamadas de primeiro, segundo e terceiro modo de variabilidade dos dados, ou componentes principais.

O número de componentes principais é igual ao número de variáveis originais. A transformação linear é definida de forma que o primeiro componente principal tem a maior variância possível, sendo responsável pelo máximo de variabilidade nos dados. Assim, cada componente seguinte, por sua vez, tem a máxima variância sob a restrição de ser ortogonal aos componentes anteriores, ou seja, ser independente ou não correlacionado. A partir desta lógica, o segundo modo de variabilidade será a segunda direção de maior variabilidade e obrigatoriamente ortogonal ao primeiro modo e assim por diante.

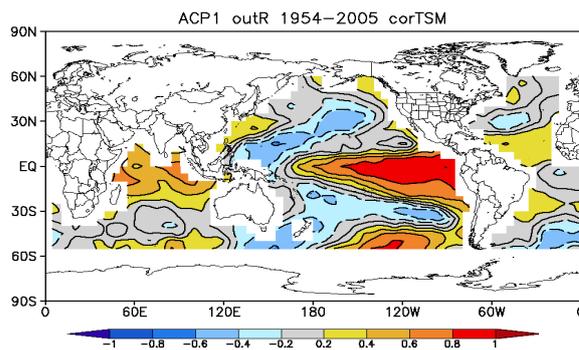
Desta forma, diferentes mecanismos físicos podem ser responsáveis por diferentes modos de variabilidade. Por exemplo, na ACP de TSM é possível caracterizar distintas oscilações de TSM em diferentes modos.

A ACP pode produzir modos rotacionados (RT), a partir da rotação de um certo número de autovetores, para que os autovetores rotacionados estejam em direções que expliquem a maior parte da variância coerentemente, facilitando a interpretação física dos modos. Assim, os modos rotacionados representam geralmente variações mais regionalizadas e de mesmo mecanismo físico.

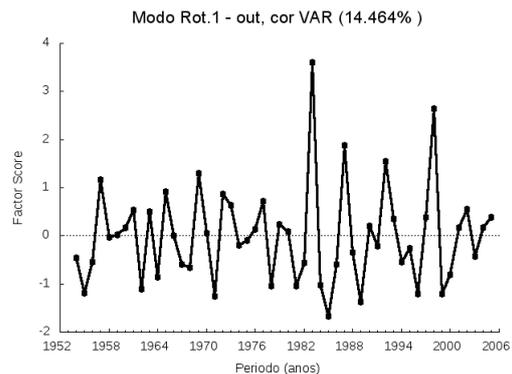
Para o presente estudo foi feita uma rotação Varimax ortogonal com os modos cuja variância explicada é igual ou superior a 1%, de modo a gerar modos rotacionados ortogonais. Esse método de rotação preserva a ortogonalidade dos modos no aspecto temporal (das séries de componentes principais, que representam a evolução temporal), mas não impõe ortogonalidade espacial (dos padrões espaciais).

Os resultados da ACP aqui realizada, ou seja, os modos de variabilidade, são representados em termos das séries temporais (*factor scores*, FS) e seus mapas de fatores de carga sobre cada índice (em cada ponto no espaço) (*factor loadings*, FL). Os FS representam a evolução temporal do modo de variabilidade e os FL a sua distribuição espacial. Já as variâncias explicadas pelos modos são representadas pelos autovalores.

Na Figura 8, temos um exemplo de resultado obtido na ACP, para o primeiro modo interanual de variabilidade da TSM, mostrando à esquerda o mapa de FL e à direita os FS. Tal modo representa o ENOS.



(a) Factor loadings



(b) Factor Scores

Figura 8 – Exemplo do primeiro modo de variabilidade de TSM obtido na ACP, FL e FS. A variância explicada é de 14,464%.

Com o modo de ACP correspondente a cada oscilação, é feita a definição das fases positiva e negativa de cada modo. Assim, se o FL do modo representar a oscilação na fase positiva, anos com FS acima de $+0,7 \times$ desvio padrão foram definidos como anos de fase positiva e anos com FS abaixo de $-0,7 \times$ desvio padrão foram definidos como anos de fase negativa, e os restantes como anos de fase neutra. Se o FL do modo representar a fase negativa da oscilação, inverte-se o critério, de forma que FL acima de $0,7 \times$ desvio padrão serão anos de fase negativa e abaixo de $-0,7 \times$ desvio padrão serão anos de fase positiva.

4.3. OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE PRECIPITAÇÃO

A partir dos dados de chuva diária foram seguidos procedimentos, descritos a seguir, a fim de obter as séries mensais dos seguintes índices de precipitação:

- Precipitação total mensal – PT
- Número de dias com chuva – ND;
- Precipitação média por dia de chuva – PM;
- Frequência de eventos extremos – EXT.

A PT, de acordo com Pui et al. (2012), é função do número de dias chuvosos (ND) e da intensidade média de chuva de cada dia úmido durante a estação (PM). Enquanto ND está associado à instabilidade atmosférica e convecção, PM está relacionada à umidade disponível na atmosfera. Já EXT

indica a ocorrência de precipitação extrema e suas flutuações, que também são influenciadas por ND e PM e indicam a contribuição destes eventos à precipitação total (PT) (GRIMM et al., 2016).

Tais índices foram escopo de trabalhos anteriores (GRIMM et al., 2016; PUI et al., 2012) e foram escolhidos neste estudo por evidenciarem variações nos regimes de precipitação. Assim, a PT e ND são determinantes em questões hídricas ligadas a previsão de períodos secos/úmidos, importantes para a agricultura, por exemplo. Já PM ou EXT se relacionam com questões hídricas relacionadas com respostas a extremos, que tem influência em barragens e desastres naturais, entre outros.

4.3.1. PRECIPITAÇÃO TOTAL MENSAL – PT

Para obter as séries mensais de PT (precipitação mensal total), é acumulada a precipitação diária em cada mês. Em seguida, é feita a média dos meses de cada estação para obter a PT média sazonal.

4.3.2. NÚMERO DE DIAS COM PRECIPITAÇÃO – ND

São contados os números de dias em cada mês cuja precipitação é igual ou maior que 1 mm. Em seguida, é feita a média dos meses de cada estação para obter o ND médio sazonal.

Esse processo exige uma verificação quanto ao número de dias inválidos de cada quadrícula. O critério definido é de que a série de ND seja calculada apenas se 75% dos dias daquele mês tenham dados de precipitação válidos. Tal verificação previne a contagem de dias de precipitação em meses com dados insuficientes de precipitação.

4.3.3. PRECIPITAÇÃO MÉDIA POR DIA DE CHUVA – PM

A precipitação média por dia de chuva é calculada como:

$$PM = PT / ND \quad (1)$$

Em seguida, é feita a média dos meses de cada estação para obter a PM média sazonal.

4.3.4. NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS – EXT

A série de números de eventos extremos de precipitação em cada mês foi obtida utilizando a metodologia de Grimm e Tedeschi (2009). Primeiramente, os dados diários de precipitação foram submetidos a uma média móvel de 3 dias, de forma a garantir que os eventos considerados extremos tenham também persistência.

Para isso, com os dados diários organizados em forma de vetor, calcula-se a precipitação média nos três primeiros dias, e o valor resultante é atribuído ao dia central. A seguir, calcula-se a precipitação média nos três dias seguintes, atribuindo o valor ao dia central, e assim por diante.

Os resultados das médias são rearranjados em forma de matriz em que cada linha representa um dia do ano (assim, a primeira linha é composta de todos os 1º de janeiro de 1950 a 2009). A cada linha da matriz, é feito o ajuste de uma distribuição Gama (utilizando o método da máxima verossimilhança, que será discutido mais adiante), e então é calculado o nível de precipitação correspondente ao percentil 90.

O percentil 90 é usado como o limiar de precipitação extrema, em destaque na Figura 9. Qualquer valor de chuva naquele dia do ano (independente do ano) que superar tal limiar é contabilizado como evento extremo. Nota-se que, para cada dia do ano (cada linha) há um limiar de chuva extrema, ou seja, há 365 limiares. Nesta análise são desconsiderados eventos de precipitação diários com valores menores que 0,1 mm.

Após serem identificados em quais dias ocorreu precipitação extrema, é contabilizado o número de eventos extremos por mês. Assim é gerada a série de número de eventos extremos ou frequência de eventos extremos. Tendo esta série, pode ser feita a média dos meses de cada estação para obter a frequência média sazonal.

Distribuição Gama

01/Janeiro - Quadrícula (27, 34)

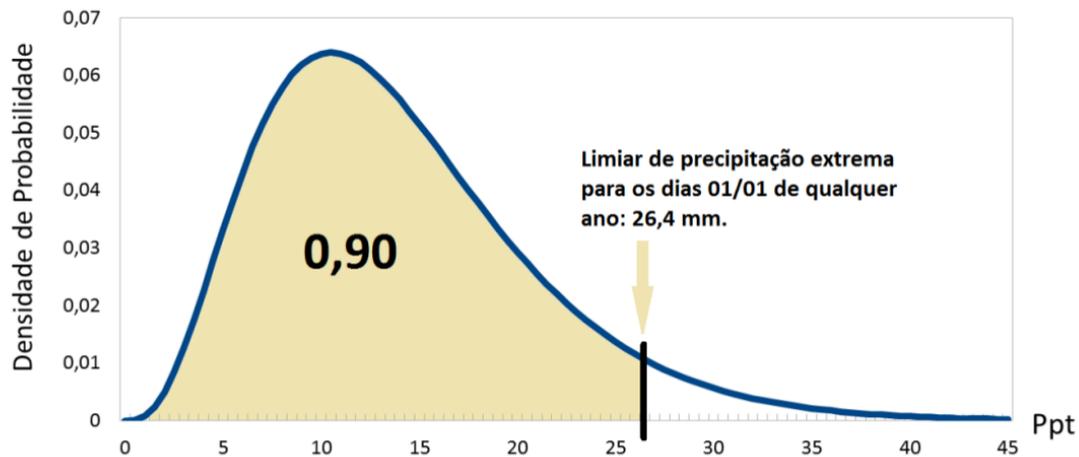


Figura 9 – Distribuição gama da precipitação ajustada para o dia 1º de janeiro. O limiar de precipitação extrema usado é o valor acima do qual há 10% de probabilidade de ocorrência.

4.4. ANÁLISES SAZONAIS

Com as oscilações climáticas obtidas pelo ACP de TSM e as séries mensais de cada índice calculadas, seguem as análises estatísticas dos valores médios sazonais de cada índice de precipitação calculado. Os métodos destinam-se a obter relações entre a TSM e os índices de precipitação calculados, que possam indicar possíveis mecanismos da influência das oscilações climáticas. Os métodos escolhidos foram: composição de anomalias e correlação.

4.4.1. COMPOSIÇÃO DE ANOMALIAS

Anomalias são desvios de uma variável em relação ao seu valor médio no período analisado. Por exemplo, a anomalia de ND no outono de 1973 é a diferença entre o valor observado naquela estação de 1973 e a média para todos os outonos do período analisado. A composição de anomalias é feita para verificar como os índices - PT, ND, PM, e EXT - se comportam em fases opostas e tentar entender como são os mecanismos que levam à variabilidade das características da precipitação. Para verificar se as anomalias são significativas

foi realizada uma análise de significância dos resultados com o teste t de Student.

Um exemplo de obtenção de anomalias, obtido pelo CPTEC/INPE (2017), é mostrado na Figura 10. Tais figuras são para o mesmo período (maio de 2017) e suas escalas são dadas em graus Celsius, sendo que a TSM é dada na escala de 2 a 34°C (Figura 10 – a) enquanto que a anomalia abrange -3,5°C a 5°C (Figura 10 – b). É possível perceber que há temperatura acima da média em quase todo o Oceano Pacífico, com anomalias maiores no Pacífico oeste.

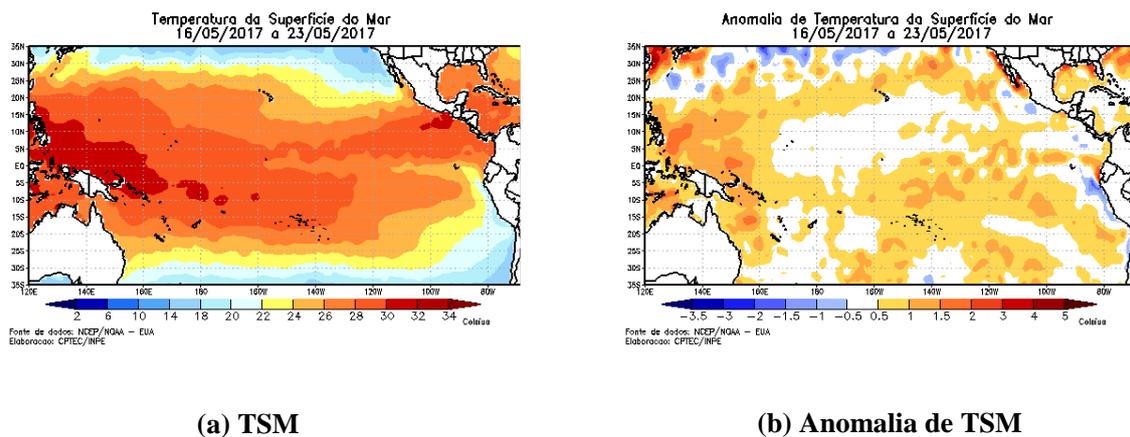


Figura 10 – (a) Campo de TSM e (b) sua respectiva anomalia para o período de 16 de maio a 23 de maio de 2017.

Fonte: CPTEC/INPE (2017).

Uma vez obtidas as anomalias dos índices de precipitação para cada estação do ano, foram realizadas composições de anomalias (médias das anomalias) para os índices de precipitação nos anos de fase positiva e negativa de cada oscilação climática focalizada.

A Figura 11 mostra um exemplo de composição de anomalias de ND para a fase positiva e negativa de ENOS no outono e a diferença entre as composições para as fases opostas. Nesta figura as manchas são os resultados de significância do teste t de Student, que será tratado a seguir, e as isolinhas e números representam os valores de anomalias.

Nota-se que a diferença realça as áreas que possuem maiores diferenças entre anomalias opostas nas duas fases (positiva e negativa), representando uma resposta linear da oscilação. Por esta razão, são utilizadas as diferenças de anomalias entre os anos de oscilação de fase positiva e negativa para definir áreas de maior impacto da oscilação entre fases opostas.

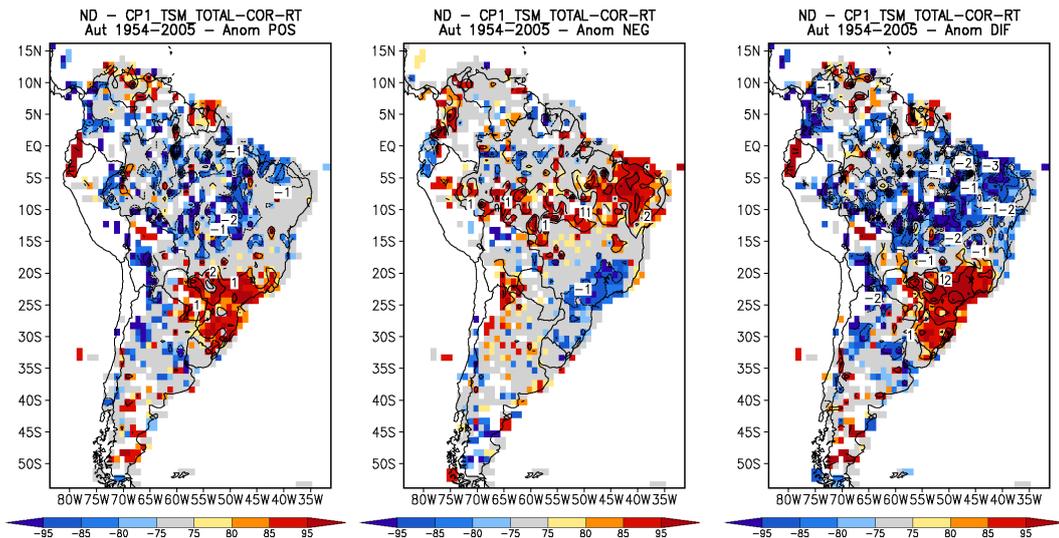


Figura 11 – Composição de anomalias de ND em anos de fase positiva (à esquerda), negativa (centro) e a diferença entre as duas (à direita) para o 1º modo da ACP de TSM com variabilidade interanual do outono. Isolinhas e números representam os valores médios das anomalias para as fases opostas e sua diferença. As cores representam os níveis de confiança, conforme a barra de cores.

4.4.2. CORRELAÇÃO

Outra análise aplicada consiste em estabelecer a relação entre um modo e um índice a partir de correlações. O cálculo de correlações é feito a partir de dois conjuntos de dados, para os quais se pretende estabelecer a dependência entre eles. Assim, foram feitas correlações entre os índices de precipitação e os FS dos modos de variabilidade de TSM representando ENOS, OIP e OMA. O método aplicado é o do coeficiente de Pearson, que varia de -1,0 a 1,0, sendo 1,0 o caso de maior relação direta entre as séries e -1,0 maior relação inversa entre as séries. Sua fórmula segue:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{cov(X,Y)}{\sqrt{var(X)var(Y)}} \quad (2)$$

onde x_i e y_i são valores medidos de ambos os conjuntos e \bar{x} e \bar{y} são as médias aritméticas de ambas as variáveis. (Wilks, 2006)

4.4.3. TESTES DE SIGNIFICÂNCIA – T DE STUDENT

Aos resultados foi aplicado um teste de significância baseado na distribuição t de Student a fim de comprovar que a anomalia em determinada fase ou um coeficiente de correlação é estatisticamente significativa.

Para avaliar a significância estatística das anomalias em certa fase, é usado teste com a seguinte estatística com distribuição t de Student, para a hipótese nula de que as anomalias representam valores normais dentro da série (WILKS, 2006):

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right]^{1/2}} \quad (3)$$

na qual, \bar{x} representa a média de cada uma das duas séries comparadas (neste caso, valores de uma certa fase, positiva ou negativa, e o resto da série); s^2 representa a variância de cada uma das séries, e n o número de membros independentes de cada uma. Para séries suficientemente grandes é possível estabelecer uma distribuição Gaussiana, da qual o parâmetro $z = t$, cuja expressão é dada por:

$$\phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{z^2}{2} \right] \quad (4)$$

A Figura 12 mostra a distribuição $f(t) = \phi(z = t)$ sendo que a probabilidade de ocorrer valores acima de certo valor t é dada pela área A. Algumas referências incluem valores calculados dessa distribuição em tabelas. Um exemplo está disponível no Anexo A.

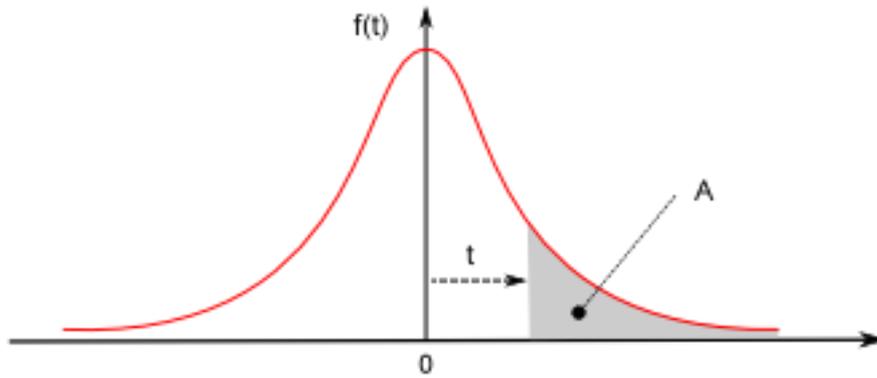


Figura 12 – Distribuição t de Student.
Fonte: MSPC, 2008.

Para séries filtradas, o número de membros independentes da amostra é reduzido, uma vez que o filtro de Gauss é uma média móvel. Assim, foi usado o método de autocorrelação a fim de obter o número efetivo de membros (N') de cada série, a partir de (WILKS, 2006):

$$N' = \frac{n(1 - \rho_1)}{(1 + \rho_1)} \quad (5)$$

onde n é o número total de membros da série e ρ_1 é a autocorrelação da série.

Para avaliar a significância estatística de correlações é usado teste com a seguinte estatística com distribuição t de Student, para a hipótese nula de que não há correlação:

$$t = \frac{r\sqrt{(N' - 2)}}{\sqrt{(1 - r^2)}} \quad (6)$$

na qual o número efetivo de membros é dado por:

$$N' = \frac{N(1 - r_{1x}r_{1y})}{(1 + r_{1x}r_{1y})} \quad (7)$$

onde r_{1x} e r_{1y} são as autocorrelações de uma série com ela mesma, N é o número total de membros da série e r é o valor de correlação. Se N' diminui, a significância também diminui. Mais detalhes da aplicação estão disponíveis na literatura. (ZAR, 1974; WILKS, 2006)

4.5. ANÁLISE DAS DISTRIBUIÇÕES DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA

A partir dos mapas de diferenças entre as composições de anomalias para as fases positiva e negativa de uma oscilação climática, são selecionadas áreas para análise complementar. Nas áreas onde ocorrem as maiores diferenças entre fases opostas, são estudadas possíveis alterações significativas das distribuições de densidade de probabilidade da precipitação diária e dos outros índices nestas regiões entre fases opostas da oscilação.

A Figura 13 é um exemplo utilizado para determinar as quadrículas para a análise de precipitação diária. Com base nessa figura, as quadrículas selecionadas podem ser tanto as do Sul e Sudeste do Brasil, como no Norte e Nordeste do Brasil, regiões que estão em destaque. É conveniente utilizar diferenças de composições de anomalias de precipitação total mensal para selecionar as regiões de possível mudança nas distribuições de precipitação diária.

Para cada região selecionada, é calculada a média dos valores de precipitação das quadrículas constituintes, já que variações nas condições locais podem fazer com que uma quadrícula de $1,0^\circ \times 1,0^\circ$ não represente bem a região.

Para determinar a função densidade de probabilidade das precipitações diárias, só foram consideradas precipitações que tenham registro maior que 0,1 mm. Assim, os valores menores que 0,05 mm foram excluídos e os valores entre 0,05 e 0,1 mm foram aproximados para 0,1 mm.

Para verificar se a função densidade de probabilidade da precipitação diária se alterou entre as fases positiva e negativa de cada modo foram aplicados os testes não paramétricos de Mann-Whitney U (MWU) e Kolmogorov-Smirnov (KS), conforme utilizados por Pui et al. (2012).

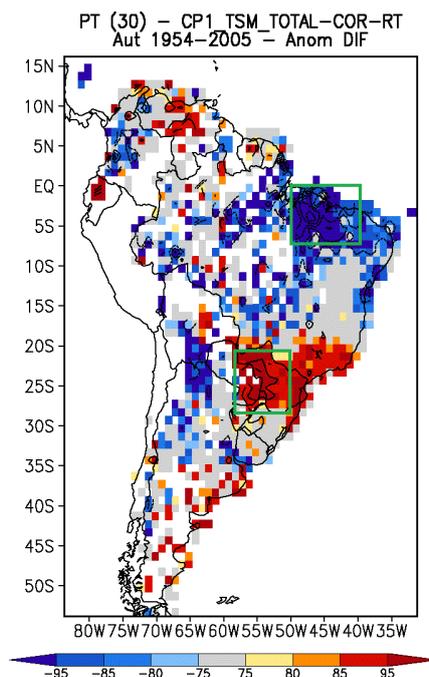


Figura 13 – Diferença entre as composições de anomalias de PT para fases opostas de ENOS (1º modo da ACP de TSM variabilidade interanual do outono). As manchas representam os níveis de confiança, especificados na barra de cores, e as isolinhas representam as anomalias, cujo intervalo é de 30 mm. As regiões com potencial de análise de mudança de distribuição da precipitação diária estão destacadas com linhas verdes.

4.5.1. DISTRIBUIÇÕES DE PRECIPITAÇÃO – TEÓRICA E EMPÍRICA

Para caracterizar as distribuições de densidade de probabilidade de chuva diária em fases positivas e negativas de uma oscilação foram realizados ajustes teóricos e empíricos, com base nas séries médias diárias, obtidas na seção anterior.

A distribuição empírica separa a precipitação diária em classes e calcula a frequência de ocorrência de cada classe.

A distribuição teórica que mais se ajusta à precipitação diária é a Distribuição Gama. Por esta razão, os ajustes teóricos realizados utilizam a Distribuição Gama e a Exponencial – que é definida como uma solução particular da Gama – para caracterizar a precipitação diária. A seguir serão demonstrados exemplos e os procedimentos utilizados.

A comparação entre os ajustes teóricos e empíricos é realizada com as figuras de frequência de classes de precipitação. Também são realizados testes

de aderência das distribuições, para determinar a distribuição que obteve o melhor ajuste.

Distribuição Empírica de Frequência

Uma das análises é quanto à distribuição de frequência empírica de classes de chuva para os dias com precipitação na fase neutra, negativa e positiva.

Distribuição Teórica da Frequência - Gama

Vários estudos mostram que a distribuição Gama reproduz melhor a distribuição de probabilidade de valores observados de precipitação em muitas regiões. Outra distribuição bastante utilizada com esse propósito é a exponencial, que é um caso particular da primeira, quando um de seus parâmetros é igual a um. Assim, dependendo da região, uma distribuição pode se ajustar melhor aos dados do que a outra, o que pode ser verificado com um teste de aderência.

Para ajustar a distribuição Gama na amostra foram utilizados os seguintes parâmetros:

$$\alpha_g = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4D}{3}}}{4D} \quad (8)$$

$$\beta_g = \frac{\mu}{\alpha} \quad (9)$$

onde, $D = \ln \mu - M$ sendo μ a média aritmética e M a média geométrica da amostra.

Para o ajuste é utilizado a seguinte função:

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\beta x}}{\Gamma(\alpha)} \quad (10)$$

onde $\Gamma(\alpha)$ é a função Gama:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (11)$$

Distribuição Teórica da Frequência - Exponencial

A Distribuição Exponencial é uma distribuição derivada da anterior, ou seja, um caso particular, quando $\alpha_g = 1$. Assim, temos a função Gama:

$$\Gamma(1) = \int_0^{\infty} t^{1-1} e^{-t} dt = [-e^{-t}]_{t=0}^{\infty} = 1 \quad (12)$$

E a Distribuição Gama se torna:

$$f(x) = \frac{\beta^1 x^{1-1} e^{-\beta x}}{1} = \beta e^{(-\beta x)} \quad (13)$$

que é a Distribuição Exponencial. De acordo com o método dos momentos, o parâmetro β pode ser calculado como o inverso da média dos dados. Como os dados estão agrupados em classes e temos suas frequências (f_i), é calculado o valor médio de cada i -ésima classe (x_i) e calcula-se a média dos dados de precipitação para determinada fase como uma média ponderada dos dados:

$$\mu = \frac{f_1 x_1 + f_2 x_2 + \dots + f_n x_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n} = \left[\sum_{i=1}^n f_i x_i \right]^{-1} \quad (14)$$

Para a Distribuição Exponencial, o parâmetro de ajuste é denominado λ e é calculado como o inverso da média. Portanto,

$$\lambda = \frac{1}{\mu} = \left[\sum_{i=1}^n f_i x_i \right]^{-1} \quad (15)$$

A média (μ) pode ser calculada, segundo o método da verossimilhança, como a simples média aritmética dos valores medidos de precipitação na amostra (separadamente para cada fase) por dias de chuva.

4.5.2. TESTE DE ADERÊNCIA - KOLMOGOROV-SMIRNOV

Foi realizado teste de aderência entre as distribuições empíricas e teóricas. O teste aplicado foi o de Kolmogorov-Smirnov (WILKS, 2006, p.148), que se baseia no desvio entre os dados amostrais e os ajustados em relação a suas funções distribuições de probabilidade acumuladas (FDA). Assim, o desvio entre duas funções $F_n(x)$ e $F(x)$ é dado pela equação:

$$D_s = \max|F_n(x) - F(x)| \quad (16)$$

Sendo $F(x)$ a função distribuição teórica acumulada e $F_n(x)$ a função distribuição de probabilidade acumulada empírica, estimada como $F_n(x_i) = i/n$ para o menor valor de posição i de um conjunto de n dados. Ou seja, segundo Wilks (2006), o teste KS procura pela maior diferença, em valor absoluto, entre as funções de distribuição acumulada empírica e a teórica.

Quando os parâmetros não foram estimados a partir de dados da amostra é possível realizar o teste utilizando como limite de desvio máximo a constante C_α de acordo com:

$$C_\alpha = \frac{K_\alpha}{\sqrt{n} + 0,12 + \frac{0,11}{\sqrt{n}}} \quad (17)$$

sendo $K_\alpha = 1,628$ para a significância de 0,01 e n o número de membros na amostra (Stephens 1974). Então, obtemos um limiar a partir da função empírica com o valor máximo (mínimo) igual a soma da função empírica e a constante $C_\alpha(-C_\alpha)$.

Na Figura 14 é feita uma demonstração da aplicação deste teste. Para a distribuição empírica $F(x)$ se adiciona $C_\alpha(-C_\alpha)$ e se estabelece como limite. Assim, a distribuição teórica apresentada, que está entre os limites, possui aderência com significância de 0,01, para $K_\alpha = 1,628$.

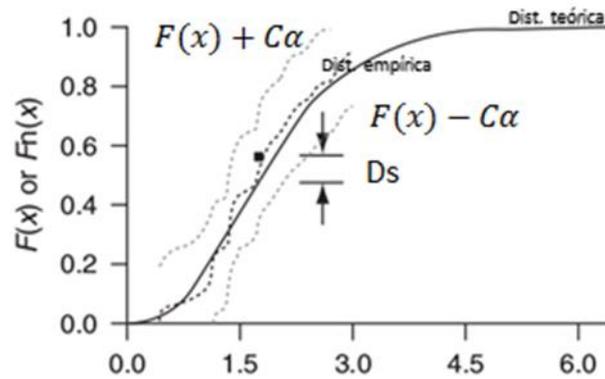


Figura 14 – Demonstração da aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov.
Fonte: Adaptado de: WILKS (2006)

4.5.3. TESTE DE DIFERENÇA ENTRE DISTRIBUIÇÕES

Mann-Whitney U

O MWU (também chamado de Mann-Whitney-Wilcoxon, teste de Wilcoxon *rank sum* ou o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney) é um teste não-paramétrico, ou seja, não utiliza parâmetros da própria distribuição para validar sua hipótese. Este teste é utilizado para verificar se há um deslocamento significativo na distribuição de densidade de probabilidade da precipitação, num sentido particular, de modo a verificar se duas séries de dados independentes podem seguir de populações distintas.

A sua formulação é dada pelo valor de U_i , para as duas séries do conjunto independentes ($i = 1$ ou $i = 2$):

$$U_i = R_i - \frac{n_i}{2}(n_i + 1) \quad (18)$$

onde R é a soma dos valores amostrais ordenados e n é o número de membros do conjunto de cada série (i).

Segundo Wilks (2006, p. 158), para utilizar o teste MWU em conjuntos numerosos, com mais de 10 membros, é utilizada uma distribuição Gaussiana de probabilidade, cujos parâmetros são a média (μ_U) e o desvio padrão (σ_U), calculados como:

$$\mu_U = \frac{n_1 n_2}{2} \quad (19)$$

$$\sigma_U = \left[\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12} \right]^{1/2} \quad (20)$$

E a função distribuição de probabilidade fica:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_U \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x - \mu_U)^2}{2\sigma_U^2} \right], -\infty < x < \infty \quad (21)$$

Assim, o teste segue a hipótese nula de que as distribuições são da mesma população e, para cada valor de $x = f(\mu_U, \sigma_U)$, se tem uma significância atribuída. A sua interpretação é relativa ao número de possíveis valores de U no conjunto.

No presente estudo, o referido teste foi aplicado a partir de uma função disponível na biblioteca do R, uma linguagem de programação matemática. Sua aplicação dispõe um nível de confiança e um valor de U, para o qual a hipótese nula é rejeitada.

Kolmogorov-Smirnov

O teste KS para a diferença de distribuições usa a máxima absoluta diferença entre as curvas de distribuição acumulada de duas amostras para testar se as amostras vêm de diferentes populações. Sua aplicação é similar à utilizada anteriormente, na equação (16 (seção 4.5.2.)). A única diferença é que é calculado o desvio máximo entre duas distribuições quaisquer F_m e F_n para cada item da amostra, pela equação:

$$D_s = \max |F_n(x_1) - F_m(x_2)| \quad (22)$$

sendo x_1 variável com n_1 observações e x_2 com m . Assim, para observação da máxima diferença entre as funções é utilizado o parâmetro desvio crítico (D_c):

$$D_c = \sqrt{\left(-\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m}\right) \ln \left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (23)$$

onde n e m são o tamanho das distribuições F_n e F_m e α é a significância adotada.

Assim como teste MWU, o KS aplicado nas séries foi baseado em uma função do R. Tal teste se baseia na hipótese nula de que duas amostras são da mesma distribuição normal. Para que as distribuições sejam significativamente distintas, ou seja, rejeitem a hipótese nula $D_s < D_c$ para um determinado nível α

Com esse teste pode-se, a partir dos conjuntos de precipitações para as fases positiva e negativa de uma oscilação climática, determinar se a distribuição de chuva é significativamente diferente para as duas fases. E, assim como teste MWU, delimita uma análise de significância da diferença entre séries e também podem ser aplicados para os índices.

Mais detalhes sobre a fundamentação e aplicação dos testes é descrita pela literatura e documentação das funções. (HOLLANDER e WOLFE, 1999; CONOVER, 1971; WILKS, p. 151 e 156, 2006).

4.6. QUADRO-RESUMO DA METODOLOGIA

Na Figura 15 é resumida a metodologia aplicada ao conjunto de dados. Os dados de TSM utilizados na determinação dos modos de oscilação climática são submetidos ao filtro Gaussiano para determinação de modos interdecadais e, no caso de ENOS (que é um modo interanual), os dados filtrados são subtraídos dos dados originais de TSM, de modo a só permanecer a variabilidade interanual. Em seguida, as séries assim obtidas são submetidas à ACP, na qual haverá a determinação de modos de variabilidade e a classificação de fases positivas e negativas a partir destes. Os dados de precipitação são utilizados para se obter os índices de precipitação e estes também são submetidas ao filtro Gaussiano, quando consideradas análises interdecadais. Esses procedimentos, além da análise realizada na precipitação diária, são resumidos no esquema a seguir.

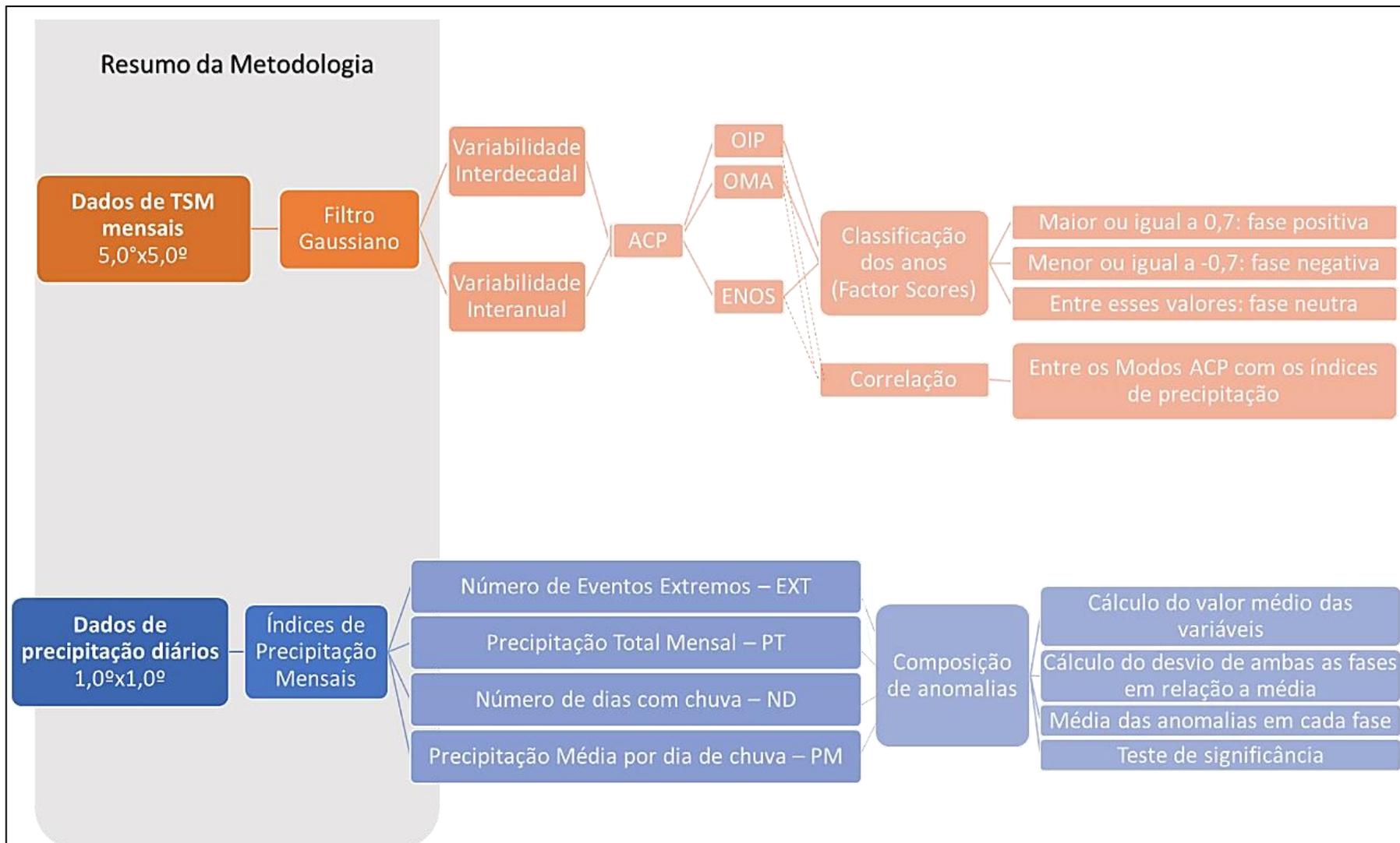


Figura 15 – Resumo da metodologia a ser aplicada com o conjunto de dados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com a metodologia apresentada na seção 4. As estações escolhidas para análise foram o outono e o inverno do Hemisfério Sul, representadas pela média dos índices nos meses de março, abril e maio e de junho, julho e agosto, respectivamente. A apresentação será feita primeiramente para o outono e em seguida para o inverno, para cada modo.

No outono há predominância de precipitação no oeste da Região Sul do Brasil e também no Nordeste do país, conforme já indicado na Figura 1. Para o Nordeste, isso ocorre porque no final do verão e durante o outono, as células de Hadley convergem um pouco abaixo da linha do equador, de tal forma que o fluxo de ar ascendente ocorre sobre o Nordeste brasileiro, ou seja, esta passa a ser uma zona de intensa precipitação. Isto está associado ao fato de que, a TSM no Oceano Atlântico tem um aumento significativo ao sul do equador no outono austral, onde atinge valores máximos, causando a variação latitudinal da Zona de Convergência Intertropical, pois a TSM é uma forçante da precipitação (CPTEC/INPE, 2014).

No inverno, a porção litorânea ou extremo-leste da América do Sul torna-se mais seca, enquanto que a oeste, principalmente na Região Norte, ao norte do Equador, há níveis de precipitação mais intensos, como pode ser observado na Figura 1, tendo em vista que esta é a estação de verão nessa região, que está sob o domínio do regime de monções. No verão austral os mais intensos núcleos de precipitação estão ao sul do equador, nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, que também tem regime de monções. No outono e inverno austrais tais núcleos migram para o setor noroeste da América do Sul, acompanhando a migração anual da convecção profunda (CPTEC/INPE, 2014), sendo o inverno a estação seca bem definida nessas regiões (Figura 1).

5.1. EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL

ENOS é um modo de variabilidade interanual que tem seus impactos bem definidos sobre as estações na América do Sul, sendo a maior parte dos seus efeitos mais severos durante a primavera e verão (GRIMM E TEDESCHI; 2009, TEDESCHI et al.; 2015, GRIMM et al.; 1998, 2000), embora também já tenham sido obtidos registros de grandes impactos no outono e no inverno (TEDESCHI et al., 2016).

Para o outono e inverno, a característica de ENOS é influenciar aumento de precipitação na fase positiva (EN) e redução de precipitação na fase negativa (LN) no sul do continente e o oposto para o norte. (TEDESCHI, et al. 2016).

5.1.1. OUTONO

Análises sazonais

O modo de variabilidade ENOS no outono foi identificado como o 1º modo na ACP interanual de TSM, cujos *Factor Scores* (FS) e *Factor Loadings* (FL) são mostrados na Figura 16. A partir do FS deste modo foram identificados os anos de cada fase da oscilação, sendo positiva para valores acima de $0,7 \times$ desvio padrão, negativa para valores abaixo de $-0,7 \times$ desvio padrão e anos neutros com valores intermediários. A seguir são descritas as anomalias, correlações e distribuições para os índices analisados.

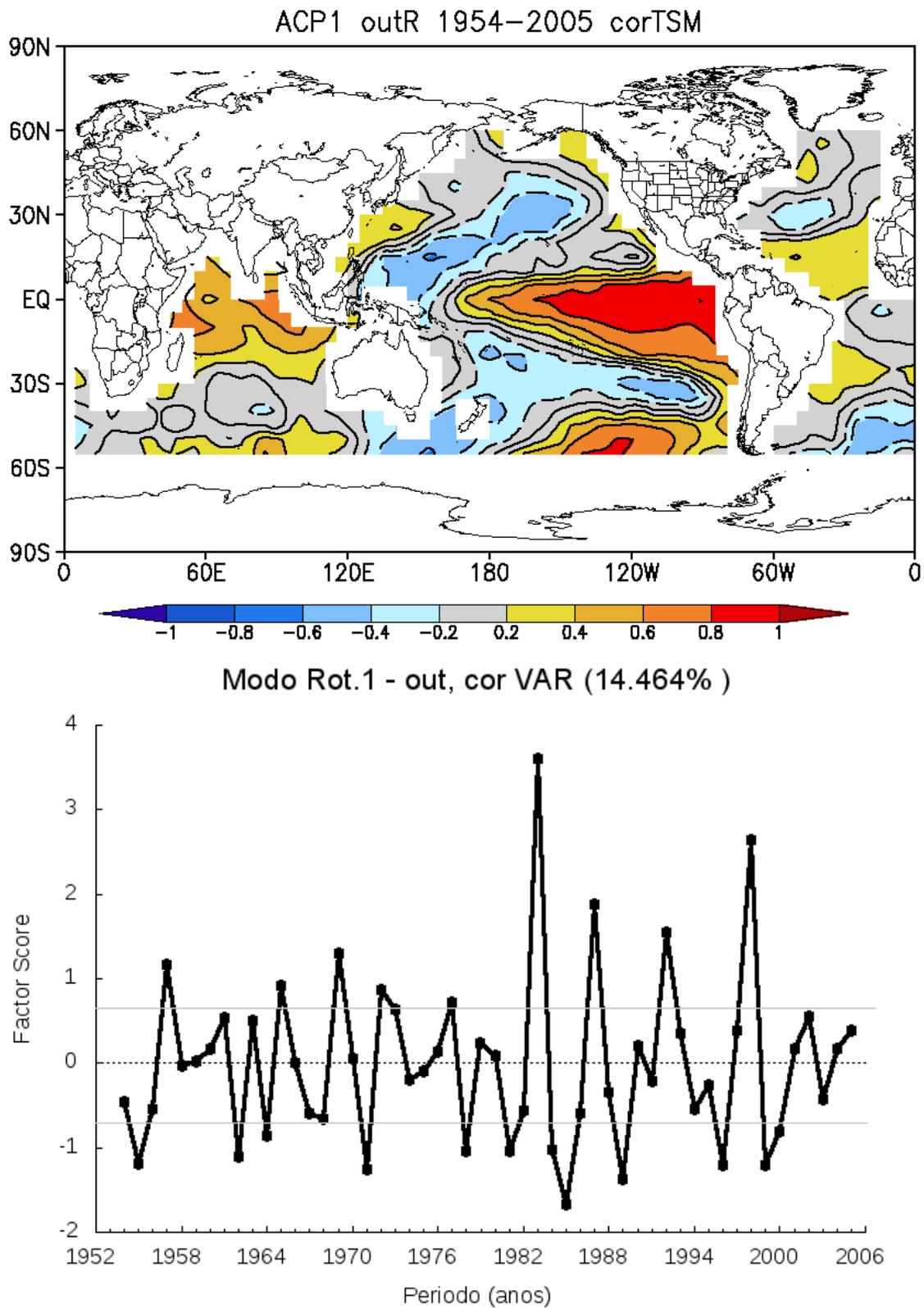


Figura 16 – 1º modo interanual de variabilidade da TSM no outono, caracterizando a oscilação ENOS. *Factor loadings (FL)* acima e *factor scores (FS)* abaixo. – Outono ENOS.

Com base nos anos de fases positiva (EN) e negativa (LN), foram compostas anomalias para estas fases do modo e dispostas na Figura 17. Elas confirmam os efeitos característicos de ENOS sobre a precipitação, vistos em diversos estudos.

Na composição de anomalias de PT nota-se aumento de precipitação (anomalias positivas) na fase positiva (EN) na Região Sul do Brasil até parte sul da Região Centro-Oeste e redução (anomalias negativas) nas Regiões Norte e Nordeste. Na fase negativa (LN) as anomalias são aproximadamente opostas.

As anomalias de ND seguem aproximadamente a mesma distribuição das de PT, mas não completamente. Isto significa que o aumento ou diminuição da precipitação não está ligada apenas ao número de dias de chuva (ND), mas também à quantidade de chuva em cada evento de precipitação (PM). Um exemplo de que nem sempre ambos os fatores contribuem à variação da precipitação de forma semelhante está no Nordeste do Brasil, onde ND não se alterou para EN, mas PM diminuiu significativamente, resultando em diminuição da precipitação total (PT). Contudo, de forma geral, nota-se mais semelhança entre PT e ND do que PT e PM, indicando a maior influência de aumento do número de dias chuvosos.

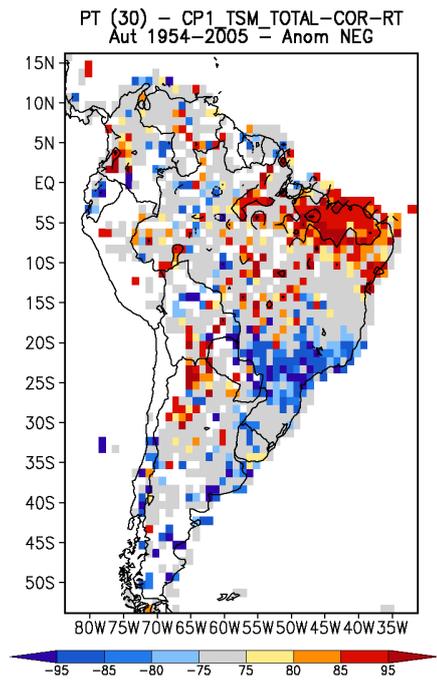
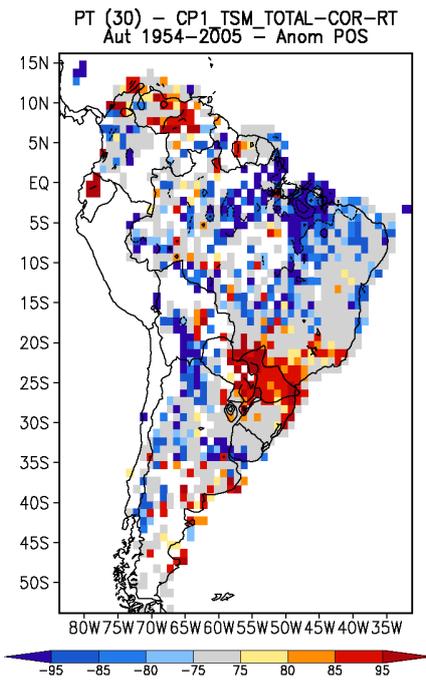
Os padrões de anomalias de PT e EXT são semelhantes entre si, mostrando a substancial contribuição da variação do número de eventos extremos à variação da precipitação total. Assim como para PT, no Nordeste do Brasil, PM também parece ter tido mais influência que ND na diminuição de EXT durante EN. No oeste do Sul do Brasil/Paraguai, no entanto, parece que ambos os fatores contribuem para o aumento de EXT em EN.

Em seguida (Figura 18), é mostrada a distribuição espacial dos coeficientes de correlação do modo ENOS com os índices. Como a Figura 16 representa o modo em fase positiva (EN), a correlação mostra coerência com os valores de aumento/redução do índice em fase positiva, em regiões com inversão na fase negativa. Assim, analisando a Figura 18, se confirmam as mesmas considerações apresentadas com as composições de anomalias.

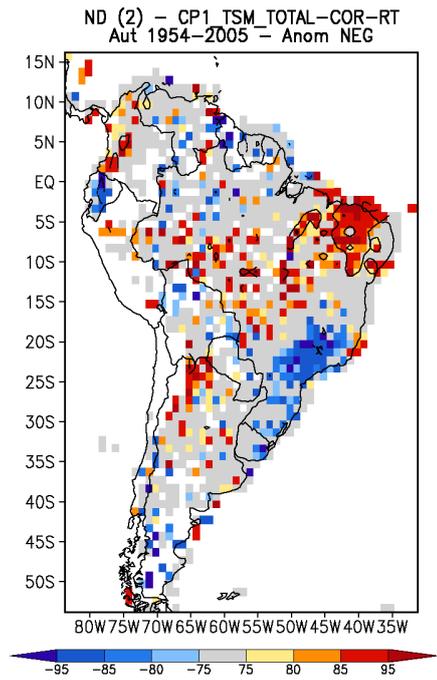
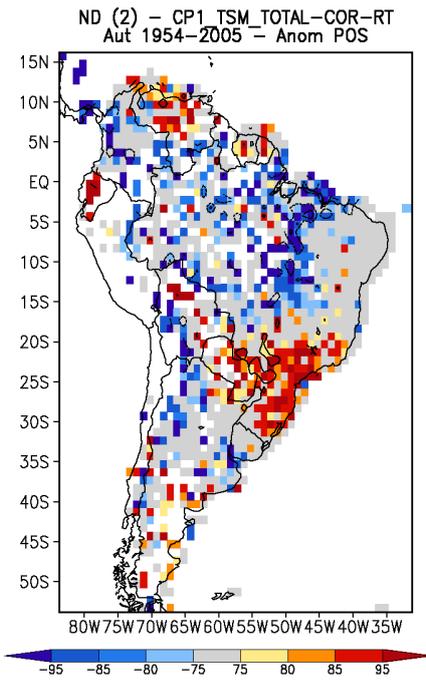
EN

LN

PT



ND



Continua na próxima página.

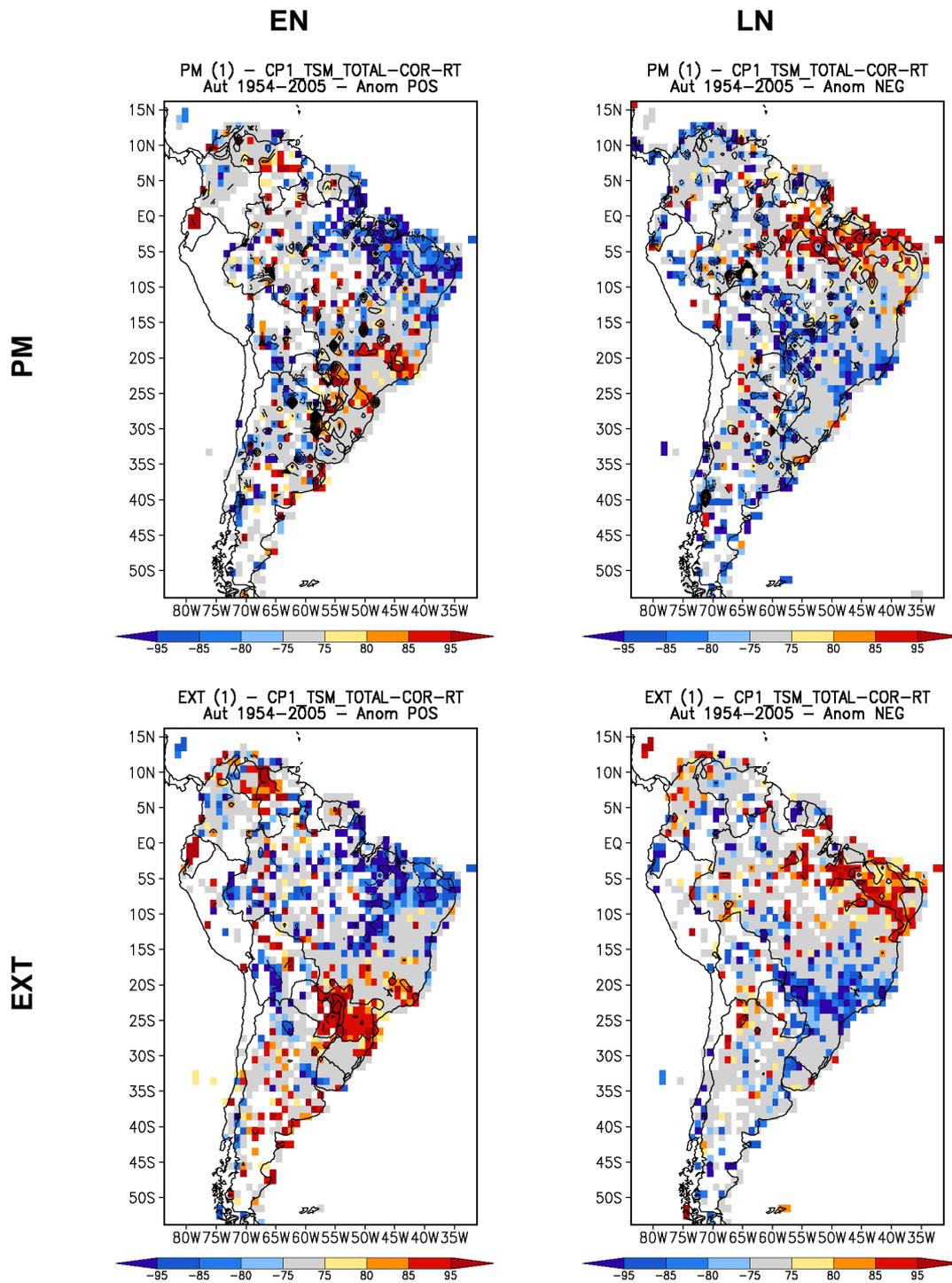


Figura 17 – Composição de anomalias de PT, ND, PM e EXT (de cima para baixo) para EN (esquerda) e LN (direita). As manchas representam os níveis de confiança, especificados na barra de cores, e as isolinhas representam as anomalias, cujo intervalo é de 30 mm (PT), 2 dias (ND), 1 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Outono ENOS.

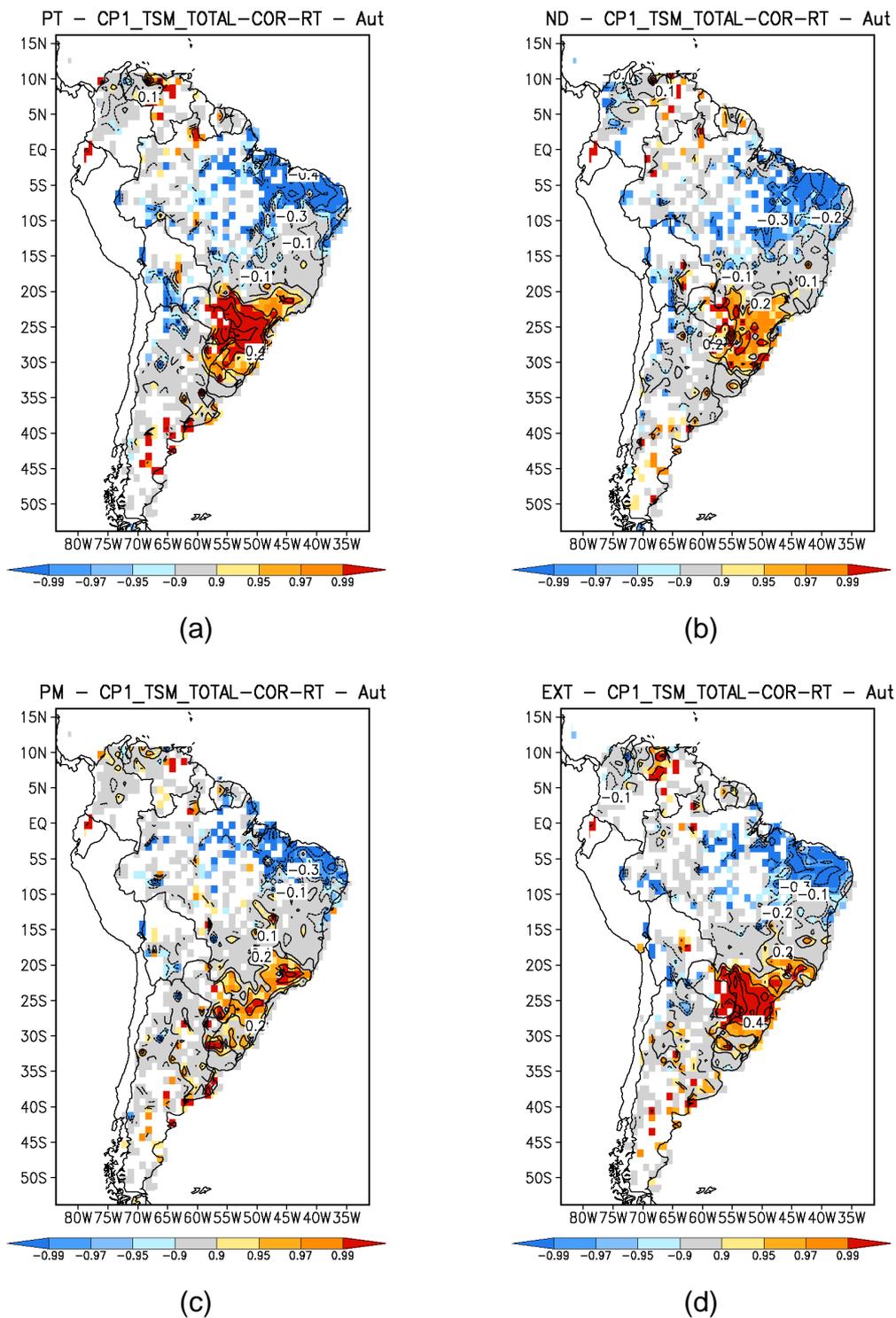


Figura 18 – Correlação entre o modo ENOS e PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d). As manchas representam o nível de confiança e as isolinhas e números os valores de correlação. – Outono ENOS.

Os resultados de diferentes índices, nas duas análises, mostram o impacto característico da oscilação ENOS, já comprovado por outros estudos anteriores (TEDESCHI et al., 2016). Ou seja, há conexão entre o aumento (diminuição) de número de dias com chuva e o aumento (diminuição) da

precipitação para EN (LN) na Região Sul e o contrário nas Regiões Norte/Nordeste do Brasil.

Além destes resultados, foram calculadas distribuições estatísticas de probabilidade para cada um dos índices em fases opostas, para quadrículas selecionadas. A seleção, para esse modo, foi baseada na diferença entre anomalias de PT, PM e EXT na diferença para anos EN e LN (Figura 19).

Em razão do modo ser um dos mais influentes sobre os níveis de precipitação tanto no Norte/Nordeste, quanto no Sul/Sudeste (Figura 19), optou-se por realizar a análise com quadrículas de ambas as regiões, que seguirá descrito a seguir. As quadrículas escolhidas estão destacadas em verde na Figura 19.

Para a Região Sul, as 25 quadrículas selecionadas se localizam nas latitudes 20,5°S-25,5° Sul e longitude 56,5°O-51,5° Oeste e possuem, pelo menos para PT (Figura 19, (a)), mais de uma isolinha positiva de anomalias que indica aumento de PT em até 60 mm na fase positiva do modo.

As quadrículas selecionadas na Região Nordeste também foram destacadas em verde na Figura 19. Na região, ocorrem até 4 isolinhas de anomalias de PT, que indicam redução em até 4 x 30 mm em anos EN. Por ser de alto impacto, foram selecionadas 34 quadrículas de latitudes 0,5° a 5,5° Sul e as longitudes 49,5° e 42,5° Oeste, localizadas tanto no Norte quanto no Nordeste do país, porém essa região será tratada, daqui em diante, por região “Nordeste”.

As quadrículas para os outros índices foram as mesmas utilizadas para PT, a fim de compararmos a análise de diferentes índices para a mesma região.

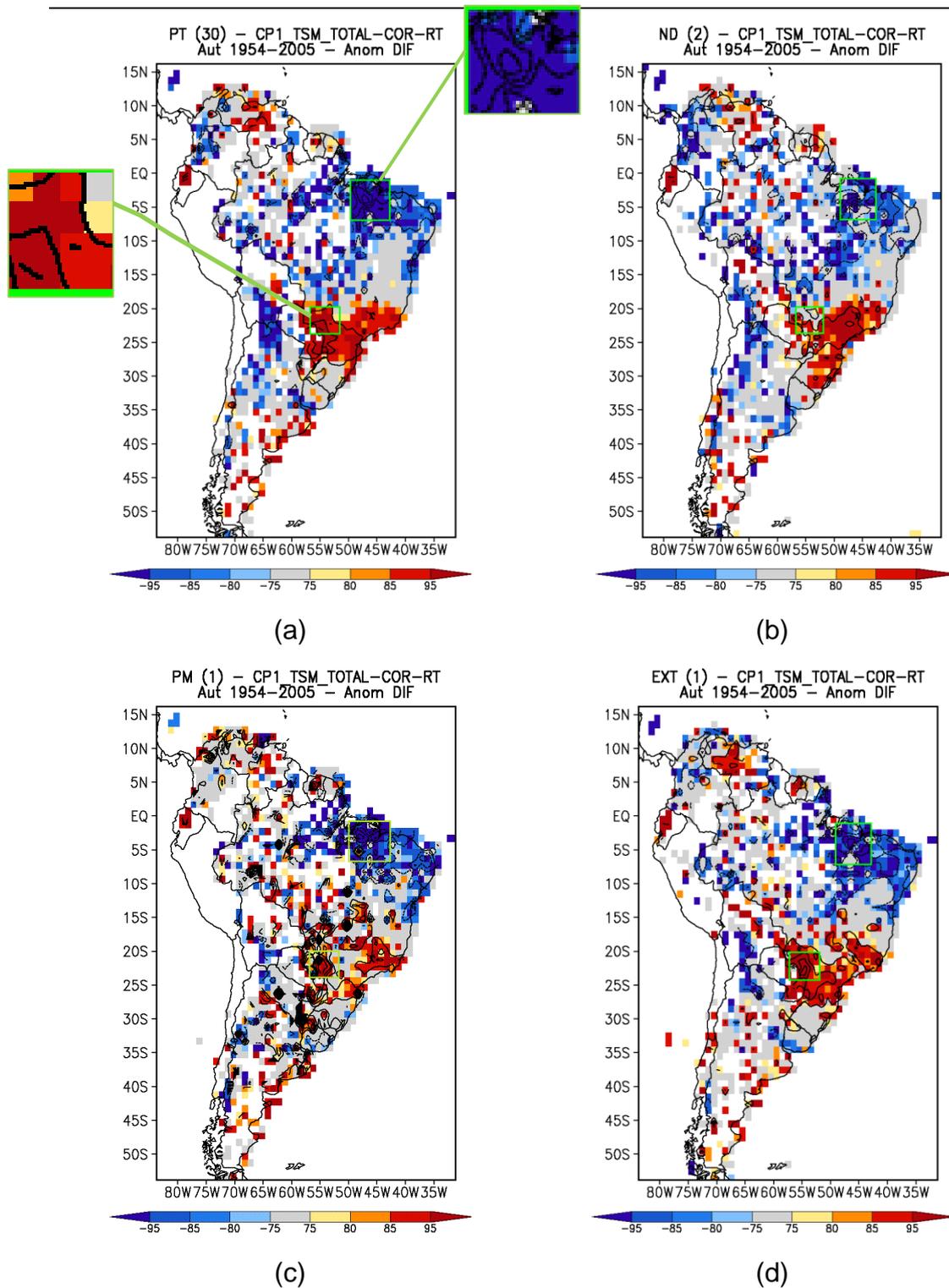


Figura 19 – Diferença entre composição de anomalias de EN e LN para PT (a), ND (b), PM (c), e EXT (d). As manchas representam a significância, conforme barra de cores, e o intervalo entre isolinhas é de 30 mm (PT), 2 dias (ND), 1 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Outono ENOS. As quadrículas escolhidas se encontram na região assinalada em verde.

Os testes KS e MWU realizados para cada quadrícula entre as fases positiva e negativa indicaram diferenças significativas entre fases em ambas as

regiões. Para a Região Sul, a Tabela 2 relaciona o número de quadrículas e os níveis de confiança em que há diferença significativa entre as fases positiva e negativa, de acordo com os dois testes.

As funções densidade de probabilidade (FDPs) das séries das quadrículas em cada fase estão mostradas na Figura 20. Nesta figura, visualmente são percebidas diferenças entre as curvas na fase positiva (vermelhas) e as curvas na fase negativa (azuis) para PT e ND, com relação às contribuições individuais das quadrículas. A maior das diferenças ocorre nos picos de probabilidade. No caso, em ambos os índices, as curvas na fase positiva têm maior probabilidade para classes de maiores valores dos índices, com pequeno desvio na média das quadrículas.

A PM possui picos de probabilidade em valores muito próximos nas duas fases, na maior quantidade de quadrículas, inclusive na média. Por sua vez, as quadrículas de EXT demonstraram distância entre os picos de probabilidade quando analisadas individualmente, apesar da média das quadrículas não indicar tal resultado.

A Figura 20 está coerente com o resultado dos testes na Tabela 2. O teste de MWU indica, com 95 % de confiança, que as fases EN e LN geram diferentes séries de PT em cerca de 70% das quadrículas analisadas. Para ND, 6 quadrículas obtiveram diferença significativa (com 95 % de confiança para o teste de MWU). Já para PM e EXT foram 8 quadrículas nessa situação. Contudo, todos os índices demonstraram que mais da metade das quadrículas tem diferenças significativas entre fases EN/LN com nível de 70% de confiança em ambos os testes (exceto ND, que só obteve para o teste de KS).

Tabela 2 – Frequência (porcentagem) de quadrículas nas quais há diferença entre a fase positiva e negativa de cada índice, de acordo com os níveis de confiança dos testes KS e MWU. – Outono ENOS: Sul. Valores sublinhados contemplam mais de 50% das quadrículas.

Nível de Confiança	95%		70%	
	KS	MWU	KS	MWU
PT	8/24(33,3%)	<u>17/24(70,8%)</u>	<u>20/24(83,3%)</u>	<u>20/24(83,3%)</u>
ND	5/24(20,8%)	6/24(25,0%)	9/24(37,5%)	<u>16/24(66,7%)</u>
PM	6/24(25,0%)	8/24(33,3%)	<u>16/24(66,7%)</u>	<u>17/24(70,8%)</u>
EXT	5/24(20,8%)	8/24(33,3%)	<u>16/24(66,7%)</u>	<u>17/24(70,8%)</u>

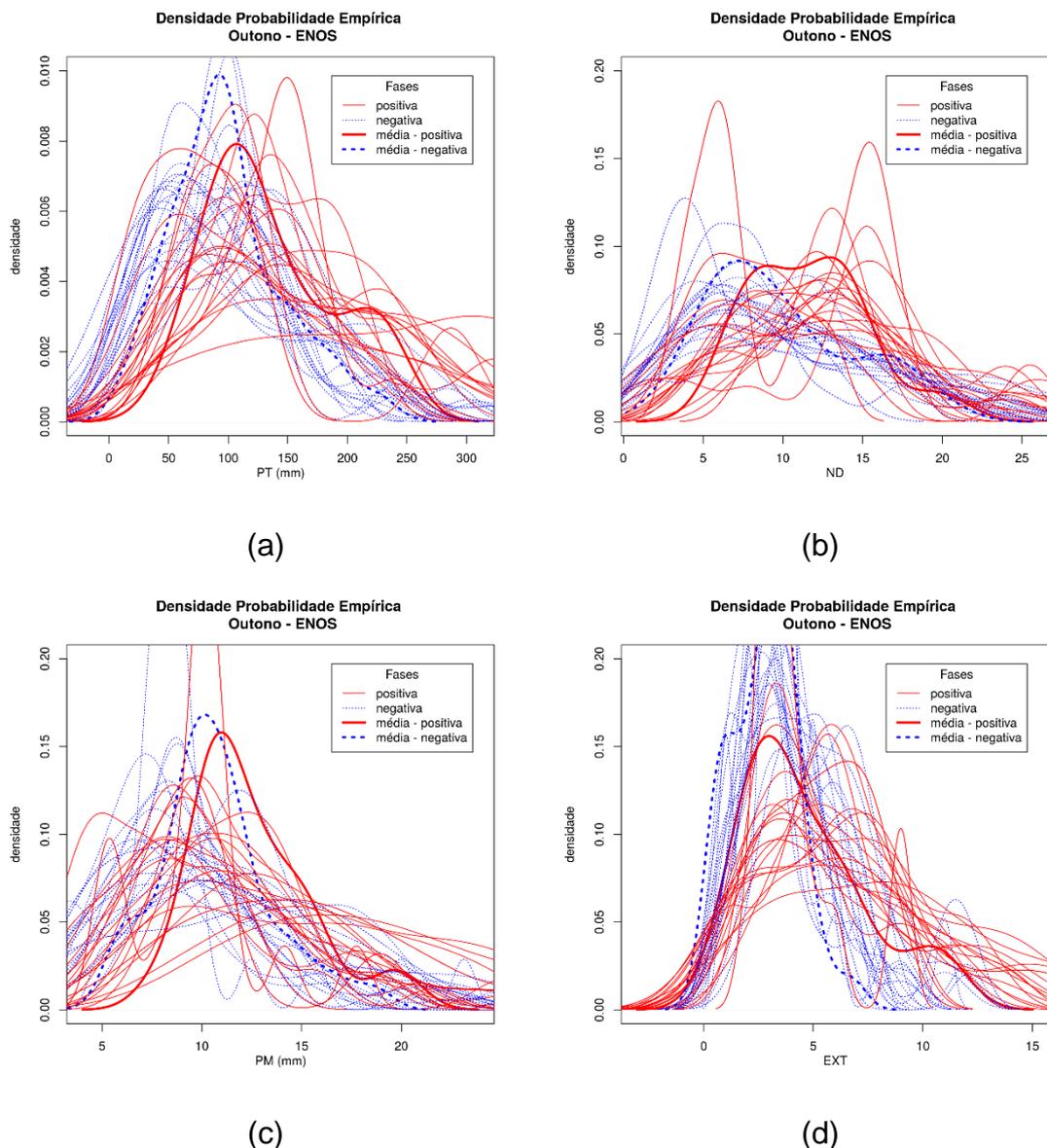


Figura 20 – Funções densidade de probabilidade de PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d) para EN (vermelho) e LN (azul). – Outono ENOS: Sul. Cada linha representa uma quadrícula e as linhas grossas as médias das quadrículas.

A Tabela 3 relaciona o número de quadrículas e os níveis de confiança em que há diferença significativa entre as fases positiva e negativa, de acordo com os dois testes, para a Região Nordeste. As funções densidades de probabilidade dos índices estão dispostas na Figura 21.

Tabela 3 – Frequência (porcentagem) de quadrículas nas quais há diferença entre a fase positiva e negativa de cada índice, de acordo com os níveis de confiança dos testes KS e MWU. – Outono ENOS: Nordeste. Valores sublinhados contemplam mais de 50% das quadrículas.

Nível de Confiança	95%		70%	
	KS	MWU	KS	MWU
PT	13/34(38,2%)	<u>18/34(52,9%)</u>	<u>25/34(73,5%)</u>	<u>30/34(88,2%)</u>
ND	6/34(17,6%)	<u>18/34(52,9%)</u>	<u>27/34(79,4%)</u>	<u>29/34(85,3%)</u>
PM	5/34(14,7%)	7/34(20,6%)	<u>17/34(50,0%)</u>	<u>21/34(61,8%)</u>
EXT	1/34(2,9%)	5/34(14,7%)	9/34(26,5%)	<u>21/34(61,8%)</u>

Nas funções densidade de probabilidade (Figura 21) é percebida diferença entre a nuvem de curvas de fases positivas e negativas para os índices PT, PM e ND. As médias das séries, no entanto, não demonstram ser tão representativas da região.

É possível observar na Figura 21, diferenças entre as FDPs dos índices para as fases opostas de ENOS. Para PT na fase positiva a maior probabilidade ocorre para valores de precipitação menores do que 200 mm e na fase negativa, para 300 mm. Outros índices (ND, PM e EXT) também demonstram resultados semelhantes, ou seja, há uma gama mais ampla de valores com menores e mais semelhantes probabilidades de ocorrência na fase negativa.

Essa análise reflete no resultado dos testes na Tabela 3, na qual PT e ND demonstram diferenças nas distribuições em fase positiva e negativa em mais de metade das quadrículas com 95 % de confiança no teste de MWU. O PM e o EXT também demonstram diferenças entre fases opostas para mais metade das quadrículas, porém com confiança de 70 % (MWU).

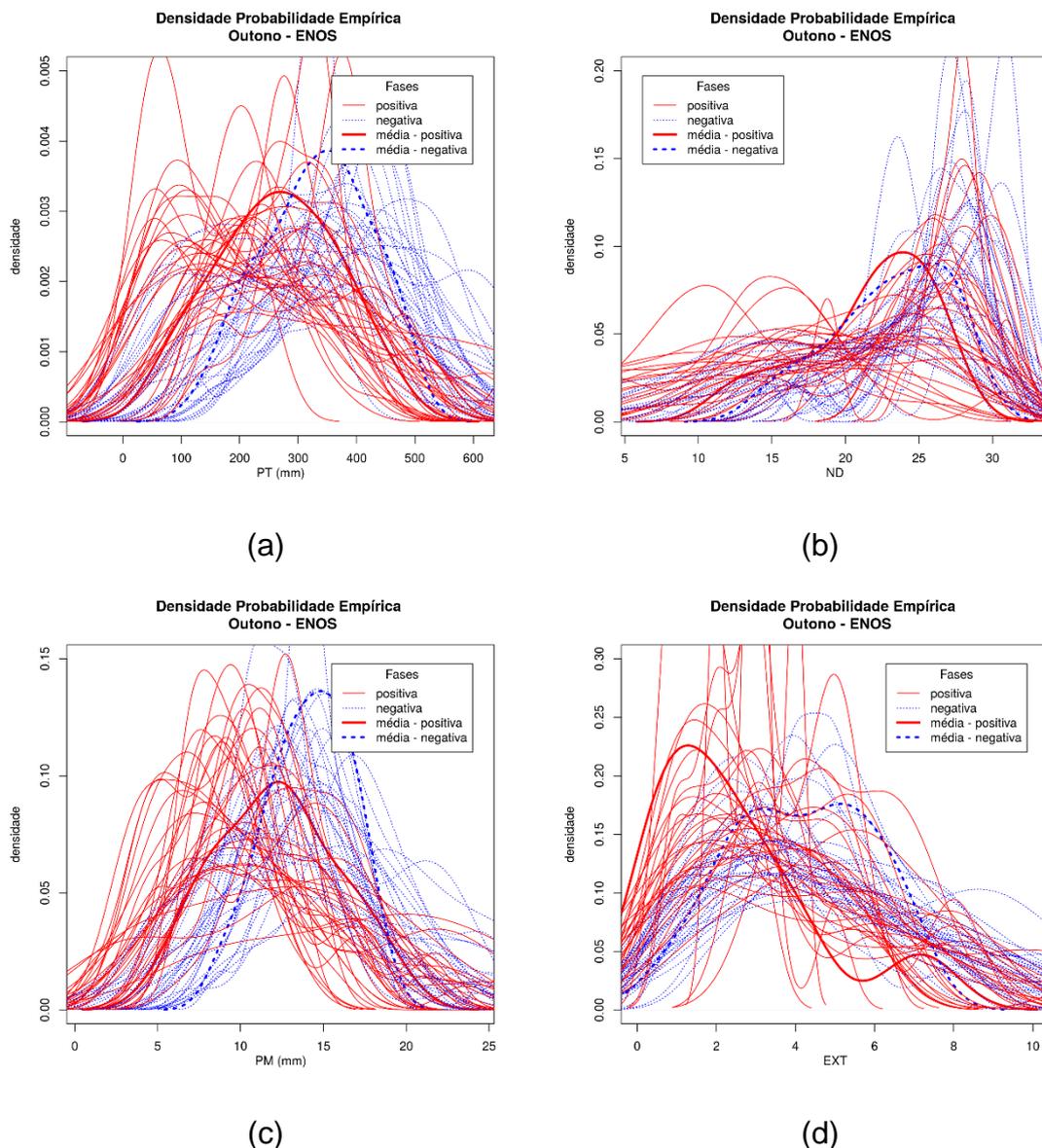


Figura 21 – Funções densidade de probabilidade de PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d) para EN (vermelho) e LN (azul). – Outono ENOS: Nordeste. Cada linha representa uma quadrícula e as linhas grossas as médias das quadrículas.

Análise das distribuições da precipitação diária

As análises da distribuição de precipitação diária foram feitas para a média das séries de precipitação diária das quadrículas em cada fase, para as áreas selecionadas nas Regiões Sul e Nordeste do Brasil (Figura 19).

A Figura 22 mostra, para cada intervalo de valores de precipitação, o logaritmo da razão entre a frequência de eventos em cada fase (positiva ou negativa) e a fase neutra, para as distribuições de precipitação diária empírica de cada fase e os ajustes teóricos (Gama e Exponencial) para a Região Sul e a Figura 23 mostra para o Nordeste. Já os testes de aderência realizados para as

distribuições teóricas estão na Figura 24 e Figura 25, para a Região Sul e Nordeste, respectivamente.

Na Figura 22 já é possível constatar que as fases opostas de ENOS também geram diferentes séries de precipitação diária. No caso, há maior frequência de eventos severos na fase positiva, em relação à fase neutra. A Figura 23 também mostra o mesmo resultado, porém, com a fase positiva sendo responsável pela redução na frequência de eventos severos, com relação à fase neutra e também pelo aumento proporcional na ocorrência de eventos mais fracos.

Para tais séries médias de precipitação diária em fases opostas, foi aplicado o teste de diferença entre as distribuições de KS. Como resultado, em ambas as regiões, a hipótese nula foi rejeitada com 95 % de confiança, ou seja, as distribuições de precipitação diária são diferentes em fases opostas.

Com relação à aderência das distribuições teóricas aos dados, a Região Sul demonstrou um ajuste aceitável onde até, pelo menos, 5 mm de precipitação como pode-se notar pela distância entre o acumulado e os limites de aderência de KS (Figura 24 – Sul). No Nordeste ambas as distribuições teóricas têm ajuste a partir de cerca de 9 mm na fase positiva, com pequenos desvios para valores de precipitação mais elevados. Entretanto, na fase negativa o ajuste além de ocorrer defasadamente (apenas em 13 mm) a distribuição exponencial teve desvios para valores de precipitação mais elevados.

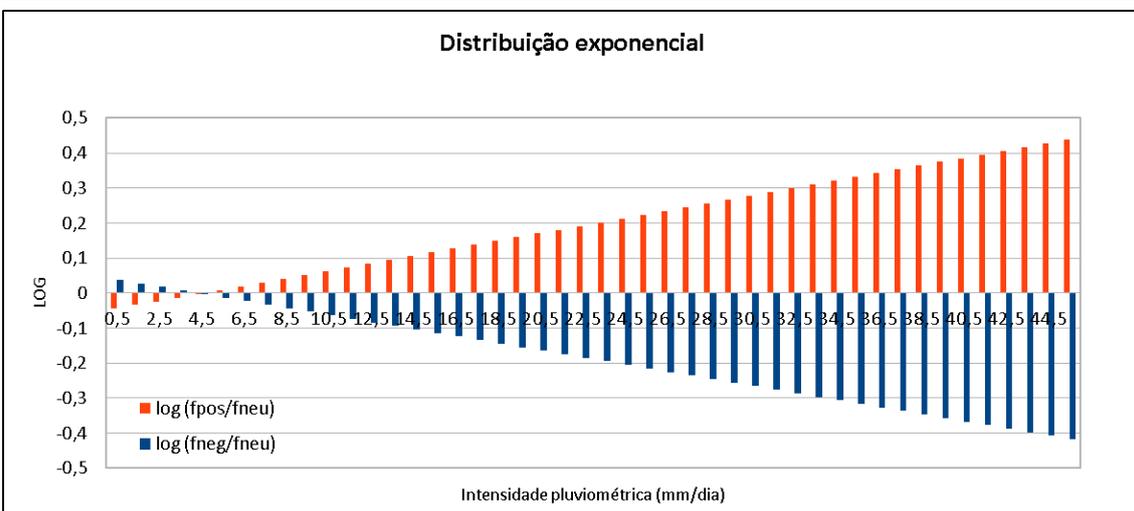
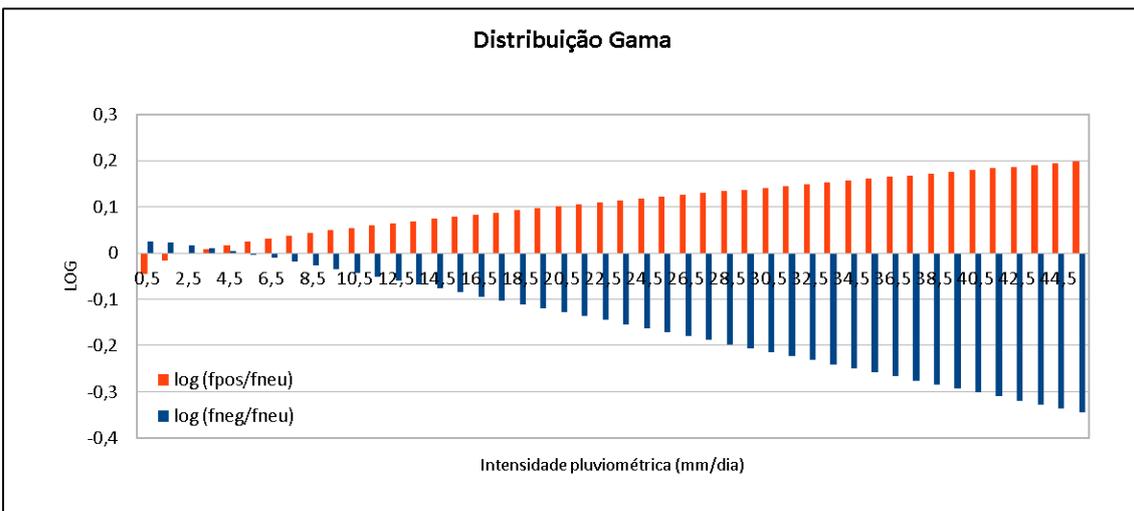
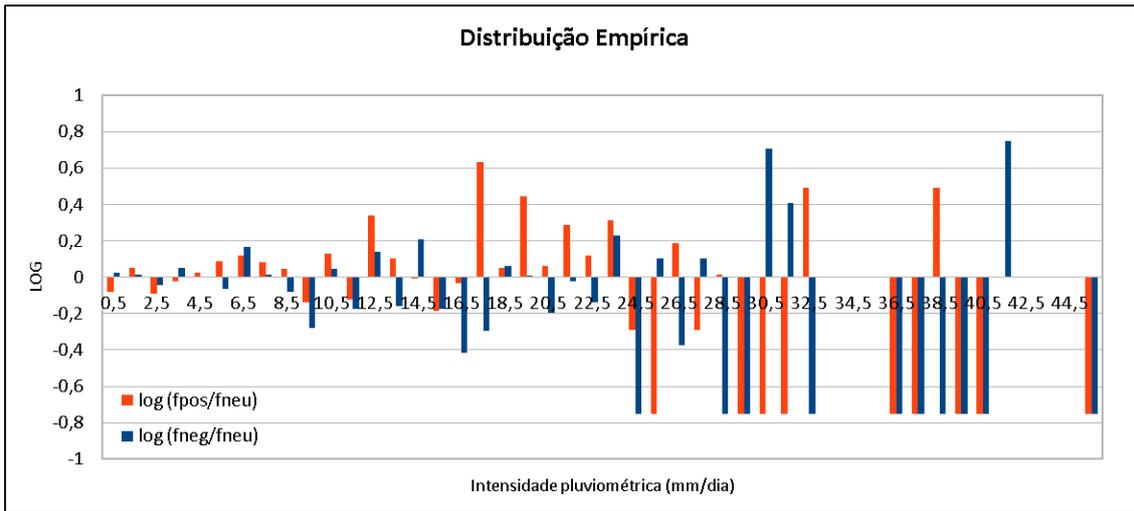


Figura 22 – Logaritmo da razão f_{pos}/f_{neu} (em vermelho) e f_{neg}/f_{neu} (azul) para cada intervalo de precipitação diária¹. De cima para baixo: distribuição empírica, Gama e exponencial. – Outono ENOS: Sul.

¹ Quando o valor da razão é infinito (sem ocorrências na fase neutra) o valor plotado é 0,75; quando a razão é 0 (sem ocorrências na fase positiva ou negativa) o valor plotado é -0,75; e, quando o valor da razão é 0:0 o valor plotado é 0. Demais valores de razão são plotados na escala logarítmica. (f_{pos} = frequência na fase positiva; f_{neg} = frequência na fase negativa; f_{neu} = frequência na fase neutra)

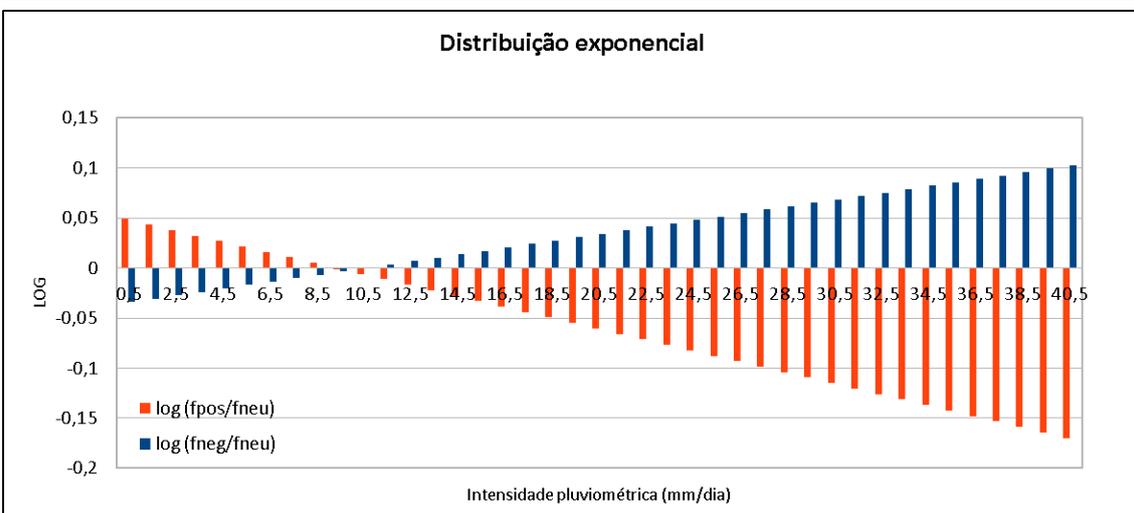
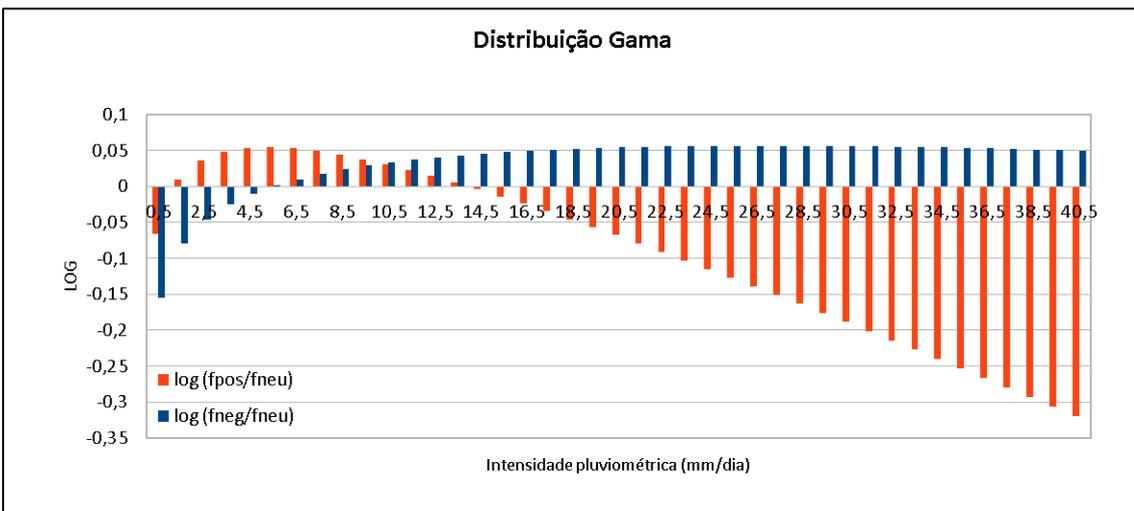
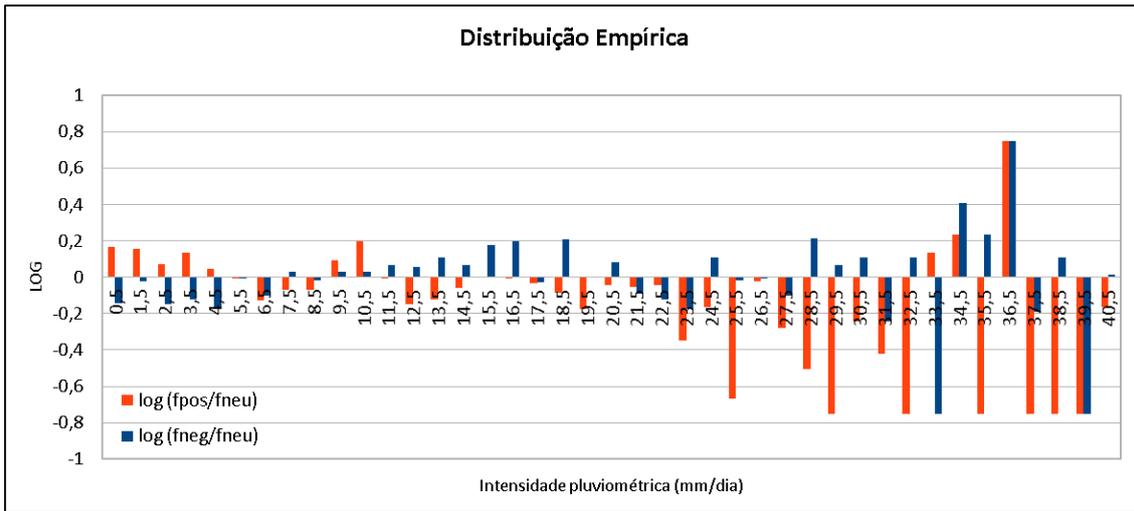


Figura 23 – Logaritmo da razão f_{pos}/f_{neu} (em vermelho) e f_{neg}/f_{neu} (azul) para cada intervalo de precipitação diária². De cima para baixo: distribuição empírica, Gama e exponencial. – Outono ENOS: Nordeste.

² Quando o valor da razão é infinito (sem ocorrências na fase neutra) o valor plotado é 0,75; quando a razão é 0 (sem ocorrências na fase positiva ou negativa) o valor plotado é -0,75; e, quando o valor da razão é 0:0 o valor plotado é 0. Demais valores de razão são plotados na escala logarítmica. (f_{pos} = frequência na fase positiva; f_{neg} = frequência na fase negativa; f_{neu} = frequência na fase neutra)

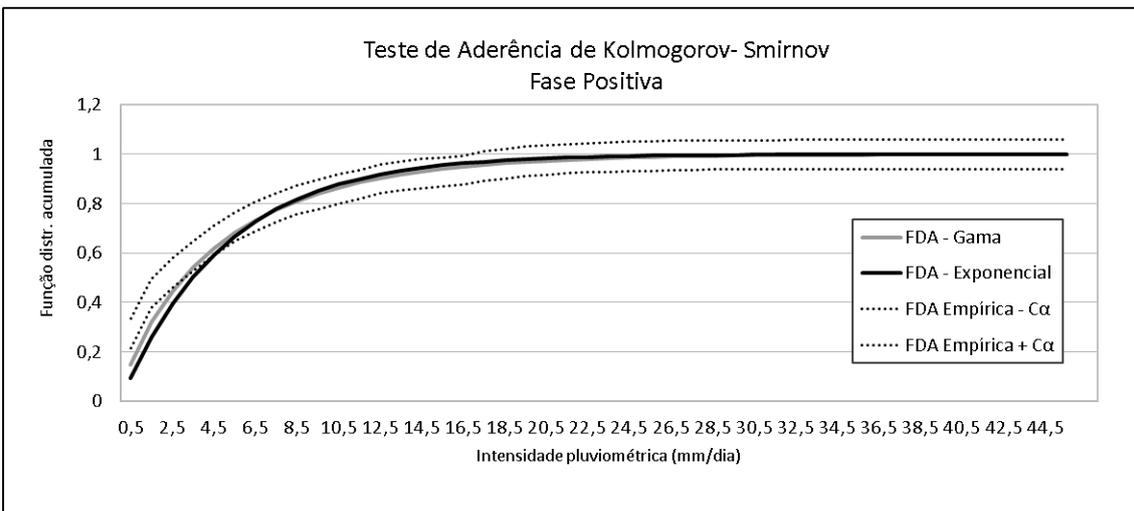
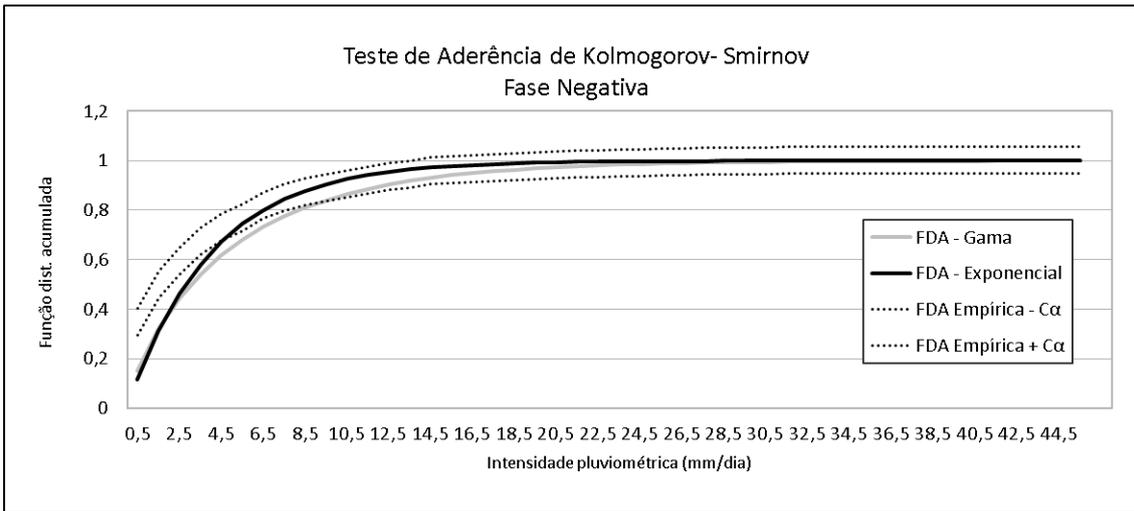


Figura 24 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov. Comparação entre as funções de distribuições acumuladas (FDA): Gama (em cinza), Exponencial (preta) e, em linhas pontilhadas estão os limites do intervalo de 95% de confiança para a verdadeira FDA da qual os dados foram retirados. - Outono ENOS: Sul.

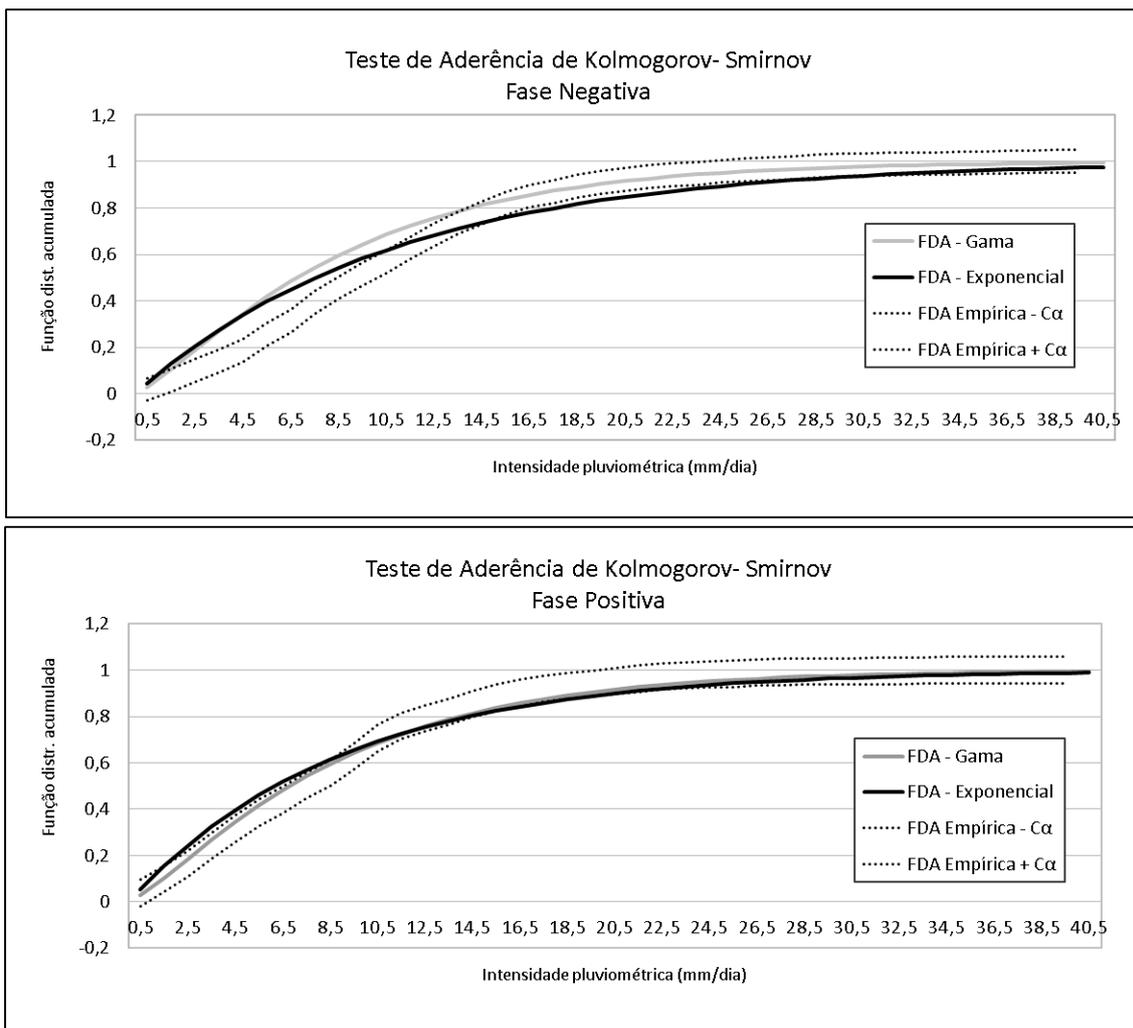


Figura 25 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov. Comparação entre as funções de distribuições acumuladas (FDA): Gama (em cinza), Exponencial (preta) e, em linhas pontilhadas estão os limites do intervalo de 95% de confiança para a verdadeira FDA da qual os dados foram retirados. - Outono ENOS: Nordeste.

5.1.2. INVERNO

Análises sazonais

O modo de variabilidade ENOS no inverno foi identificado como o 1º modo na ACP interanual de TSM, que está mostrado na Figura 26. A partir do FS deste modo foram identificados os anos de cada fase da oscilação, sendo positiva para valores acima de $0,7 \times$ desvio padrão, negativa para valores abaixo de $-0,7 \times$ desvio padrão e anos neutros com valores intermediários. A seguir, serão descritas as anomalias, correlações e distribuições para os índices analisados.

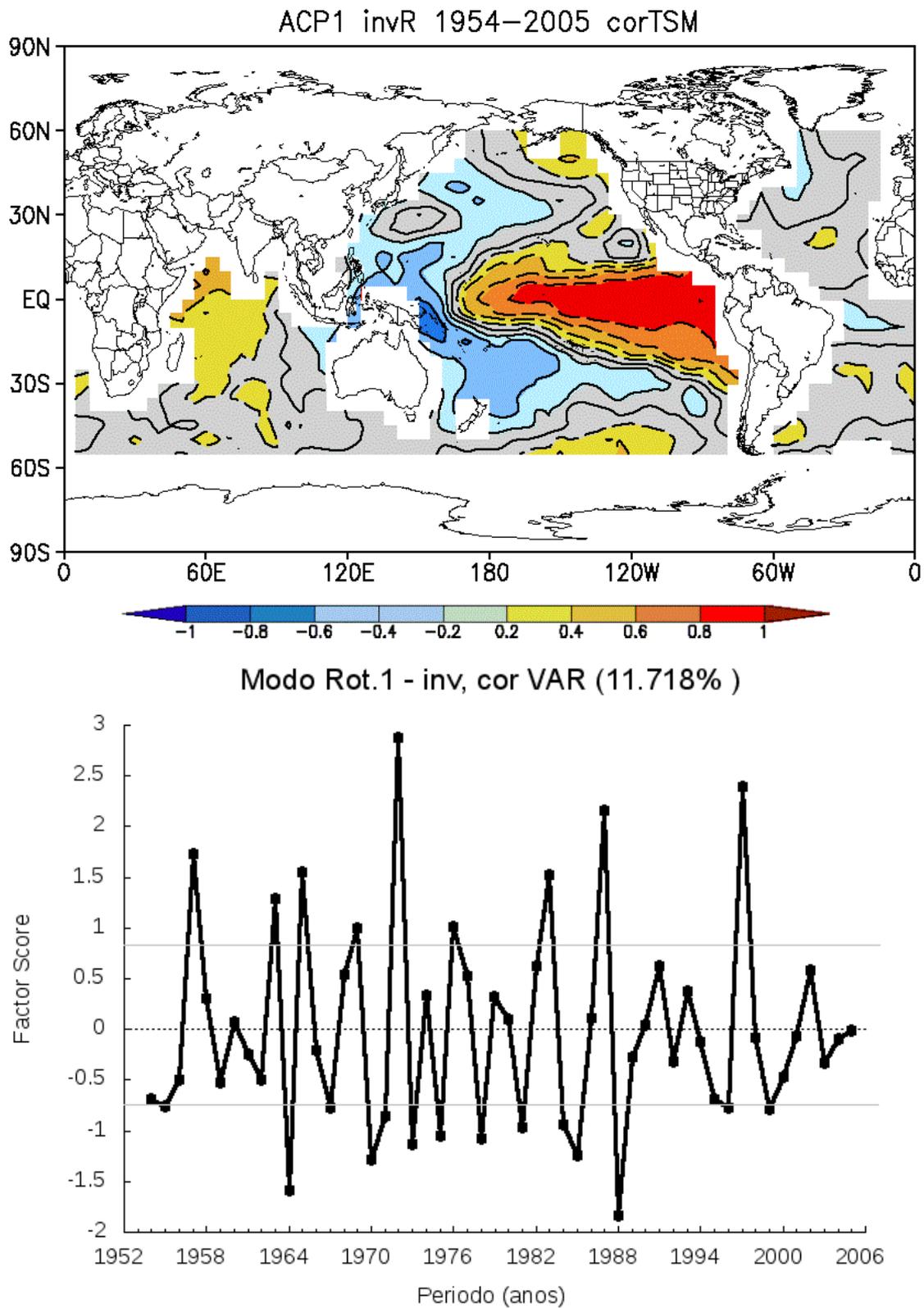


Figura 26 – 1º modo interanual de variabilidade da TSM no inverno, caracterizando a oscilação ENOS. *Factor loadings (FL)* acima e *factor scores (FS)* abaixo. – Inverno ENOS.

Com base nos anos de fases positiva (EN) e negativa (LN) foram compostas anomalias para estas fases do modo e dispostas na Figura 27. Na composição de anomalias de PT nota-se aumento de precipitação (anomalias positivas) na fase positiva (EN) na Região Sul do Brasil até a parte sul da Região Centro-Oeste e redução (anomalias negativas) na Região Norte e Nordeste da América do Sul. Na fase negativa (LN) o comportamento é aproximadamente inverso, exceto no Sul do Brasil, onde não há anomalias negativas sobre toda a região.

Os padrões de anomalias de ND e EXT são semelhantes aos de PT, com aumento na Região Sul e redução na Região Norte para EN. Embora ND tenha menos quadrículas com anomalias significativas.

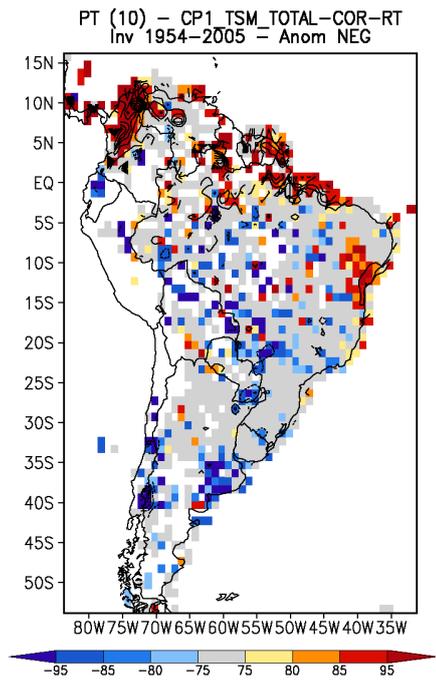
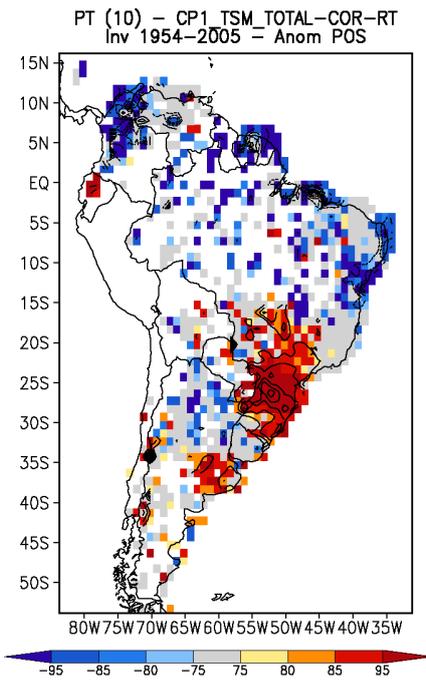
A PM mostra anomalias significativas coerentes com as de PT em EN, e mais dispersas em LN, quando ND parece contribuir mais para a variação de PT no inverno.

A correlação do modo com os índices está mostrada na Figura 28. Como a Figura 26 representa o modo em fase positiva (EN), a correlação mostra coerência com os valores de aumento/redução do índice em fase positiva. Assim, analisando a Figura 28 se confirmam as considerações apresentadas com as composições de anomalias para a fase EN.

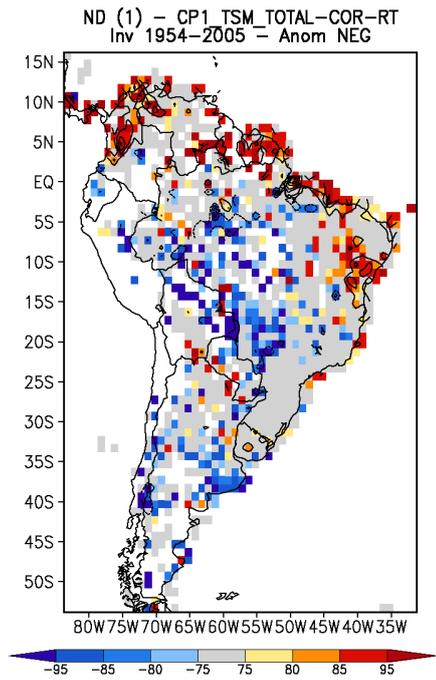
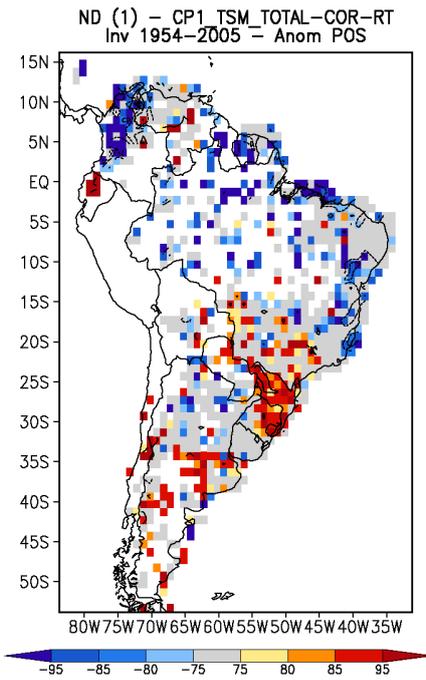
EN

LN

PT



ND



Continua na próxima página.

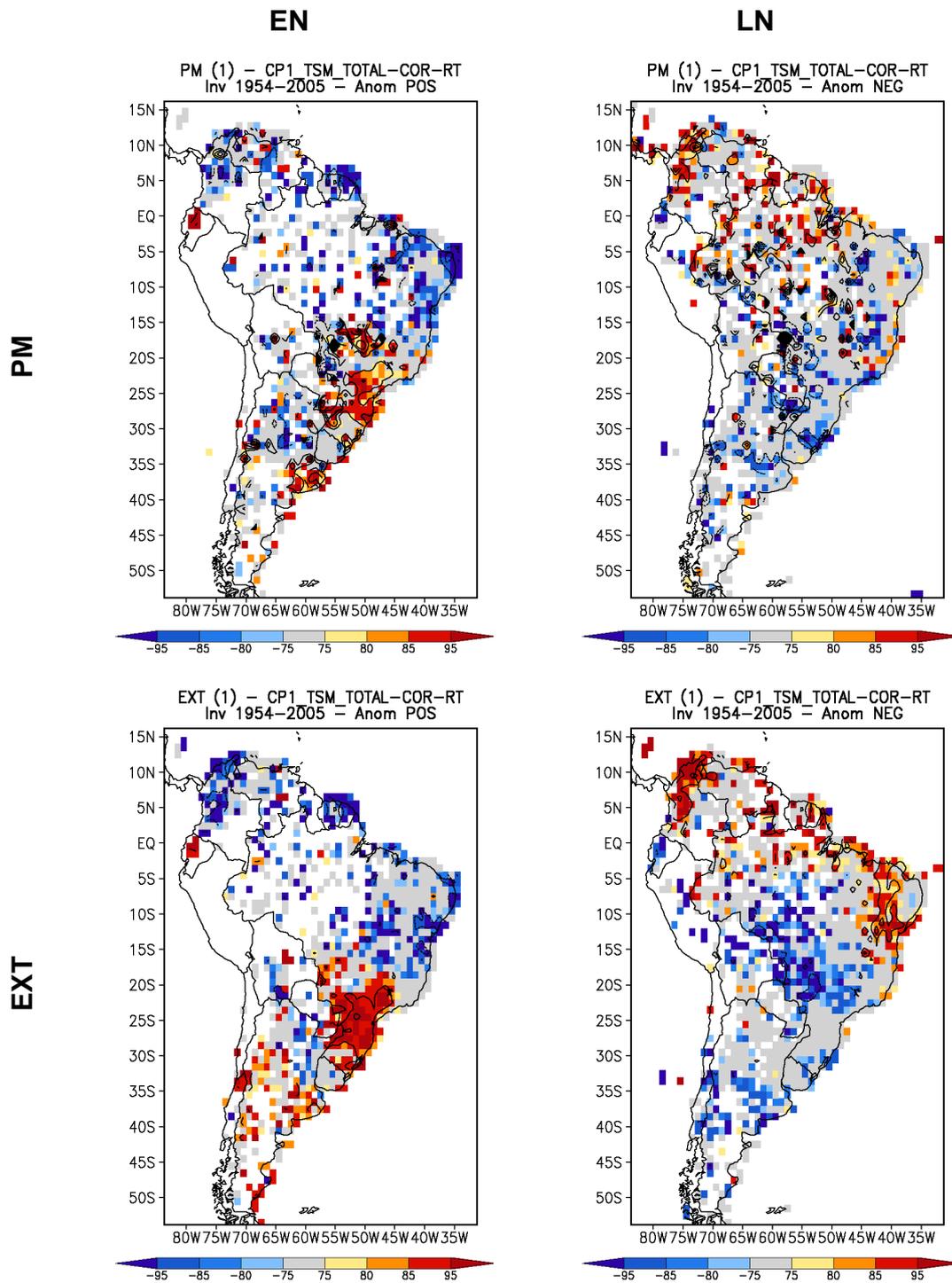


Figura 27 – Composição de anomalias de PT, ND, PM e EXT (de cima para baixo) para EN (esquerda) e LN (direita). As manchas representam os níveis de confiança, especificados na barra de cores, e as isolinhas representam as anomalias, cujo intervalo é de 10 mm (PT), 1 dia (ND), 1 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Inverno ENOS.

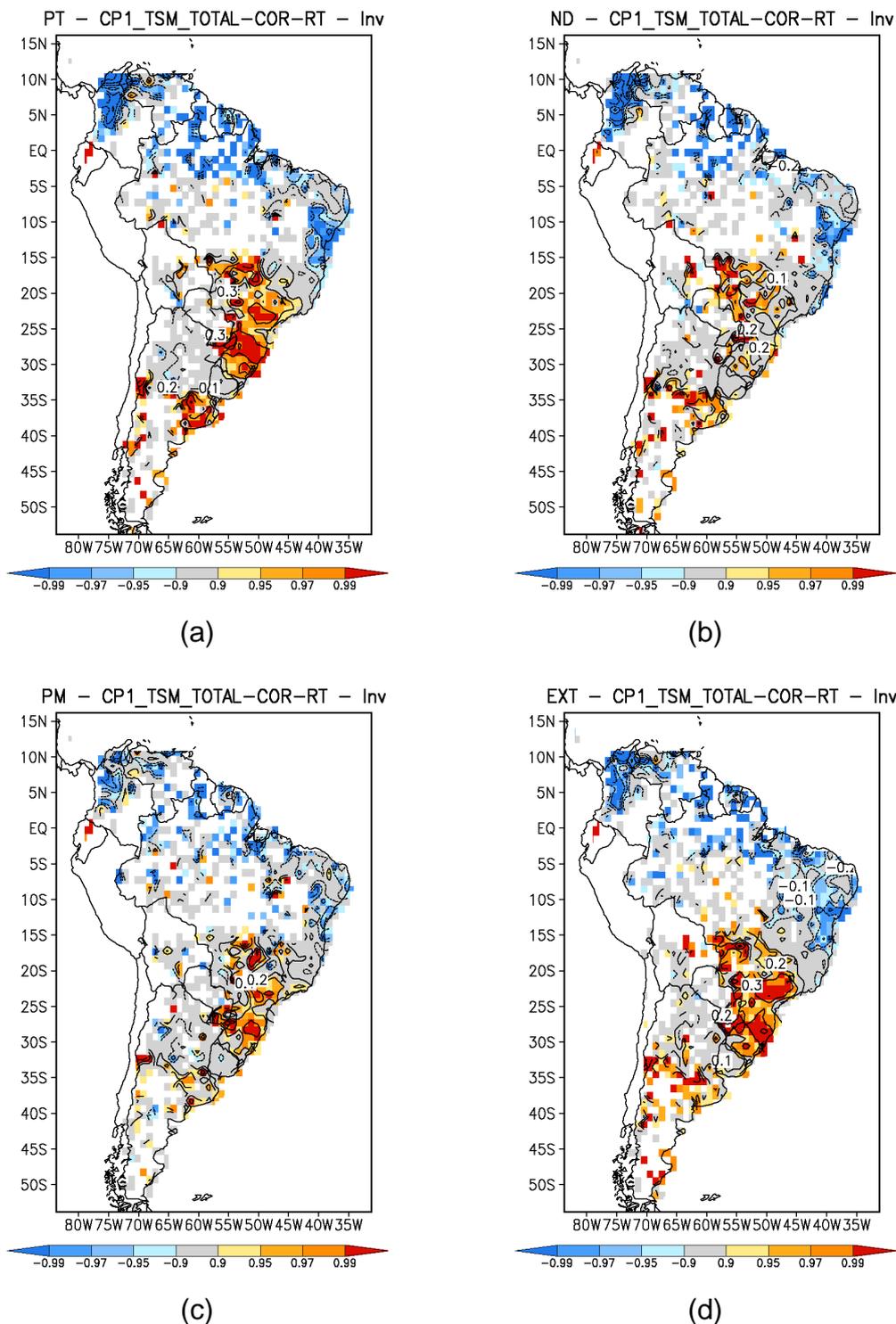


Figura 28 – Correlação entre o modo OIP e a PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d). As manchas representam o nível de confiança e as isolinhas e números os valores de correlação. – Inverno ENOS.

Os resultados de diferentes índices novamente mostram o impacto característico da oscilação ENOS. Nos resultados, para a fase positiva pode-se perceber, para diferentes índices, anomalias negativas na parte Norte/Nordeste do Brasil e anomalias positivas na Região Sul. Ou seja, há conexão entre o

aumento (ou a diminuição) dos valores dos índices para diferentes fases de ENOS em regiões diferentes.

Além destes resultados, foram calculadas distribuições estatísticas para cada um dos índices em fases opostas, para quadrículas selecionadas.

A seleção de quadrículas foi baseada no impacto que a oscilação tem sobre os índices. Da mesma forma como no outono, ENOS tem sua influência em duas regiões distintas, com contribuições de anomalias opostas: para a Região Nordeste do Brasil e Sul. Assim, foram selecionadas quadrículas em ambas as regiões na diferença entre composição de anomalias nos anos EN e LN.

As quadrículas escolhidas nesse caso estão assinaladas em verde na Figura 29 e foram utilizadas para todos os índices. Na Região Sul do Brasil, se encontram 15 quadrículas que se estendem pela latitude 24,5°S até a 28,5°S e longitude 55,5°W a 49,5°W. No Nordeste, as quadrículas são da latitude 8,5°S até a 12,5°S e da longitude 43,5°W até a 47,5°W. Ambas as regiões possuem um grande número de isolinhas para PT, que indicam redução (aumento) de 40 mm de PT no Nordeste (Sul) do país.

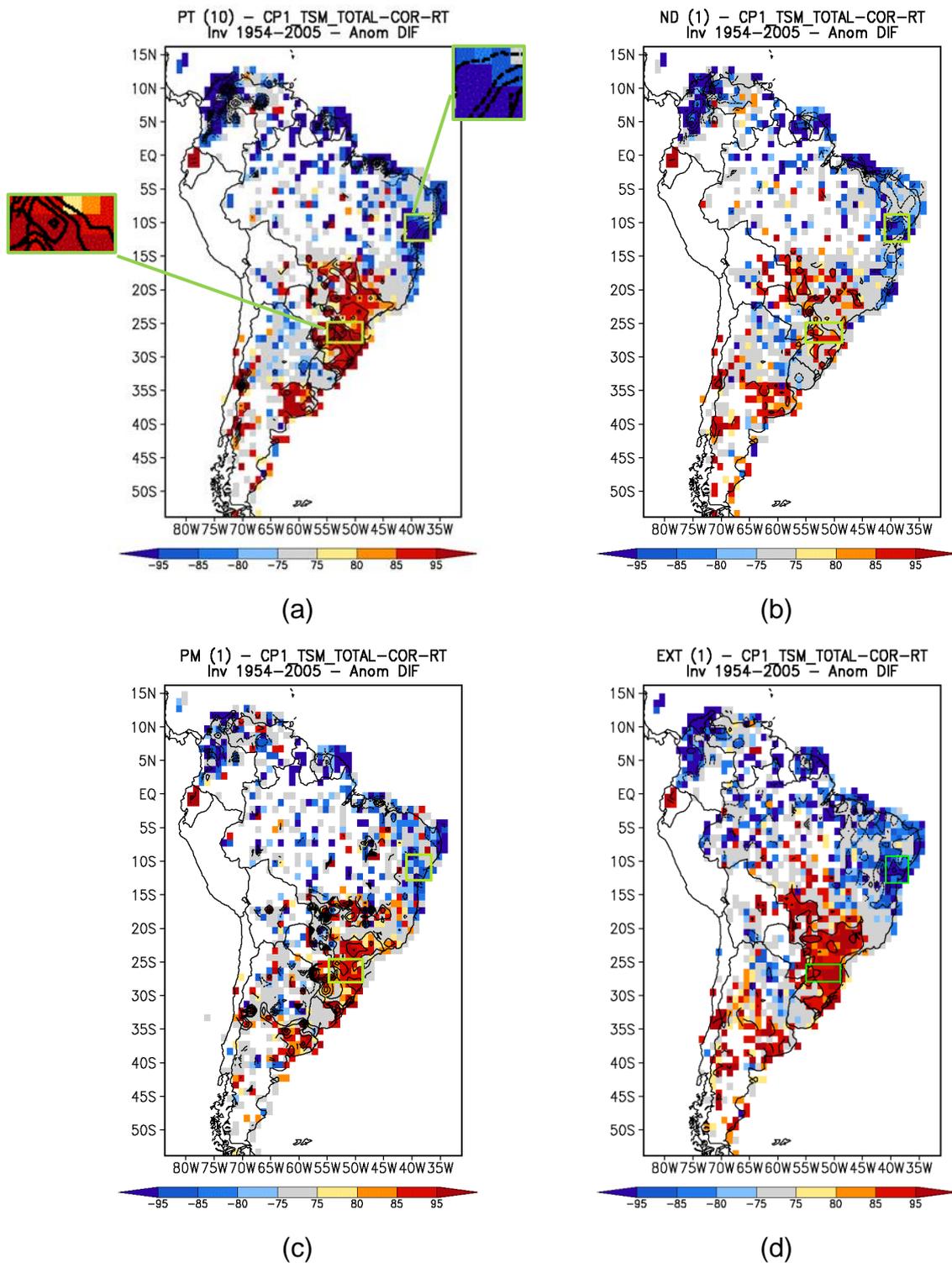


Figura 29 – Diferença entre composição de anomalias de EN e LN para PT (a), ND (b), PM (c), e EXT (d). As manchas representam a significância, conforme barra de cores e o intervalo entre isolinhas é de 10 mm (PT), 1 dia (ND) e 1 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Inverno ENOS. As quadrículas escolhidas se encontram na região assinalada em verde.

Para as quadrículas localizadas na Região Sul do Brasil, mais especificamente no estado do Paraná, os testes KS e MWU realizados para cada quadrícula entre a fase positiva e negativa não resultaram em valores significativos de diferença entre fases. Isso pode ocorrer, pois, na Figura 27 (para todos os índices), apesar de em EN no Paraná existirem várias quadrículas com anomalias significativas, na fase oposta (LN) o mesmo não é registrado. Este fato demonstra uma possível não-linearidade do impacto sobre a região escolhida, ou seja, a mudança de fase do modo não implica diretamente em mudança de sinal de anomalias significativas.

A Tabela 4 relaciona o número de quadrículas e os níveis de confiança em que há diferença entre as fases positiva e negativa de acordo com os dois testes.

Quanto às funções densidade de probabilidade, as quadrículas isoladas e suas médias estão dispostas de maneira semelhante para a maioria dos índices, em relação às mesmas classes de valores. Para a fase positiva é observada diminuição da probabilidade de valores próximos à média e, no final da distribuição, um aumento de probabilidade, em relação a negativa.

Essa análise reflete no resultado dos testes da Tabela 4, em que poucas quadrículas de diferentes índices indicaram diferença e com significância baixa. No caso, EXT e PT foram os únicos que registraram diferença entre fases opostas, com confiança de 70% no teste MWU.

Uma das explicações é o fato de, nas composições de anomalias (Figura 27), não serem encontradas anomalias negativas para LN, ou seja, a inversão de sinal das anomalias em fases opostas tem baixa significância nessa região.

Tabela 4 – Frequência (porcentagem) de quadrículas nas quais há diferença entre a fase positiva e negativa de cada índice, de acordo com os níveis de confiança dos testes KS e MWU. – Inverno ENOS: Sul. Valores sublinhados contemplam mais de 50% das quadrículas.

Nível de Confiança	95%		70%	
	KS	MWU	KS	MWU
PT	0/18(0,0%)	1/18(5,6%)	5/18(27,8%)	<u>12/18(66,7%)</u>
ND	0/18(0,0%)	2/18(11,1%)	2/18(11,1%)	6/18(33,3%)
PM	2/18(11,1%)	2/18(11,1%)	3/18(16,7%)	8/18(44,4%)
EXT	0/18(0,0%)	0/18(0,0%)	3/18(16,7%)	<u>9/18(50,0%)</u>

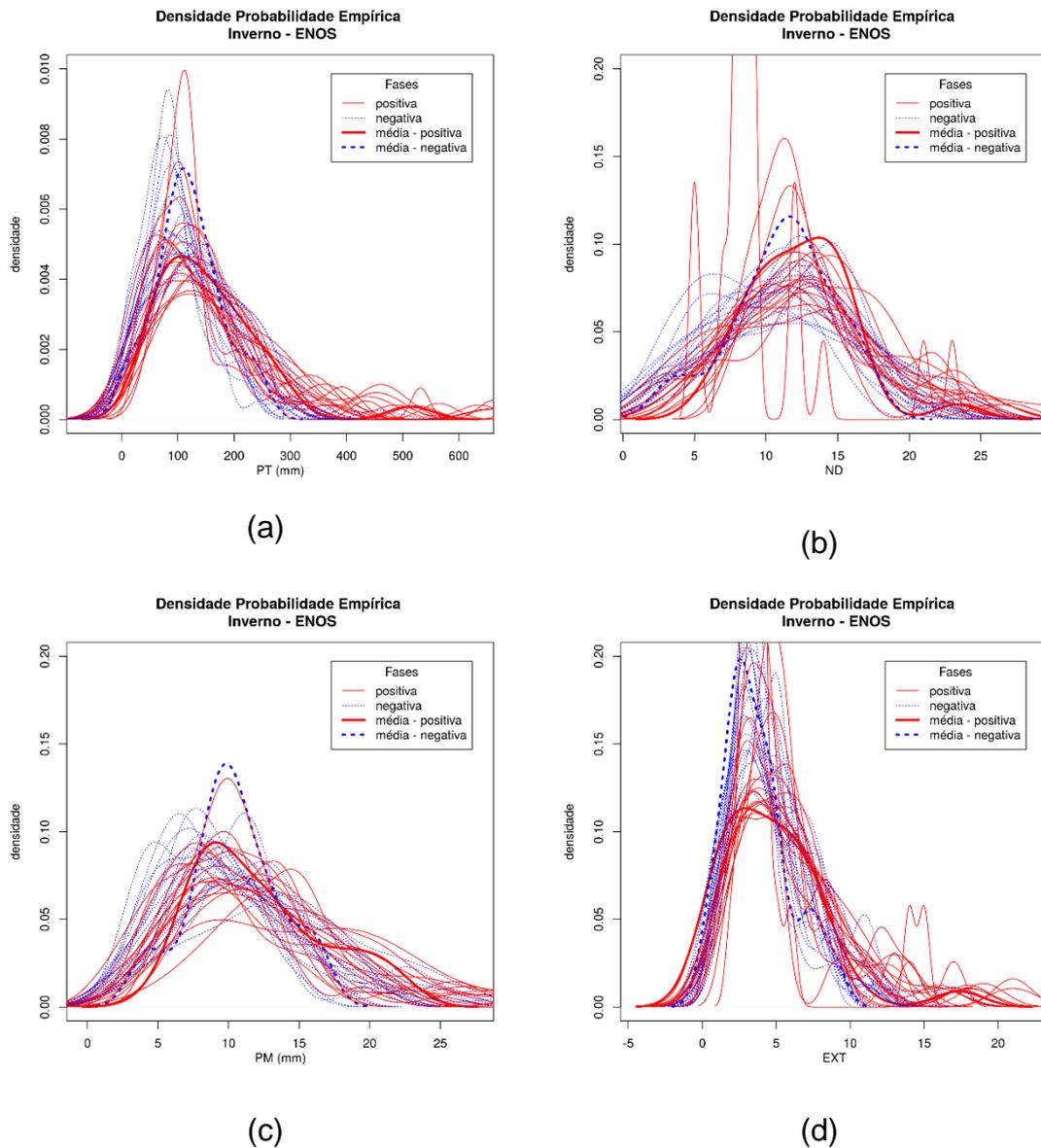


Figura 30 – Funções densidade de probabilidade de PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d) para EN (vermelho) e LN (azul). – Inverno ENOS: Sul. Cada linha representa uma quadrícula e as linhas grossas as médias das quadrículas.

Para as quadrículas no Nordeste, as funções densidade de probabilidade são apresentadas na Figura 31 e os resultados dos testes na Tabela 5.

Tabela 5 – Frequência (porcentagem) de quadrículas nas quais há diferença entre a fase positiva e negativa de cada índice, de acordo com os níveis de confiança dos testes KS e MWU. – Inverno ENOS: Nordeste. Valores sublinhados contemplam mais de 50% das quadrículas.

Nível de Confiança	95%		70%	
	KS	MWU	KS	MWU
PT	<u>9/15(60,0%)</u>	<u>10/15(66,7%)</u>	<u>11/15(73,3%)</u>	<u>13/15(86,7%)</u>
ND	6/15(40,0%)	<u>8/15(53,3%)</u>	<u>10/15(66,7%)</u>	<u>13/15(86,7%)</u>
PM	1/15(6,7%)	1/15(6,7%)	6/15(40,0%)	<u>8/15(53,3%)</u>
EXT	2/15(13,3%)	6/15(40,0%)	7/15(46,7%)	<u>12/15(80,0%)</u>

Nota-se que as FDPs da média das quadrículas destoam bastante da contribuição individual das quadrículas, o que pode ocorrer pela grande diferença entre as FDPs das séries. Apesar disso, nota-se que, os índices que indicam uma maior diferença entre os valores com as maiores probabilidades em fases opostas na maior quantidade de quadrículas são PT e ND.

Esse resultado é confirmado pelos testes (Tabela 5), pois mais da metade das quadrículas possuem diferença significativa entre fases opostas (EN/LN) (95% de confiança para KS/MWU) para PT e ND.

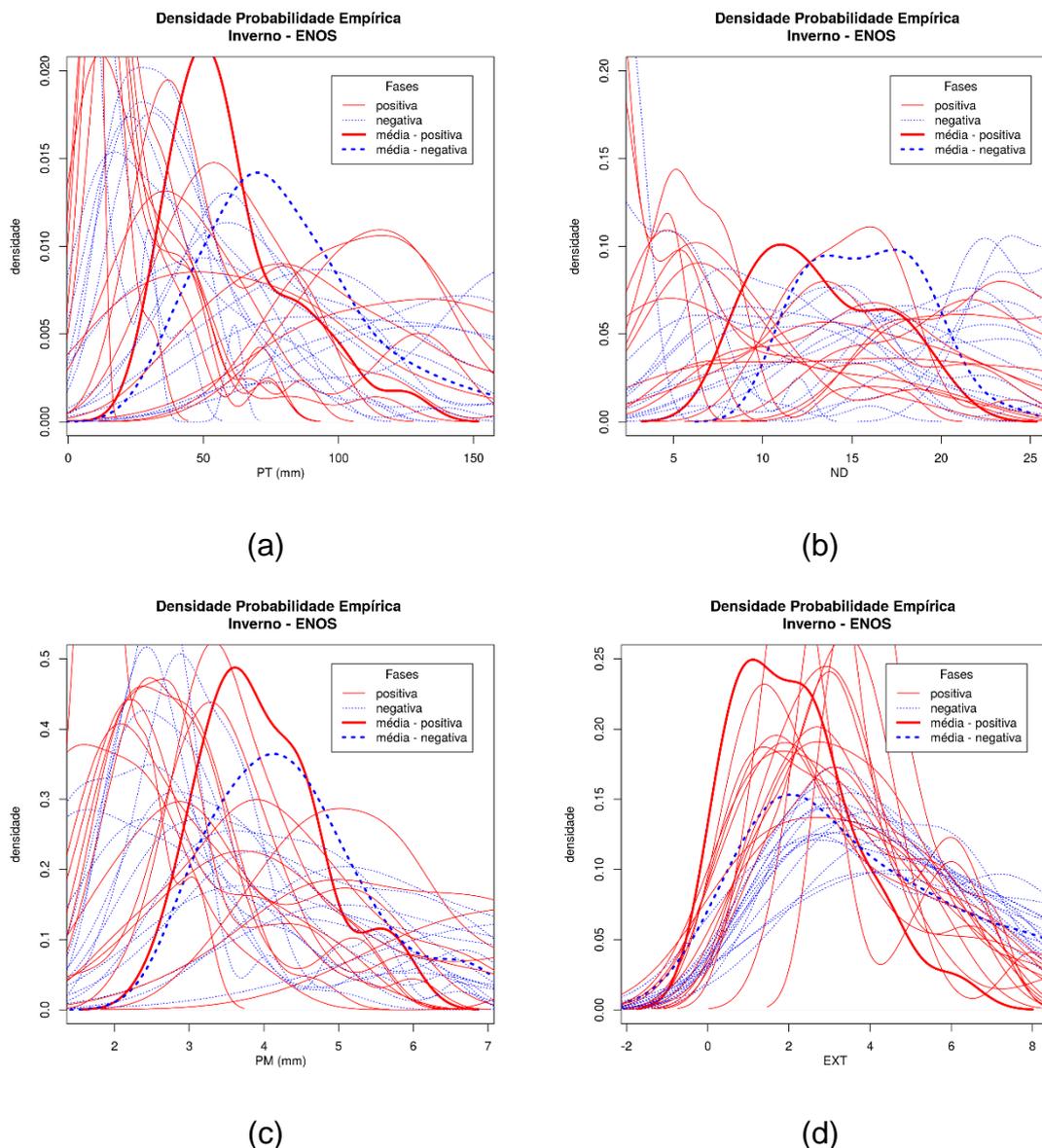


Figura 31 – Funções densidade de probabilidade de PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d) para EN (vermelho) e LN (azul). – Inverno ENOS: Nordeste. Cada linha representa uma quadrícula e as linhas grossas as médias das quadrículas.

Análise das distribuições da precipitação diária

Para a média das séries de precipitação diária das quadrículas selecionadas (Figura 29), foram feitas análises da distribuição em cada fase em ambas as regiões. A Figura 32 mostra, para cada intervalo de valores de precipitação, o logaritmo da razão entre a frequência de eventos em cada fase (positiva ou negativa) e a fase neutra, para as distribuições de precipitação diária empírica de cada fase e os ajustes teóricos (Gama e Exponencial) para a Região Sul e a Figura 33 mostra para o Nordeste. Já os testes de aderência realizados para as distribuições teóricas estão na Figura 34 (Sul) e na Figura 35 (Nordeste).

Observando as duas figuras com as distribuições empíricas, apenas para o Nordeste a distribuição de precipitação diária é visivelmente distinta entre EN/LN. Nota-se, no Nordeste, que os logaritmos das frequências da fase negativa em relação a fase neutra estão predominantemente acima de zero e o oposto para a fase positiva (Figura 33).

Esse resultado foi confirmado com o teste de diferença entre séries de KS. No Nordeste, foi verificado que as distribuições de precipitação diária são significativamente (95% de confiança) diferentes para a fase positiva e negativa do modo. Já para o Sul, o teste não teve esse resultado.

Com relação à aderência das distribuições teóricas, nenhuma das distribuições teóricas teve ajuste aceitável até, pelo menos, 6 mm de precipitação para a área selecionada da Região Sul, como pode-se notar pela distância entre o acumulado e os limites de aderência de KS (Figura 34). Para o Nordeste, a aderência ocorre já em 3 mm (Figura 35).

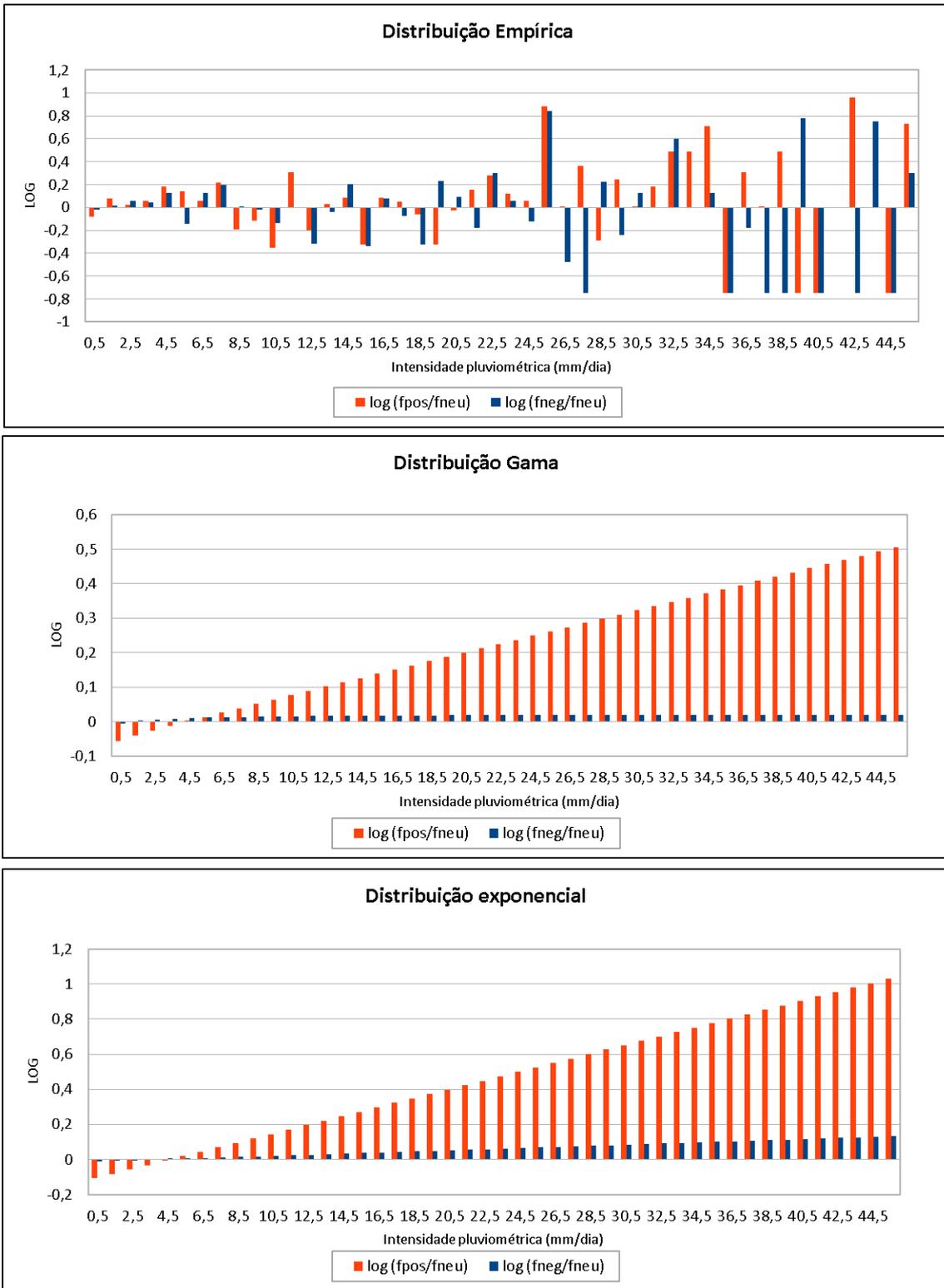


Figura 32 – Logaritmo da razão fpos/fneu (em vermelho) e fneg/fneu (azul) para cada intervalo de precipitação diária³. De cima para baixo: distribuição empírica, Gama e exponencial. – Inverno ENOS: Sul.

³ Quando o valor da razão é infinito (sem ocorrências na fase neutra) o valor plotado é 0,75; quando a razão é 0 (sem ocorrências na fase positiva ou negativa) o valor plotado é -0,75; e, quando o valor da razão é 0:0 o valor plotado é 0. Demais valores de razão são plotados na escala logarítmica. (fpos = frequência na fase positiva; fneg = frequência na fase negativa; fneu = frequência na fase neutra)

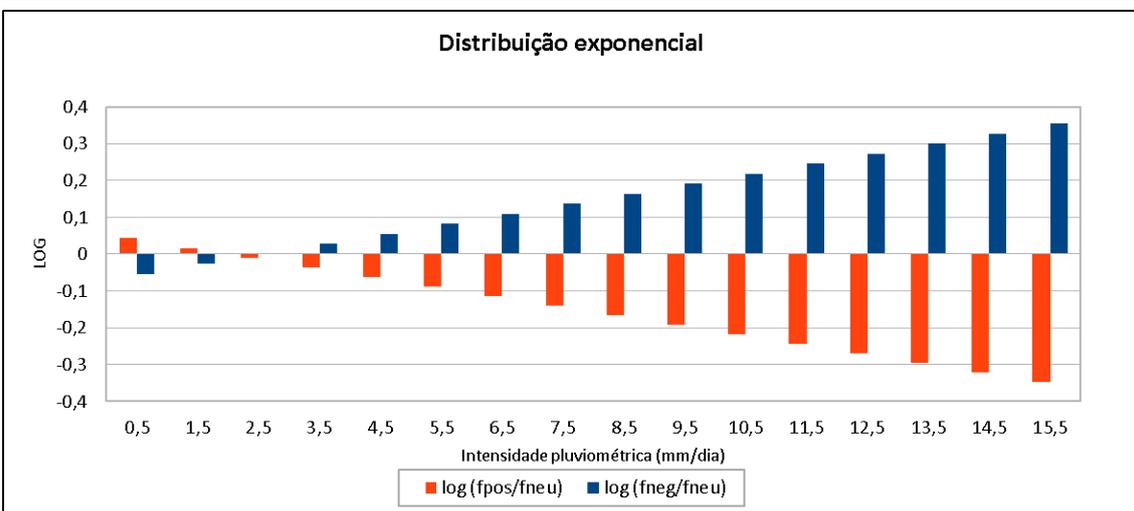
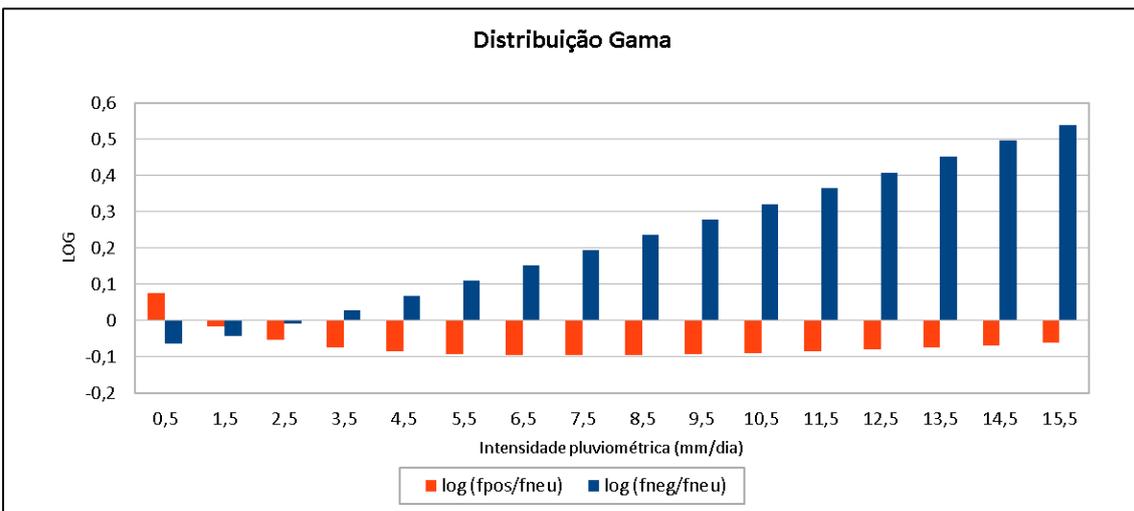
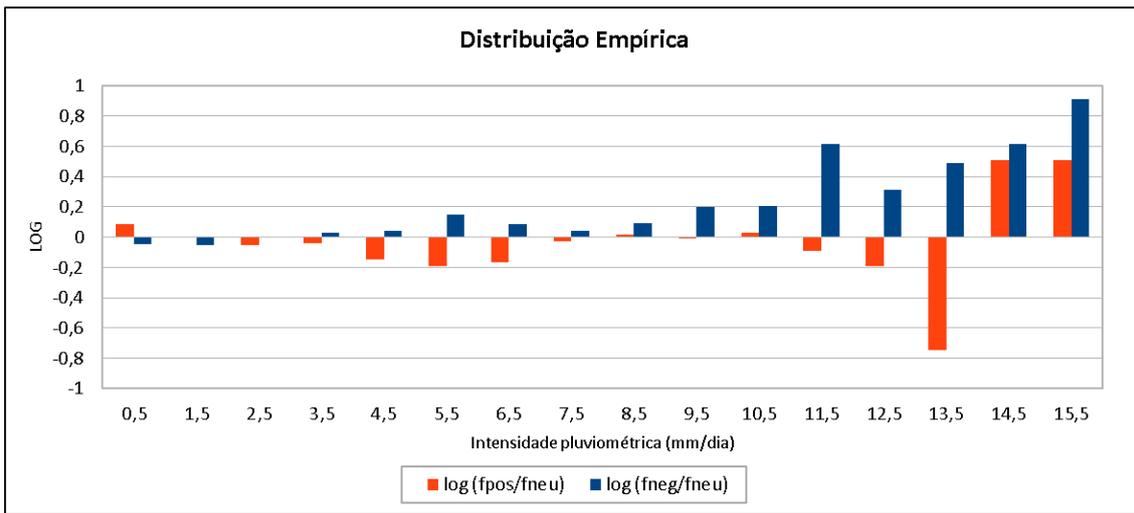


Figura 33 – Logaritmo da razão fpos/fneu (em vermelho) e fneg/fneu (azul) para cada intervalo de precipitação diária⁴. De cima para baixo: distribuição empírica, Gama e exponencial. – Inverno ENOS: Nordeste.

⁴ Quando o valor da razão é infinito (sem ocorrências na fase neutra) o valor plotado é 0,75; quando a razão é 0 (sem ocorrências na fase positiva ou negativa) o valor plotado é -0,75; e, quando o valor da razão é 0:0 o valor plotado é 0. Demais valores de razão são plotados na escala logarítmica. (fpos = frequência na fase positiva; fneg = frequência na fase negativa; fneu = frequência na fase neutra)

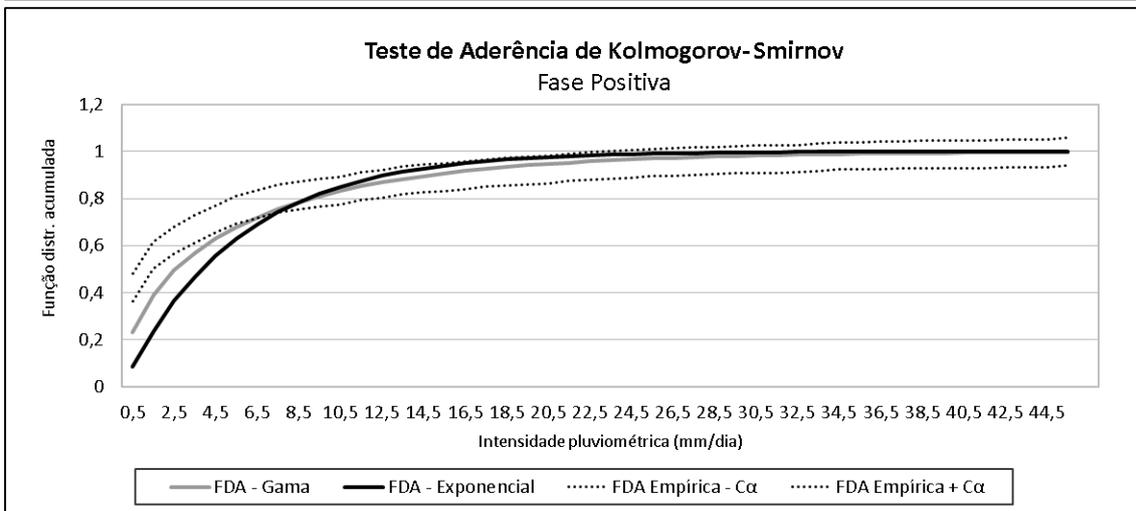
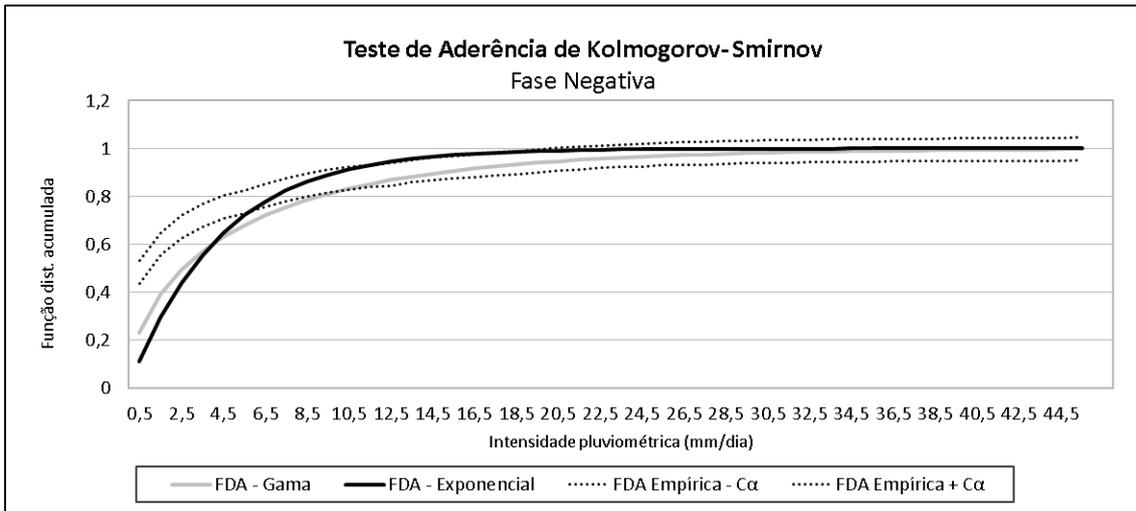


Figura 34 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov. Comparação entre as funções de distribuições acumuladas (FDA): Gama (em cinza), Exponencial (preta) e, em linhas pontilhadas estão os limites do intervalo de 95% de confiança para a verdadeira FDA da qual os dados foram retirados. - Inverno ENOS: Sul

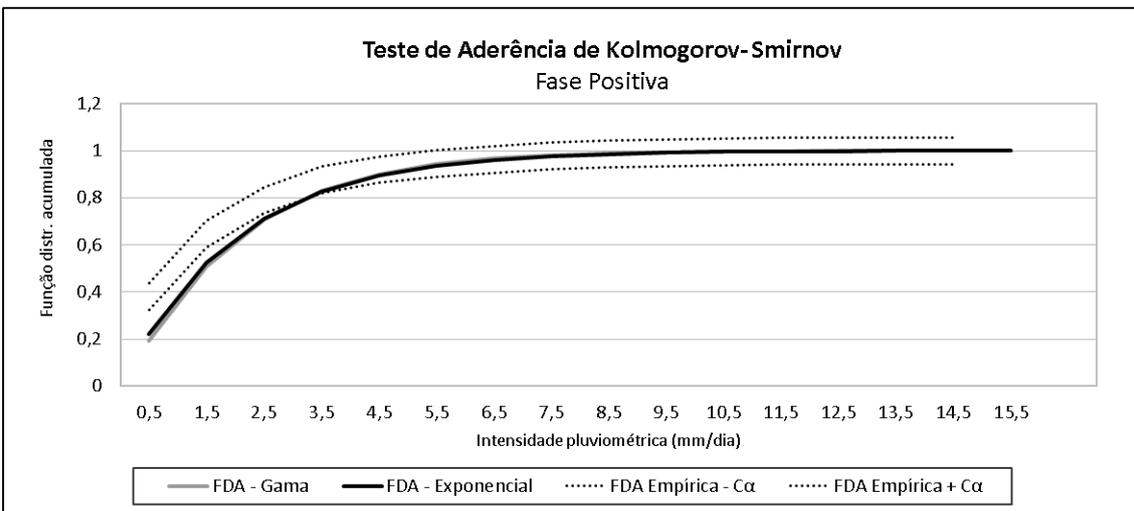
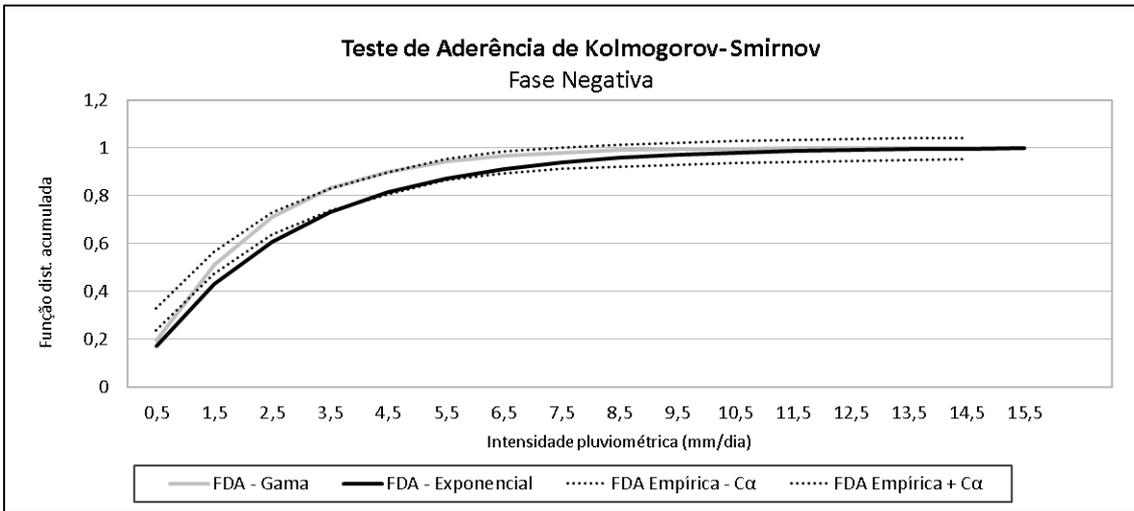


Figura 35 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov. Comparação entre as funções de distribuições acumuladas (FDA): Gama (em cinza), Exponencial (preta) e, em linhas pontilhadas estão os limites do intervalo de 95% de confiança para a verdadeira FDA da qual os dados foram retirados. - Inverno ENOS: Nordeste.

5.2. OSCILAÇÃO INTERDECADAL DO PACÍFICO

Como já mencionado na seção 3.1.2. , a Oscilação Interdecadal do Pacífico possui o padrão de anomalias similar ao ENOS, o que leva à conclusão de que os impactos sobre a precipitação tendam a ser os mesmos, embora com menor intensidade, devido à condição de baixa frequência.

Existem poucos estudos sobre como a OIP modula a precipitação no outono e inverno. No entanto, para ODP, Streck et al. (2009) observaram a correlação do modo com a precipitação no Rio Grande do Sul e foi obtido que a maior frequência de total anual de precipitação acima do normal está associada à fase quente da ODP e que no outono e inverno, a ODP (-) se relaciona com mais desvios negativos em relação à média (anomalias negativas) de precipitação.

5.2.1. OUTONO

Análises sazonais

O modo de variabilidade interdecadal da OIP no outono foi identificado como o 2º modo na ACP interdecadal de TSM, que está mostrado na Figura 36. Este modo foi utilizado para definir os anos de cada fase da oscilação. A seguir, serão mostradas as anomalias, correlações e distribuições para os índices.

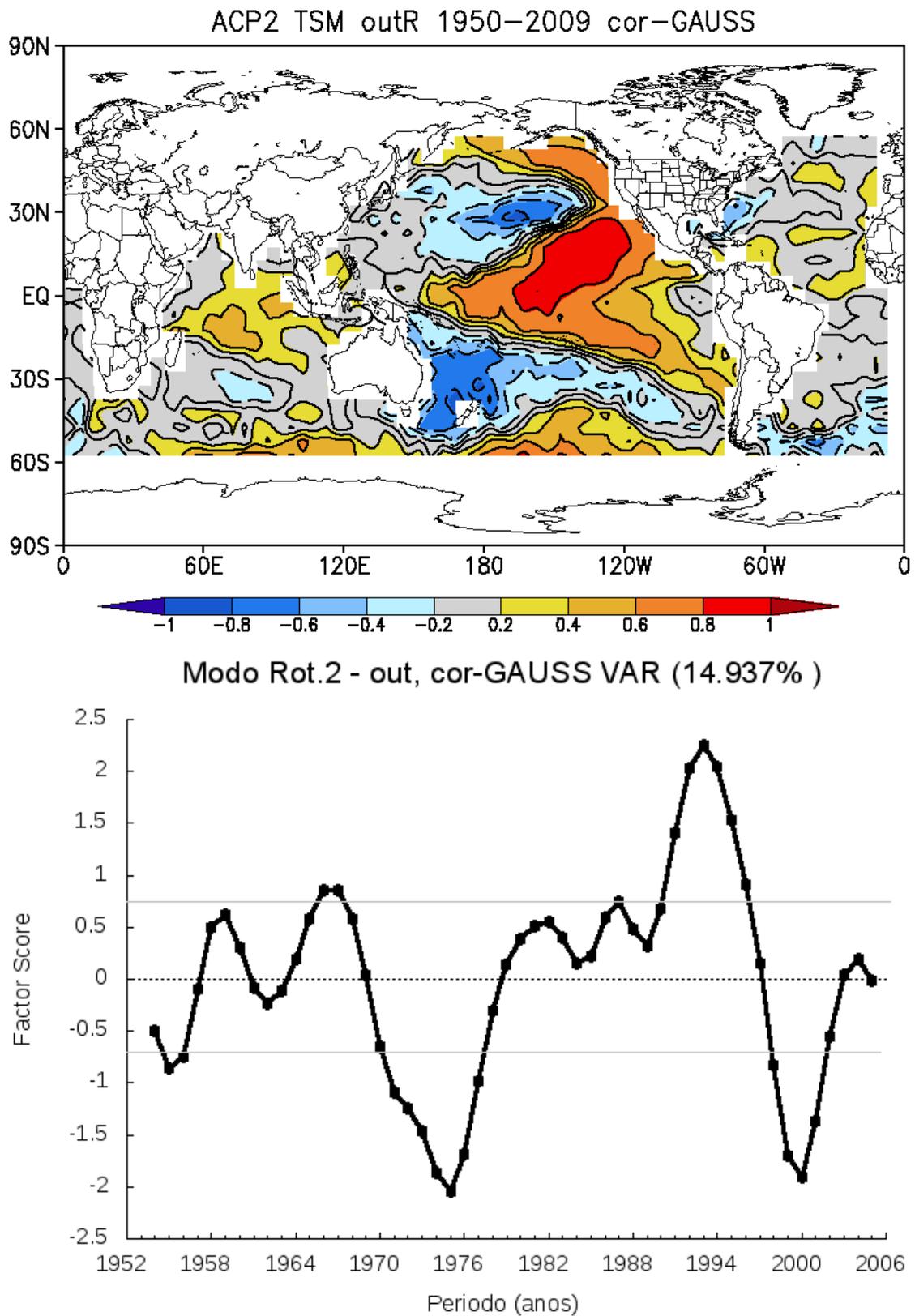


Figura 36 – 2º modo interdecadal de variabilidade da TSM, caracterizando a OIP. FL acima e FS abaixo. – Outono OIP.

Com base nos anos de fases positiva – OIP (+) – e negativa – OIP (-) – foram compostas anomalias para as fases opostas do modo, mostradas na Figura 37. Como se pode notar, esse modo produziu poucas quadrículas com confiança de 95 %, que é resultado dos testes de significância mais restritivos usando número efetivo de membros independentes nas séries (obtido com autocorrelação), tendo em vista a filtragem dos dados (filtro de Gauss), que é necessária para os modos interdecadais, conforme apontado no capítulo 4.

Ainda na Figura 37, nota-se que, para a fase negativa do modo não aparecem anomalias significativas na Região Sul do Brasil, mas aparecem anomalias negativas na fase negativa, em todos os índices. Além disso, o EXT, em especial, também indica inversão de fase no Sudeste do Brasil, visto que em OIP (+) há anomalias negativas e em OIP (-) há anomalias positivas.

A correlação foi disposta na Figura 38 e deveria ter o mesmo sinal das anomalias na fase positiva. Como nesse caso não há anomalias presentes em OIP (+) na Região Sul (Figura 37), pode-se observar com a correlação se há inversão ou falta de sinal em uma das fases.

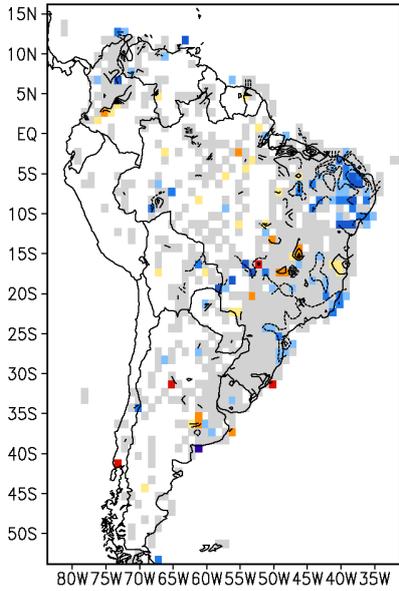
De modo geral, os coeficientes de correlação positivos mais significativos ocorrem nas mesmas regiões em que foram obtidas anomalias negativas significativas na fase negativa, ou seja, na Região Sul (Figura 38). Portanto, o efeito é o mesmo que ENOS, porém mais fraco. Contudo, há também algum sinal no Sudeste do Brasil. Há um efeito interessante no Nordeste, onde ND e PM mostram variações em sentidos opostos, diminuindo, portanto, o efeito sobre PT, que não mostra variação consistente.

OIP (+)

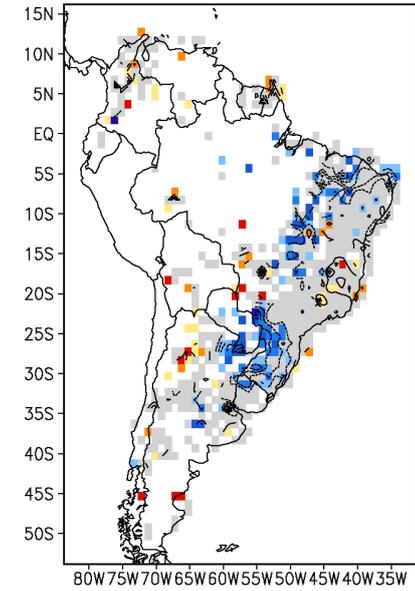
OIP (-)

PT

PT (7) - CP2_TSM_INTER-COR-RT
Aut 1954-2005 - Anom POS

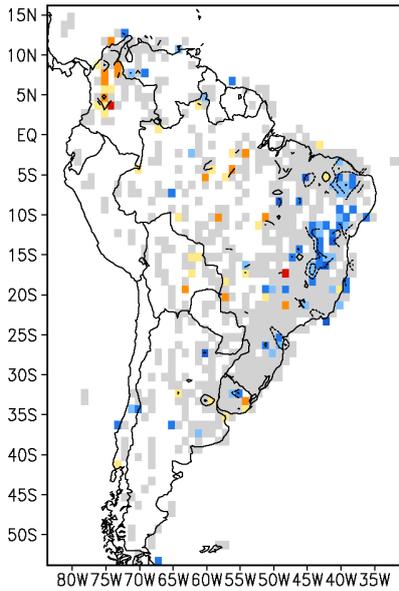


PT (7) - CP2_TSM_INTER-COR-RT
Aut 1954-2005 - Anom NEG

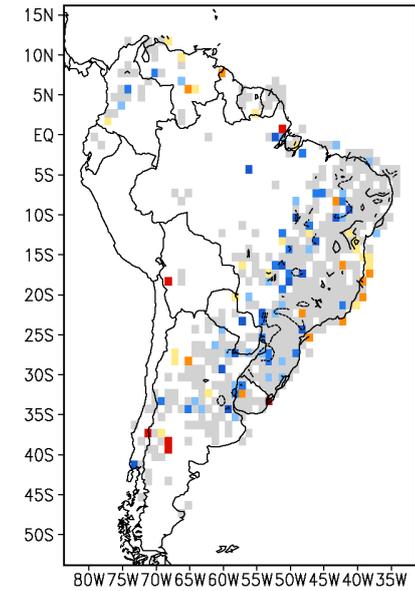


ND

ND (1) - CP2_TSM_INTER-COR-RT
Aut 1954-2005 - Anom POS



ND (1) - CP2_TSM_INTER-COR-RT
Aut 1954-2005 - Anom NEG



Continua na próxima página.

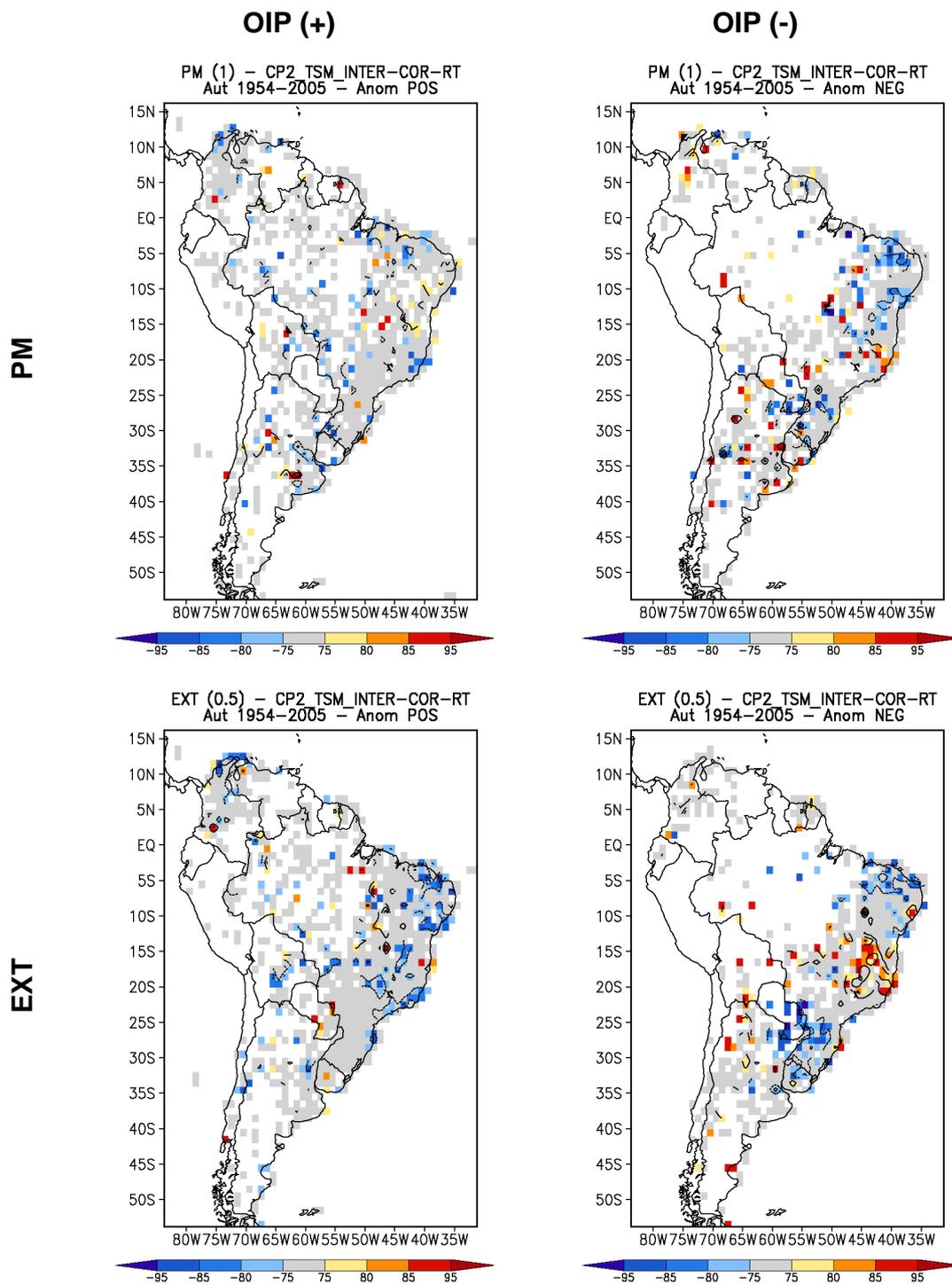


Figura 37 – Composição de anomalias de PT, ND, PM e EXT (de cima para baixo) para OIP (+) (esquerda) e OIP (-) (direita). As manchas representam os níveis de confiança, especificados na barra de cores, e as isolinhas representam as anomalias, cujo intervalo é de 7 mm (PT), 1 dia (ND), 1 mm (PM) e 0,5 eventos (EXT). – Outono OIP.

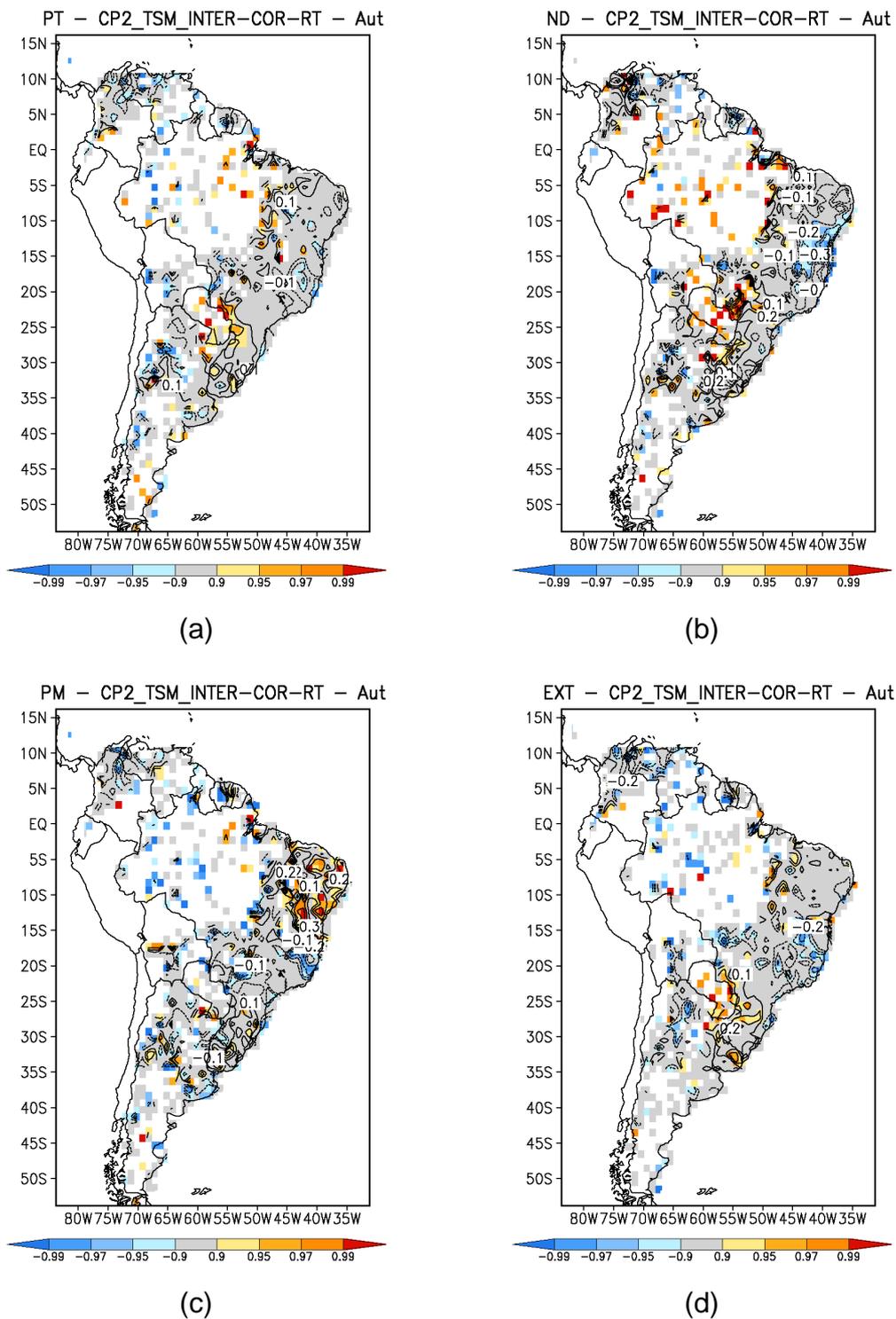


Figura 38 – Correlação entre o modo OIP com a PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d). As manchas representam o nível de confiança e as isolinhas e números os valores de correlação. – Outono OIP.

A Figura 37 e a Figura 38 demonstram, em diferentes análises, diminuição de PT, ND, PM e EXT em OIP (-) na Região Sul do Brasil, na divisa com o Paraguai. No litoral sul do Nordeste, enquanto PM indica aumento significativo em EN (com anomalias e correlação de sinal positivo na região), os demais índices indicaram redução na mesma fase (anomalias e correlação de sinal negativo). Essa oposição de sinais de PM com os demais índices pode ser interpretada como uma resposta particular da OIP, em que a PM é aumentada, mesmo com redução de ND e EXT, apesar de ainda prevalecer redução na PT.

Assim como feito para ENOS, foram selecionadas quadrículas para análise, em particular a partir dos testes de MWU e KS. Nesse caso, se considerou a análise na Região Sul, próxima da divisa entre Brasil e Paraguai, região que demonstrou impacto para diferentes índices. A região também foi priorizada pela sua importância na questão de recursos hídricos, uma vez que, na região está localizada a Bacia do Paraná-Prata e o aquífero Guarani, importantes para o abastecimento de água e energia para a América Latina como um todo.

As quadrículas selecionadas estão em destaque na Figura 39 na diferença entre as composições de anomalias de OIP (+) e OIP (-). As quadrículas analisadas foram as mesmas escolhidas para todos os índices, a fim de analisarmos e compararmos a mesma região para diferentes índices.

A região se estende da latitude 23,5°S-29,5°S e na longitude 55,5°W até 51,5°W, com 23 quadrículas com séries de dados válidos. Para os índices, as FDPs das séries e da respectiva média foram obtidas e dispostas na Figura 40.

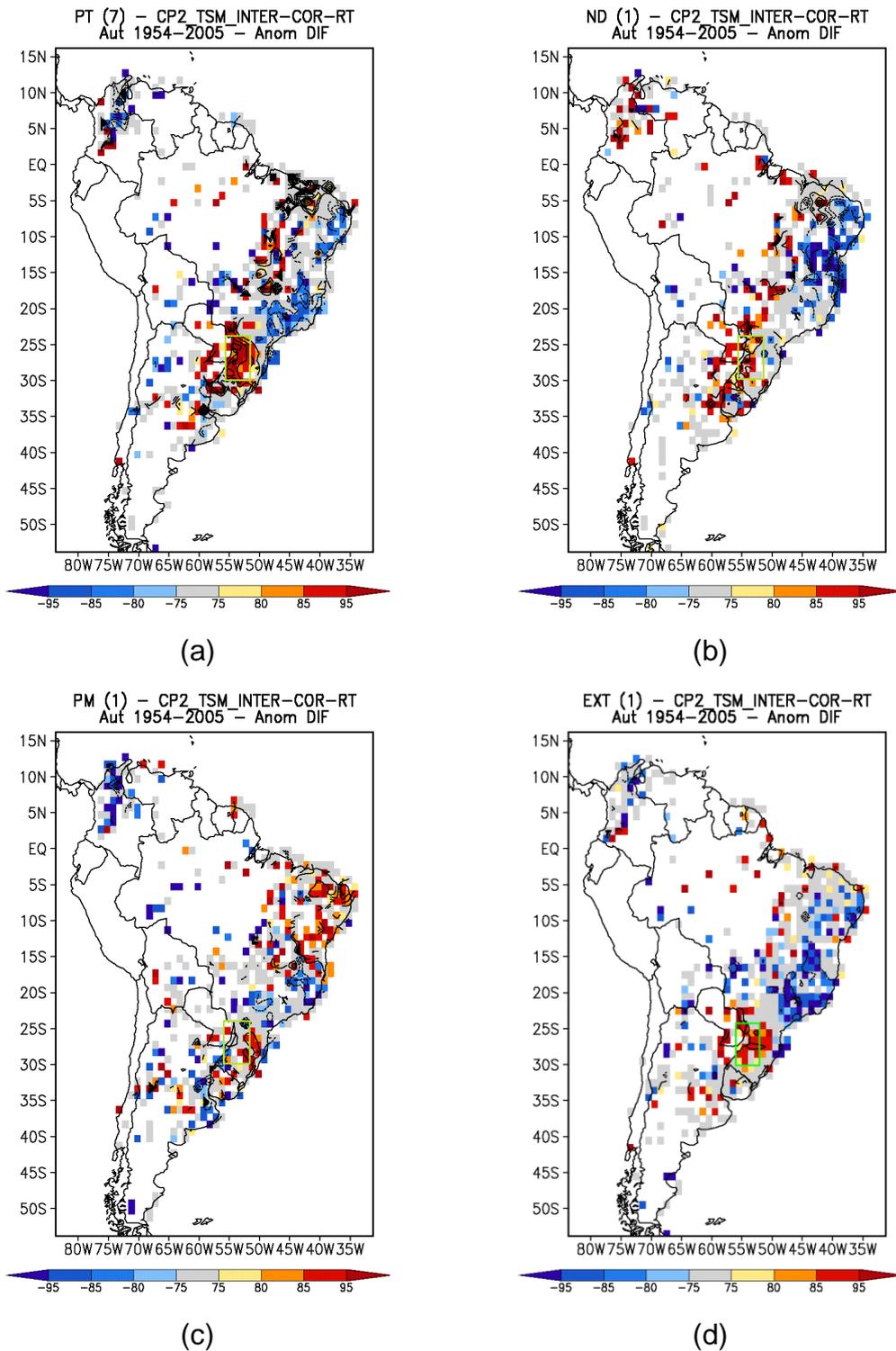


Figura 39 – Diferença entre composição de anomalias de OIP (+) e OIP (-) para PT (a), ND (b), PM (c), e EXT (d). As manchas representam a significância, conforme barra de cores e o intervalo entre isolinhas é de 7 mm (PT), 1 dia (ND), 1 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Outono OIP. As quadrículas escolhidas se encontram na região assinalada em verde.

Os testes KS e MWU realizados para cada quadrícula entre a fase positiva e negativa não resultaram em valores significativos de diferença entre fases para nenhum dos índices. A Tabela 6 relaciona o número e porcentagem de quadrículas e os níveis de confiança em que há diferença entre as fases positiva e negativa de acordo com os dois testes.

Apesar da diferença entre fases ser visualizada na Figura 39 para quase todos os índices, na Figura 40 este resultado não foi confirmado. Entretanto, na Figura 40, pode ser verificada maior probabilidade de ocorrência de valores elevados dos índices na fase positiva do que na fase negativa. Isso pode ocorrer, em razão de não existirem anomalias significativas na região para OIP (+) na Figura 37, ou seja, não há inversão de fase.

Apenas ND e PM demonstraram que mais de 30% das quadrículas possuem diferenças significativas entre fases opostas de OIP, com confiança de 70% no teste de MWU.

Tabela 6 – Frequência (porcentagem) de quadrículas nas quais há diferença entre a fase positiva e negativa de cada índice, de acordo com os níveis de confiança dos testes KS e MWU. – Outono OIP. Valores sublinhados contemplam mais de 50% das quadrículas.

Nível de Confiança	95%		70%	
	KS	MWU	KS	MWU
PT	0/23(0,0%)	0/23(0,0%)	3/23(13,0%)	0/23(0,0%)
ND	1/23(4,3%)	0/23(0,0%)	2/23(8,7%)	8/23(34,8%)
PM	0/23(0,0%)	0/23(0,0%)	6/23(26,1%)	7/23(30,4%)
EXT	0/23(0,0%)	0/23(0,0%)	1/23(4,3%)	6/23(26,1%)

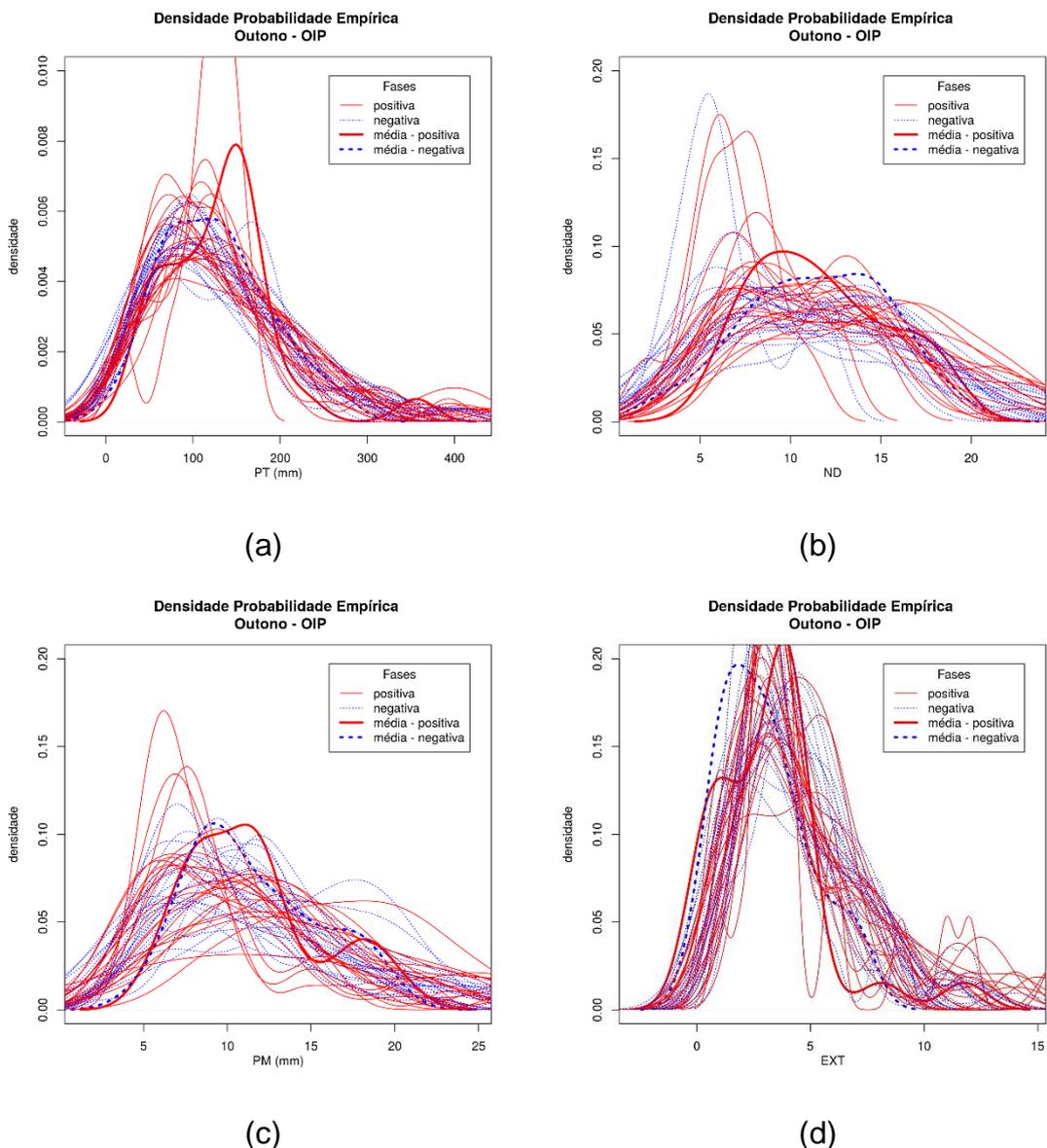


Figura 40 – Funções densidade de probabilidade de PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d) para OIP (+) (vermelho) e OIP (-) (azul). – Outono OIP. Cada linha representa uma quadrícula e as linhas grossas as médias das quadrículas.

Análise das distribuições da precipitação diária

Assim como para ENOS, foram feitas análises para a precipitação diária nas mesmas quadrículas. A série média foi obtida a partir da média das séries de precipitação diária nas quadrículas selecionadas na Figura 39.

A Figura 41 mostra, para cada intervalo de valores de precipitação, o logaritmo da razão entre a frequência de eventos em cada fase (positiva ou negativa) e a fase neutra, para as distribuições de precipitação diária empírica de cada fase e os ajustes teóricos (Gama e Exponencial) para a Região Sul. Observa-se que não há distinção entre a distribuição de precipitação diária da

fase positiva e a fase negativa. O resultado foi confirmado com o teste de KS para a diferença entre distribuições, que concluiu que as séries em OIP (-) e OIP (+) seguem a mesma distribuição.

Os testes de aderência realizados para as distribuições teóricas foram dispostos na Figura 42. As duas fases demonstram melhor aderência (menos desvio) para a distribuição Gama e, a partir de classes de precipitação maior que 4,5 mm, a distribuição já se encontra dentro do limiar de confiança de KS.

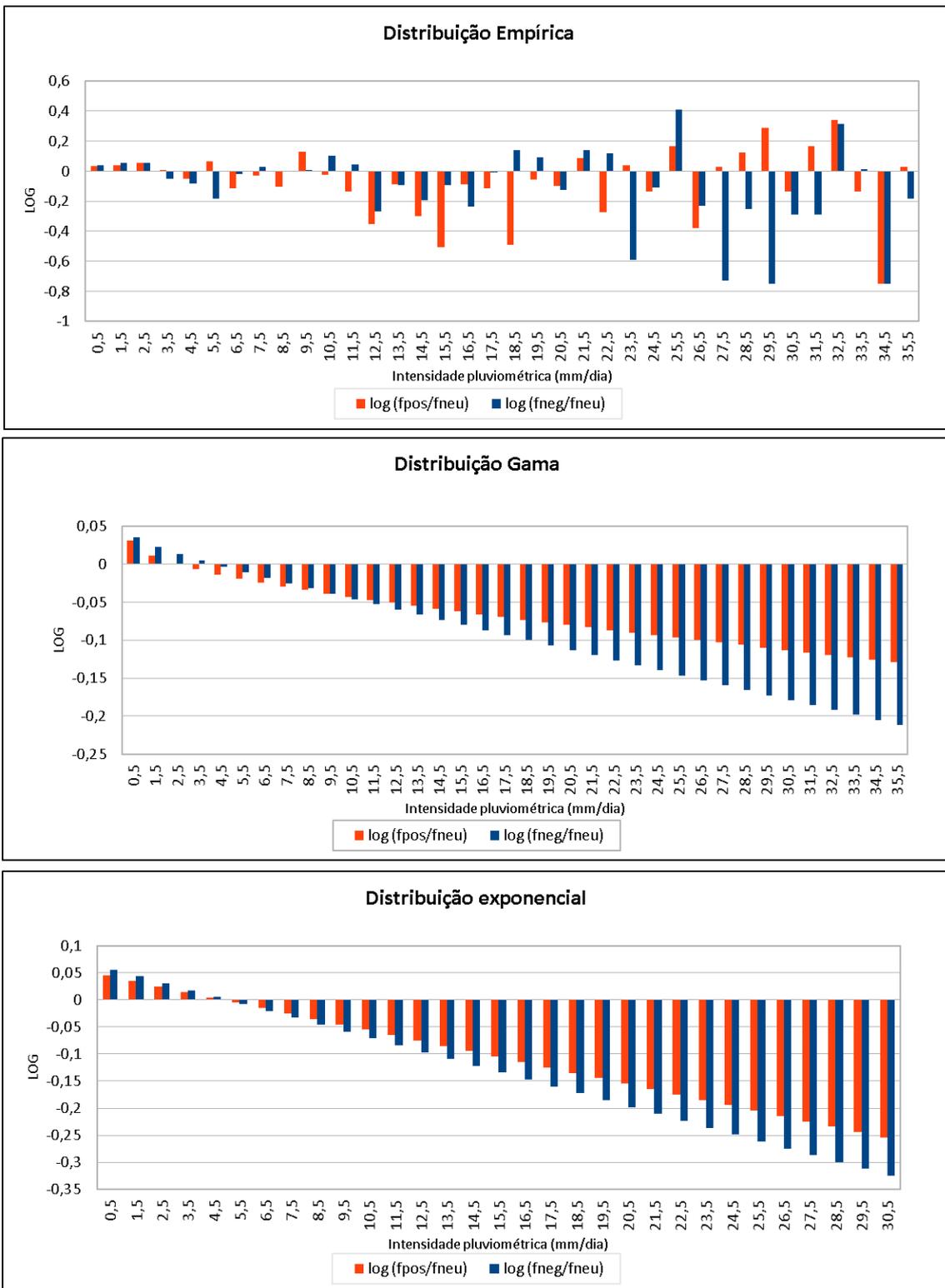


Figura 41 – Logaritmo da razão f_{pos}/f_{neu} (em vermelho) e f_{neg}/f_{neu} (azul) para cada intervalo de precipitação diária⁵. De cima para baixo: distribuição empírica, Gama e exponencial. – Outono OIP.

⁵ Quando o valor da razão é infinito (sem ocorrências na fase neutra) o valor plotado é 0,75; quando a razão é 0 (sem ocorrências na fase positiva ou negativa) o valor plotado é -0,75; e, quando o valor da razão é 0:0 o valor plotado é 0. Demais valores de razão são plotados na escala logarítmica. (f_{pos} = frequência na fase positiva; f_{neg} = frequência na fase negativa; f_{neu} = frequência na fase neutra)

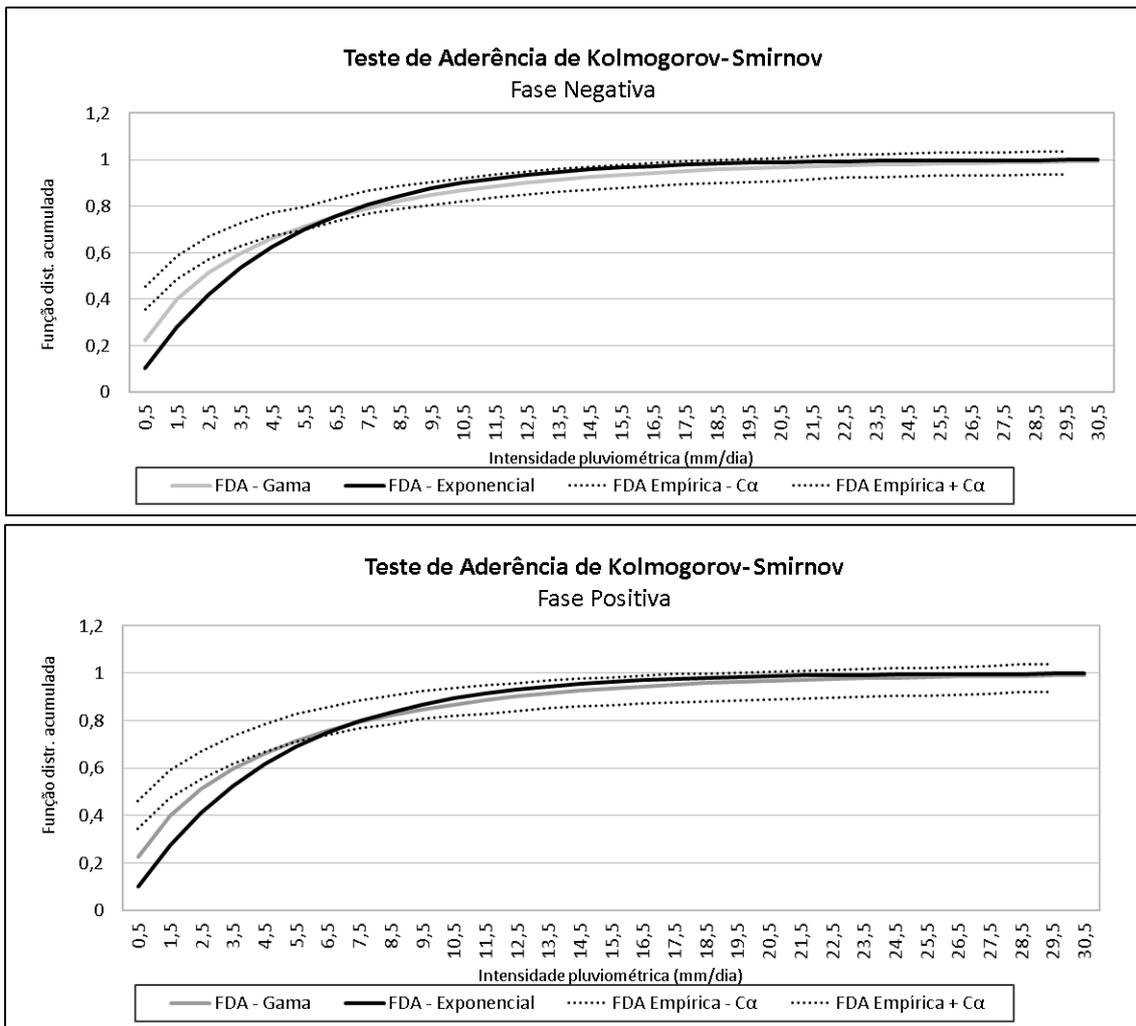


Figura 42 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov. Comparação entre as funções de distribuições acumuladas (FDA): Gama (em cinza), Exponencial (preta) e, em linhas pontilhadas estão os limites do intervalo de 95% de confiança para a verdadeira FDA da qual os dados foram retirados. – Outono OIP.

5.2.2. INVERNO

Análises sazonais

A Oscilação Interdecadal do Pacífico no inverno foi identificada como o 2º modo na ACP interdecadal de TSM, que está mostrado na Figura 43. Este modo foi utilizado para definir os anos de fases positivas e negativas da oscilação. A seguir, serão mostradas as anomalias, correlações e distribuições para os índices analisados.

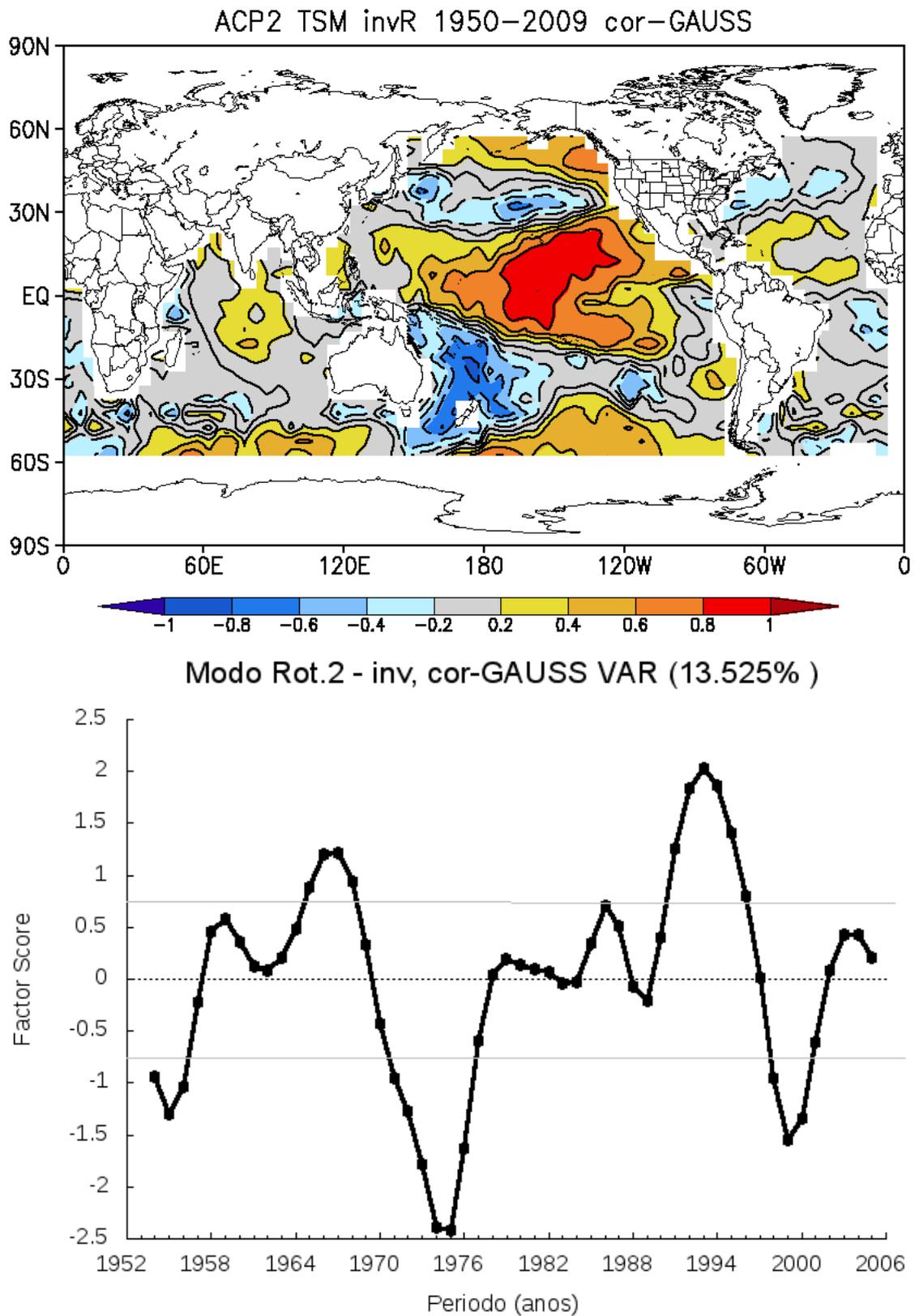


Figura 43 – 2º modo interdecadal de variabilidade da TSM no inverno, caracterizando a oscilação OIP. *Factor loadings (FL)* acima e *factor scores (FS)* abaixo. – Inverno OIP.

Com base nos anos de fases positiva – OIP (+) – e negativa – OIP (-) – foram compostas anomalias para estas fases do modo (Figura 44) e feita a correlação entre os FS do modo e os índices (Figura 45). Para a PT, a composição de anomalias em anos de OIP (+) indica anomalias significativas positivas (aumento de PT) em uma área na mesma área localizada na Região Sul do Brasil. Em OIP (-), na mesma área se concentram anomalias de precipitação negativa (redução de PT), demonstrando variação consistente.

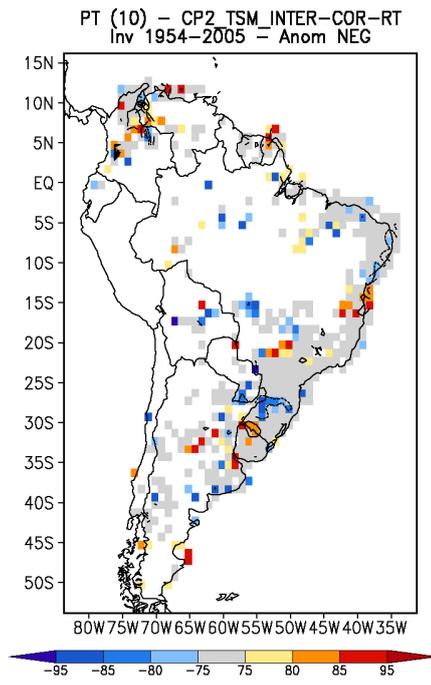
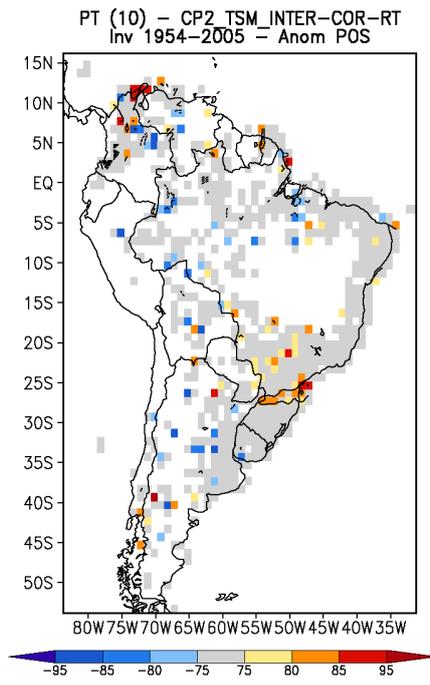
Para PM e EXT, foram observados padrões semelhantes aos de PT, com aumento na Região Sul para OIP (+) e o contrário para OIP (-). ND não apresenta tantas quadrículas com anomalias significativas como os outros índices.

A distribuição espacial dos coeficientes de correlação do modo com os índices é mostrada na Figura 45, cujos sinais são coerentes com as anomalias na fase positiva (mostrada na Figura 43). Os coeficientes de correlação chegam a cerca de 0,2 na Região Sul do Brasil para ND, PM e EXT, com certa significância. De acordo com essa característica, a presença de OIP (+) implica em aumento dos índices na região, especialmente PM e EXT. Portanto, há concordância entre as análises de correlação (Figura 45) e as composições de anomalias (Figura 44), principalmente na Região Sul do Brasil.

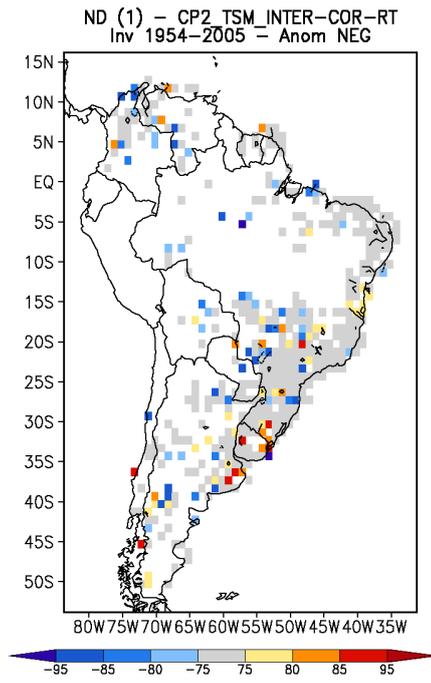
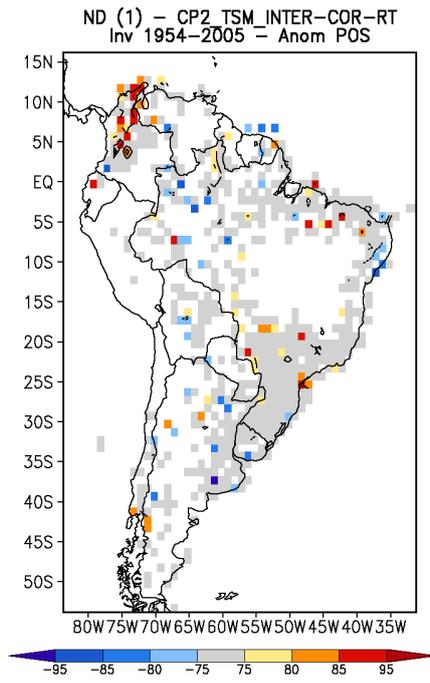
OIP (+)

OIP (-)

PT



ND



Continua na próxima página.

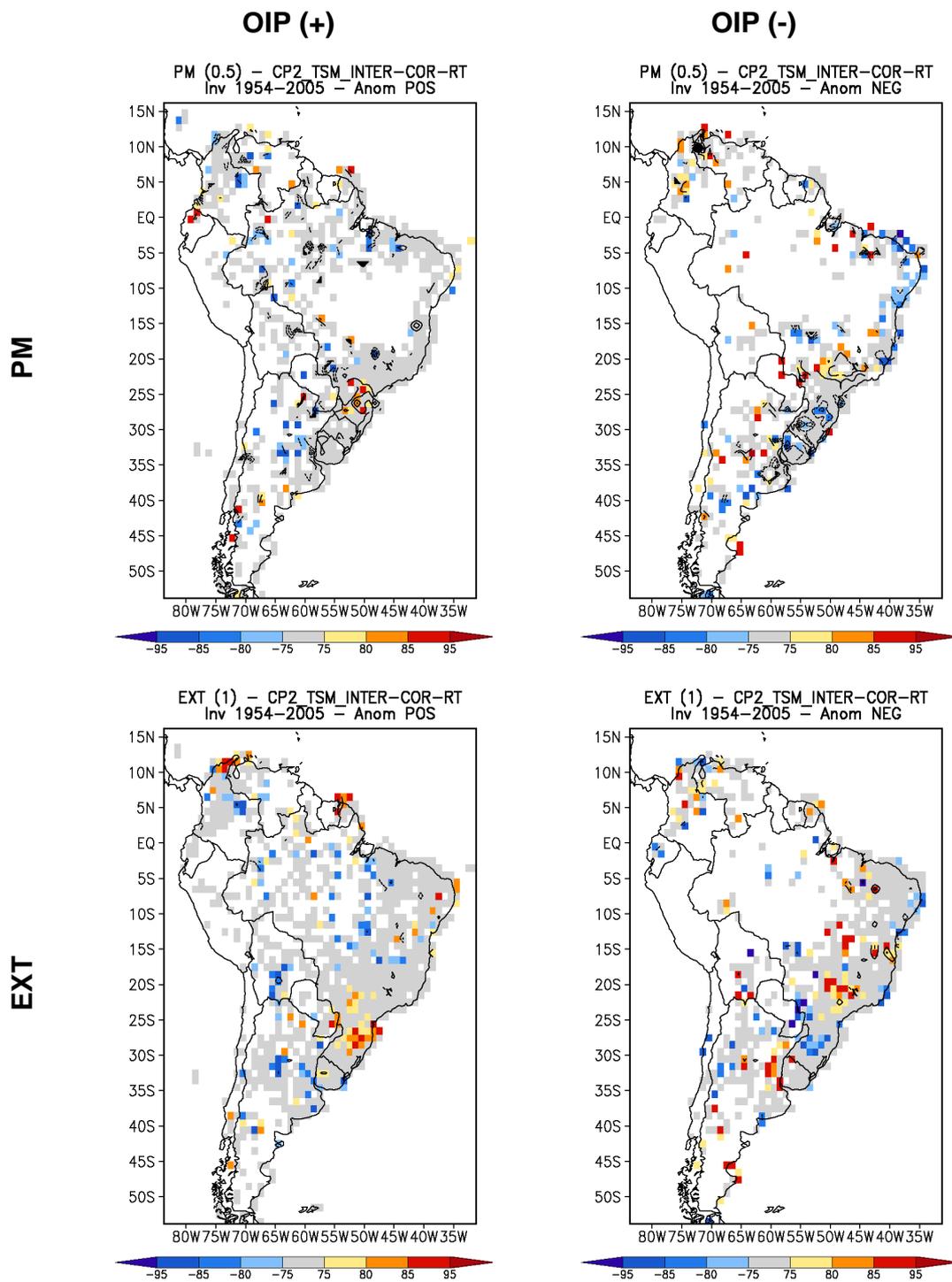


Figura 44 – Composição de anomalias de PT, ND, PM e EXT (de cima para baixo) para OIP (+) (esquerda) e OIP (-) (direita). As manchas representam os níveis de confiança, especificados na barra de cores, e as isolinhas representam as anomalias, cujo intervalo é de 10 mm (PT), 1 dia (ND), 0,5 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Inverno OIP.

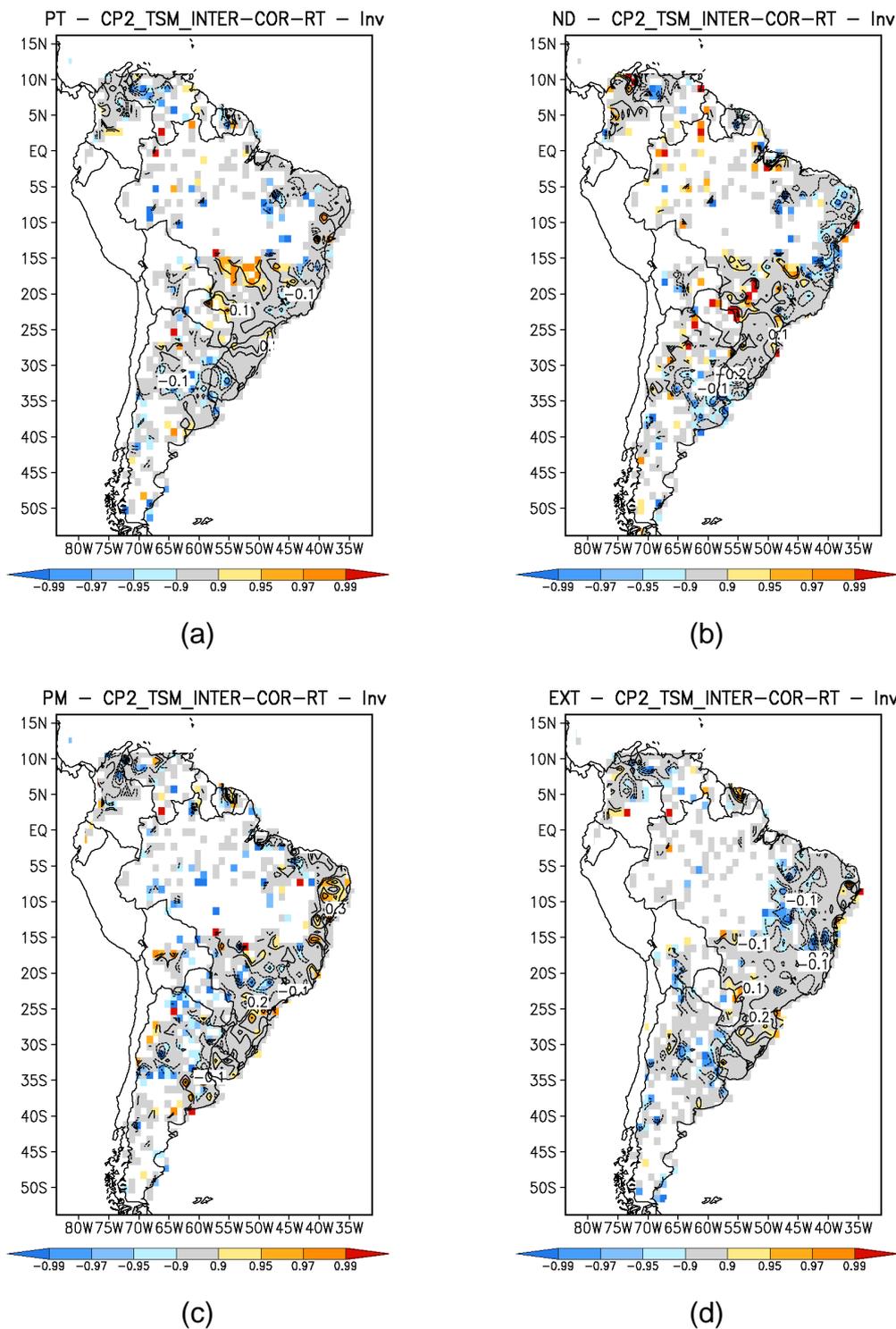


Figura 45 – Correlação entre o modo OIP e a PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d). As manchas representam o nível de confiança e as isolinhas e números os valores de correlação. – Inverno OIP.

Em seguida, foram selecionadas quadrículas para análise individual, baseando-se na diferença de anomalias de PT entre a composição de anomalias de OIP (+) e de OIP (-). As quadrículas selecionadas estão assinaladas em verde na Figura 46, para todos os índices.

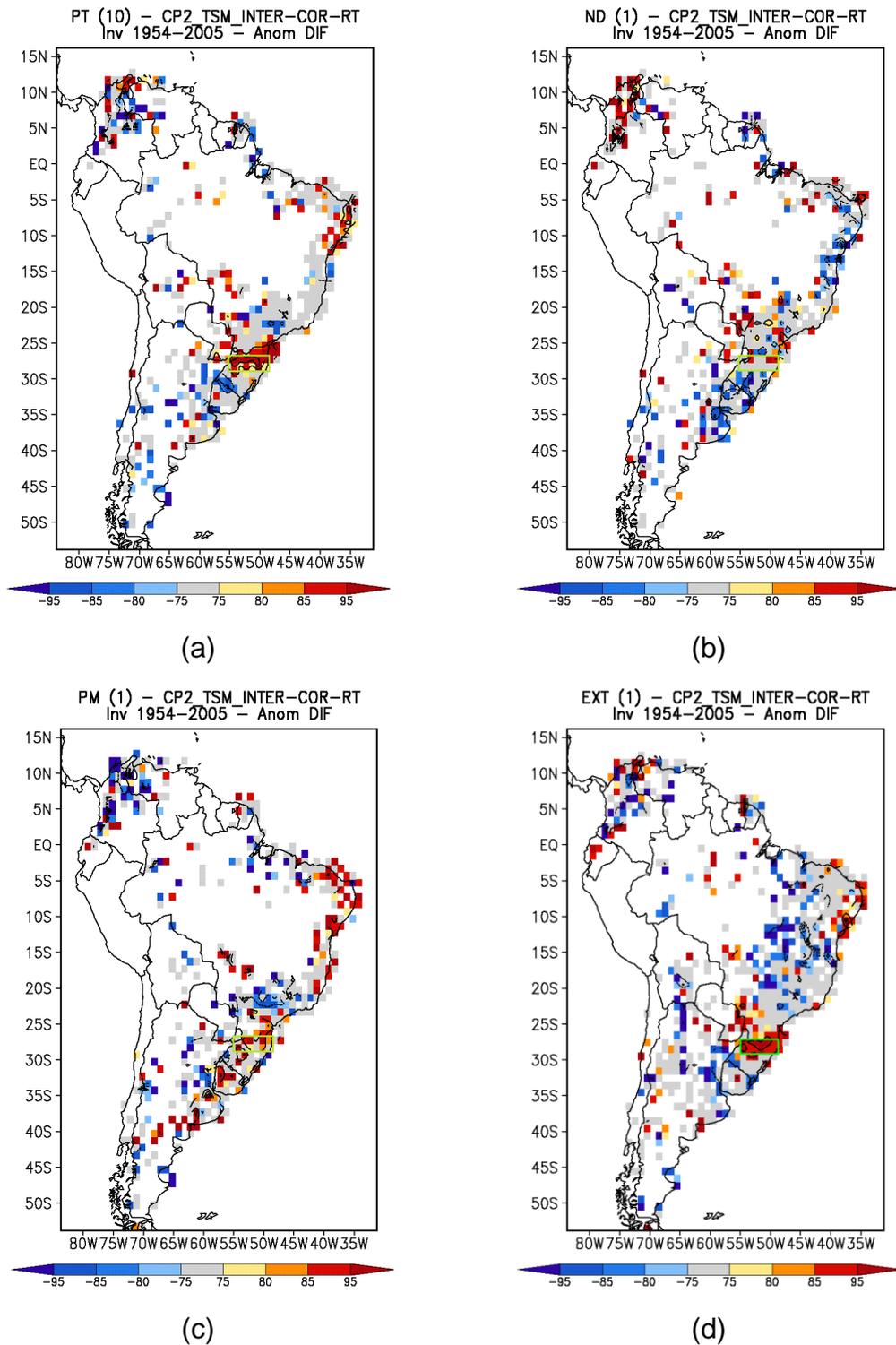


Figura 46 – Diferença entre composição de anomalias de OIP (+) e OIP (-) para PT (a), ND (b), PM (c), e EXT (d). As manchas representam a significância, conforme barra de cores e o intervalo entre isolinhas é de 10 mm (PT), 1 dia (ND), 1 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Inverno OIP. As quadrículas escolhidas se encontram na região assinalada em verde.

Na região assinalada, cuja localização é dada pelas latitudes 26,5°W-28,6°S e longitudes 53,4°W-49,5°W, encontram-se 12 quadrículas, das quais foram obtidas 12 séries para cada índice em cada fase.

A função densidade de probabilidade das séries e da respectiva média foi obtida e disposta na Figura 47. As FDPs da série média visualmente não possuem deslocamento notável, porém as curvas indicam, de maneira geral, maior probabilidade de valores mais altos para OIP (+) e mais baixos para OIP (-).

Os testes KS e MWU realizados em cada quadrícula para a diferença entre a fase positiva e negativa resultaram em valores significativos de diferença entre fases para PT. A Tabela 7 relaciona a frequência de quadrículas e os níveis de confiança em que há diferença entre as fases positiva e negativa de acordo com os testes.

Todos os índices demonstraram que mais da metade das quadrículas possuem diferença entre as fases opostas com, pelo menos, 70% de confiança no teste de MWU. Embora apenas para PT foi obtido nível de confiança de 95% (no teste MWU).

Tabela 7 – Frequência (porcentagem) de quadrículas nas quais há diferença entre a fase positiva e negativa de cada índice, de acordo com os níveis de confiança dos testes KS e MWU. – Inverno OIP. Valores sublinhados contemplam mais de 50% das quadrículas.

Nível de Confiança	95%		70%	
	KS	MWU	KS	MWU
PT	4/12(33,3%)	<u>7/12(58,3%)</u>	<u>7/12(58,3%)</u>	<u>8/12(66,7%)</u>
ND	4/12(33,3%)	4/12(33,3%)	<u>6/12(50,0%)</u>	<u>7/12(58,3%)</u>
PM	0/12(0,0%)	2/12(16,7%)	3/12(25,0%)	<u>9/12(75,0%)</u>
EXT	0/12(0,0%)	2/12(16,7%)	3/12(25,0%)	<u>6/12(50,0%)</u>

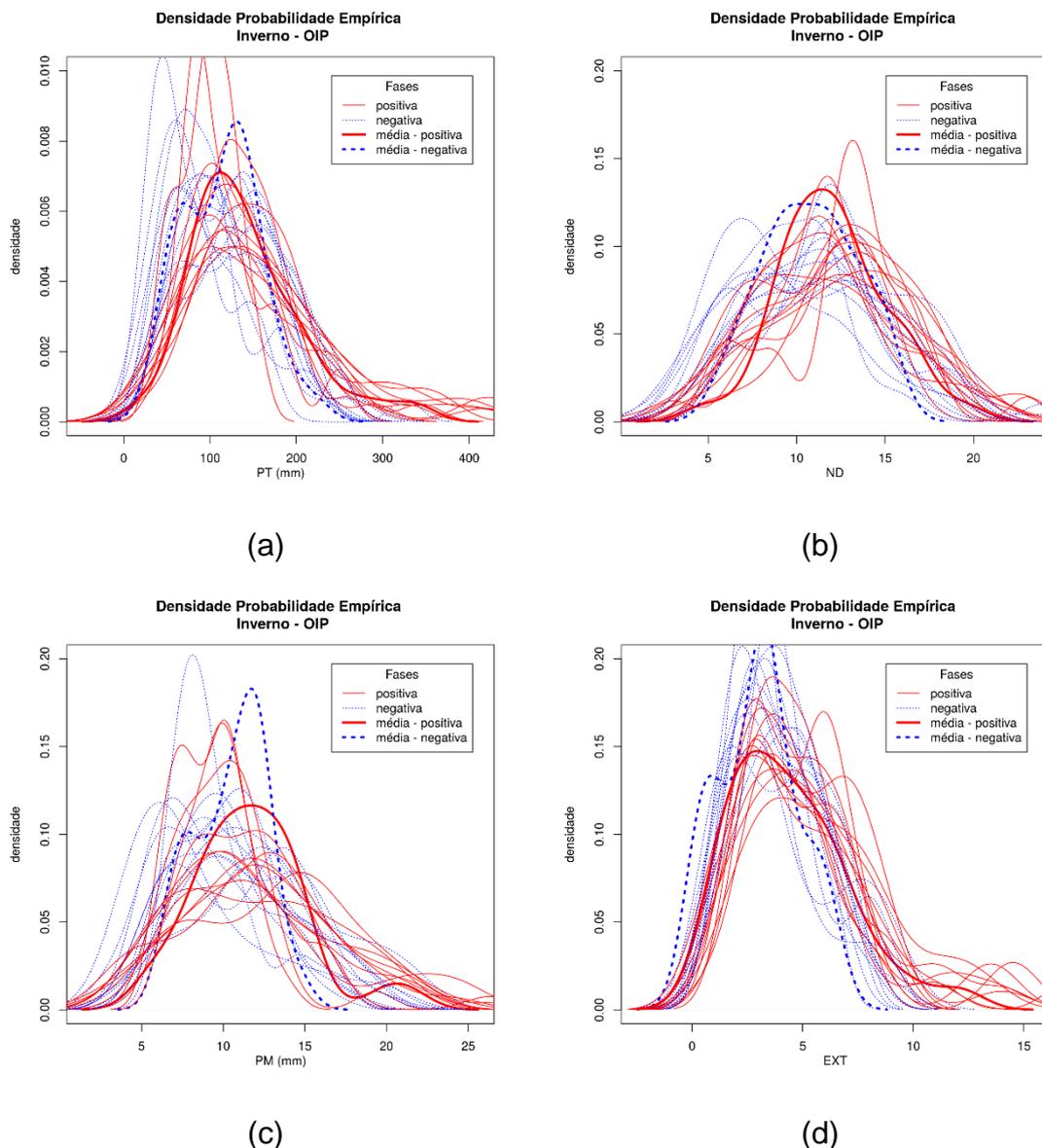


Figura 47 – Funções densidade de probabilidade de PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d) para OIP (+) (vermelho) e OIP (-) (azul). – Inverno OIP. Cada linha representa uma quadrícula e as linhas grossas as médias das quadrículas.

Análise das distribuições da precipitação diária

A série média de precipitação diária é utilizada para calcular distribuições de precipitação diária de cada fase. A Figura 48 mostra, para cada intervalo de valores de precipitação, o logaritmo da razão entre a frequência de eventos em cada fase (positiva ou negativa) e a fase neutra, para as distribuições de precipitação diária empírica de cada fase e para os ajustes teóricos (Gama e Exponencial) para a área selecionada na Região Sul.

Nesta figura se observa a distinção entre a fase positiva e negativa do modo. Para classes de chuva de maior intensidade essa diferença tende a ser

maior em todas as distribuições. Porém, quando aplicado o teste de KS para a diferença entre as fases positiva e negativa na série média de precipitação diária se obteve que não há diferença significativa entre as distribuições de precipitação diária em anos de OIP (+) e OIP (-).

O teste de aderência realizado para as distribuições teóricas de cada fase está disposto na Figura 49. Para classes de precipitação maiores de 6 mm, aproximadamente, há aderência para as duas distribuições.

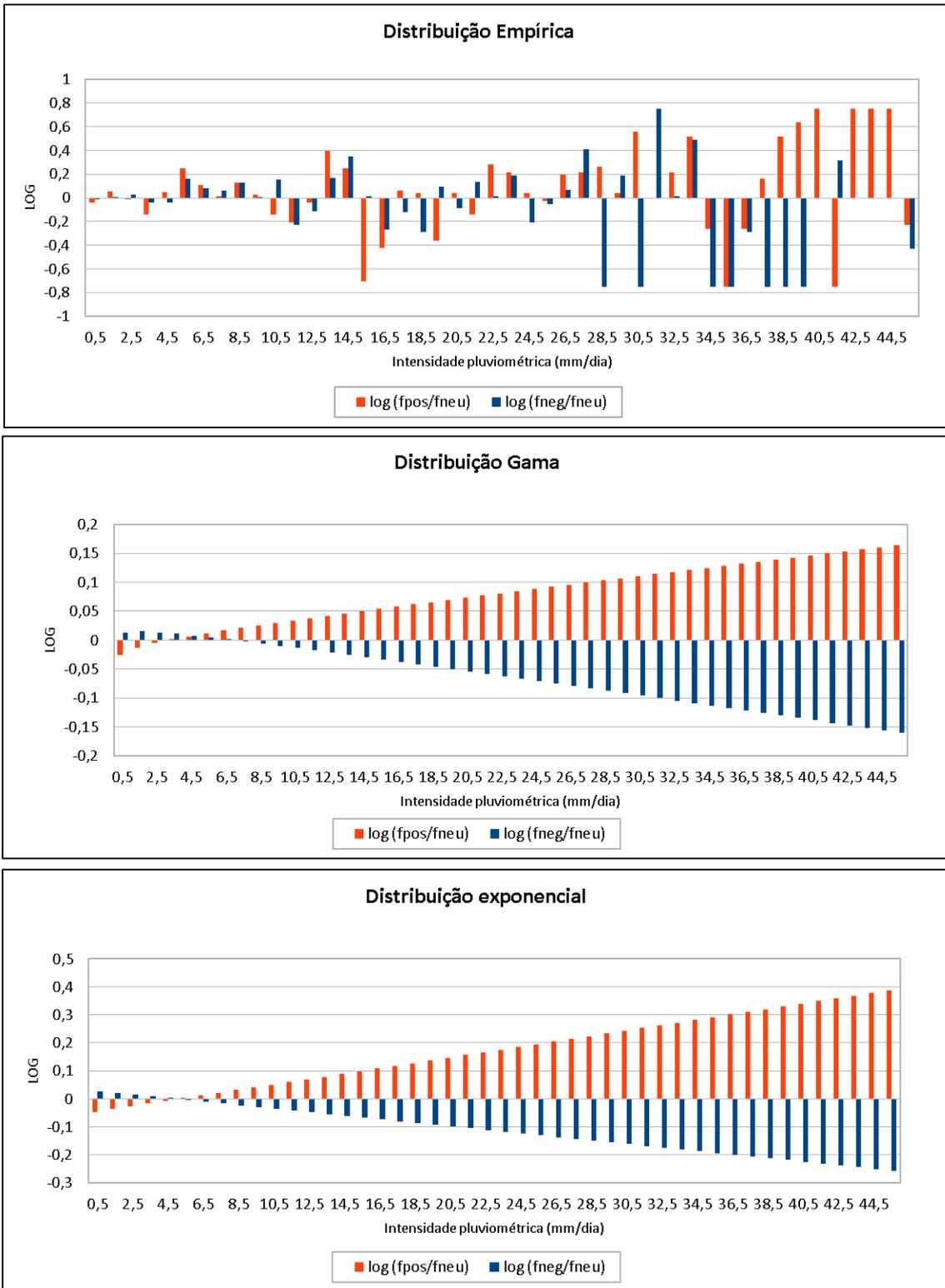


Figura 48 – Logaritmo da razão fpos/fneu (em vermelho) e fneg/fneu (azul) para cada intervalo de precipitação diária⁶. De cima para baixo: distribuição empírica, Gama e exponencial. – Inverno OIP.

⁶ Quando o valor da razão é infinito (sem ocorrências na fase neutra) o valor plotado é 0,75; quando a razão é 0 (sem ocorrências na fase positiva ou negativa) o valor plotado é -0,75; e, quando o valor da razão é 0:0 o valor plotado é 0. Demais valores de razão são plotados na escala logarítmica. (fpos = frequência na fase positiva; fneg = frequência na fase negativa; fneu = frequência na fase neutra)

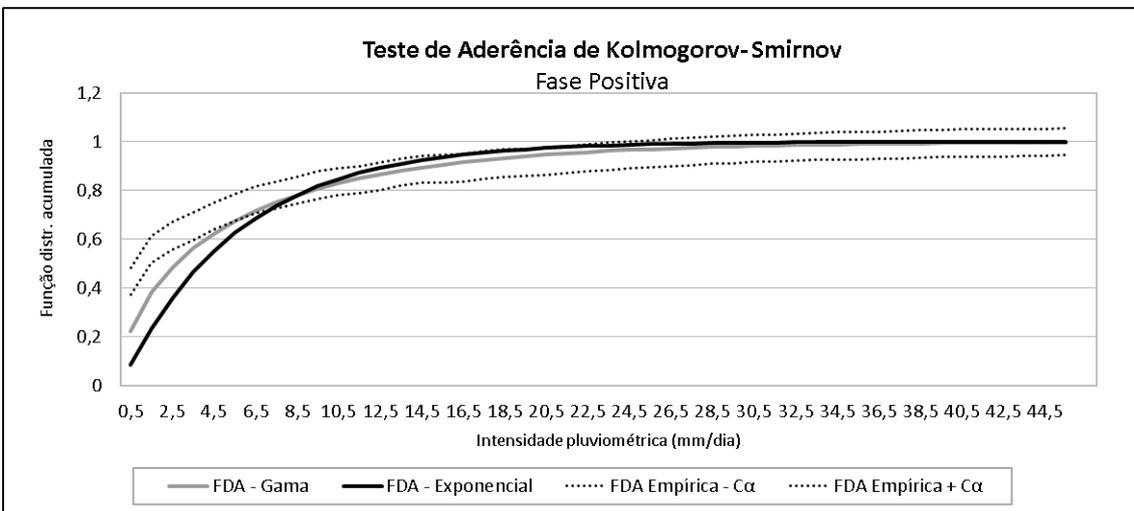
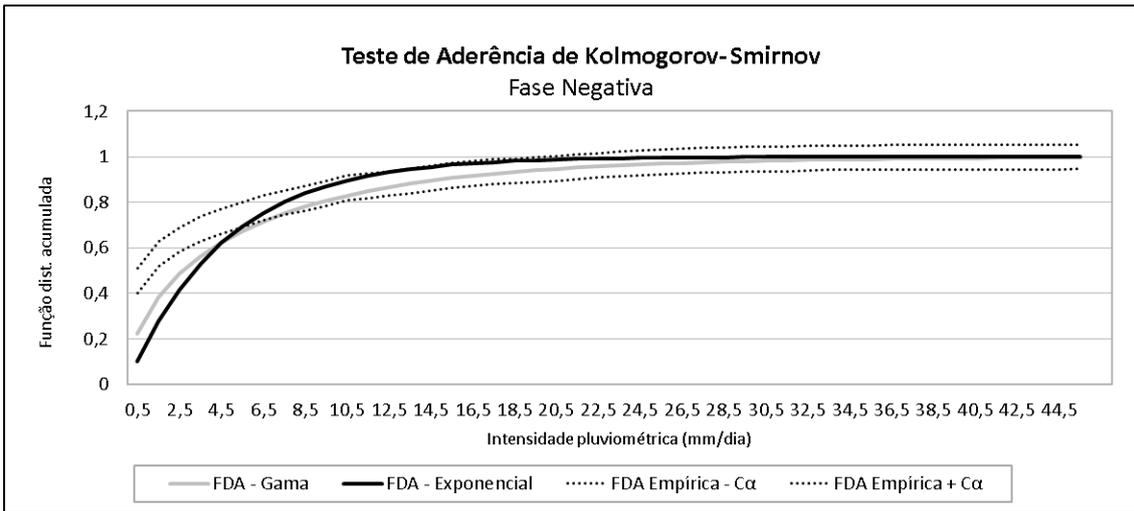


Figura 49 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov. Comparação entre as funções de distribuições acumuladas (FDA): Gama (em cinza), Exponencial (preta) e, em linhas pontilhadas estão os limites do intervalo de 95% de confiança para a verdadeira FDA da qual os dados foram retirados. – Inverno OIP.

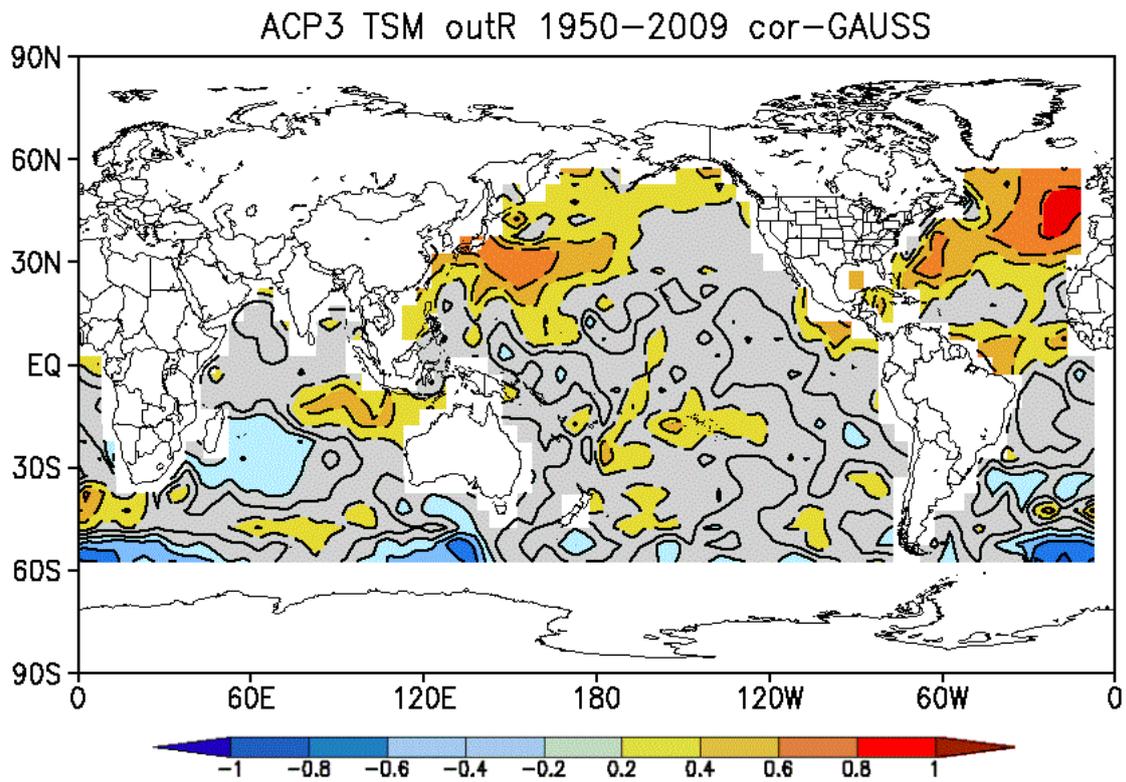
5.3. OSCILAÇÃO MULTIDECADAL DO ATLÂNTICO

Dentre as Oscilações, a OMA é a que menos tem sido estudada em relação a seus impactos sazonais sobre a América do Sul. Com relação a valores mensais, o estudo de Santos et al. (2016) indicou que a OMA (-) gera tendência de redução de precipitação mensal em toda porção leste do continente e o contrário para OMA (+).

5.3.1. OUTONO

Análises sazonais

No outono, a Oscilação Multidecadal do Atlântico foi caracterizada pelo modo 3 da ACP de TSM rotacionada interdecadal. Sua representação está mostrada na Figura 50. Este modo foi utilizado para definir os anos de cada a fase da oscilação. A seguir, serão mostradas as anomalias, correlações e distribuições para os índices analisados.



Modo Rot.3 - out, cor-GAUSS VAR (8.888%)

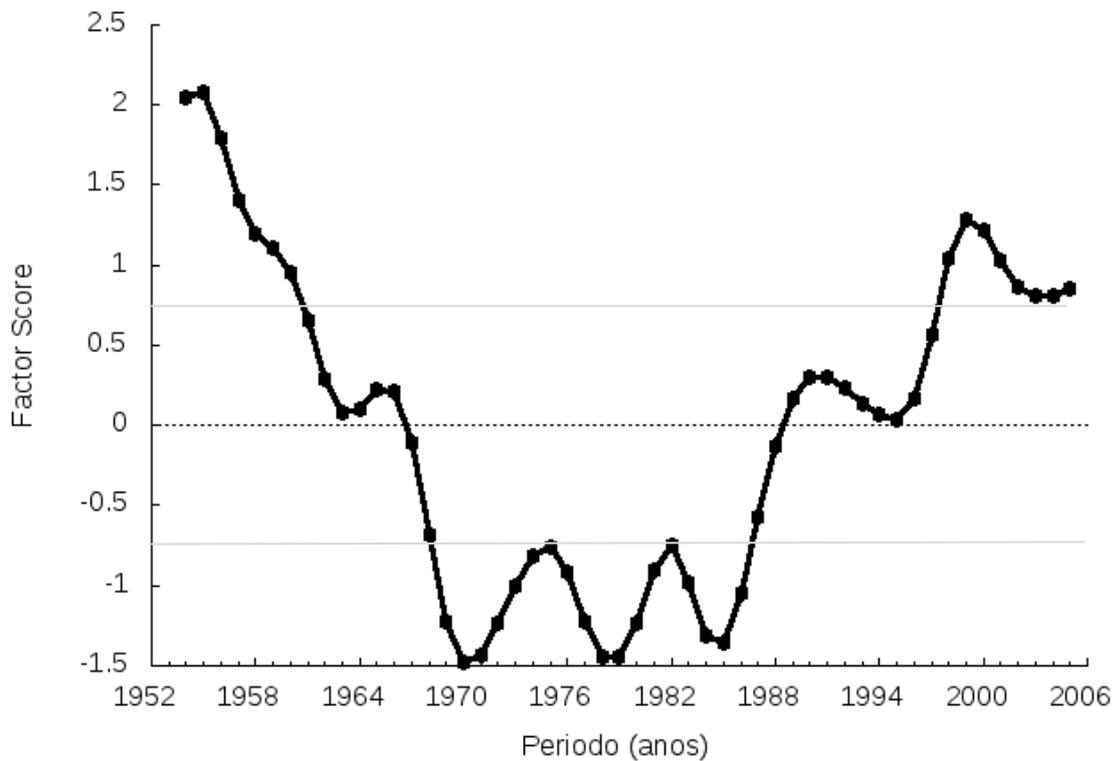


Figura 50 – 3º modo interdecadal de variabilidade da TSM no Outono, caracterizando a OMA. FL acima e FS abaixo. – Outono OMA.

Com base nos anos de fases positiva – OMA (+) – e negativa – OMA (-) – foram compostas anomalias dos índices para essas fases do modo e mostradas na Figura 51. Para PT, em anos de OMA (+), as anomalias de precipitação são quase todas negativas (redução de PT) em uma área que se estende por todo o continente da América do Sul, sendo invertidas para OMA (-).

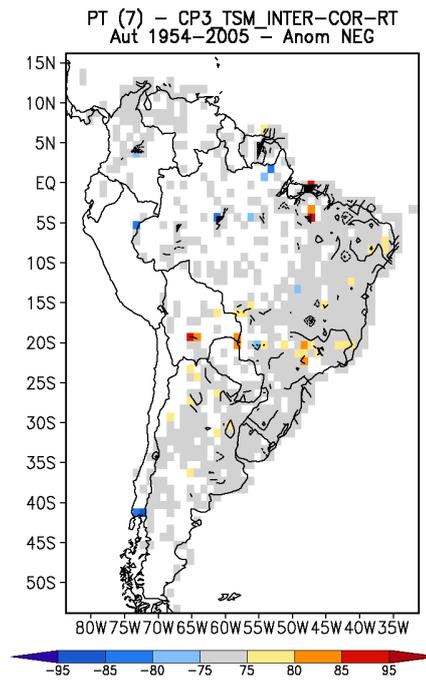
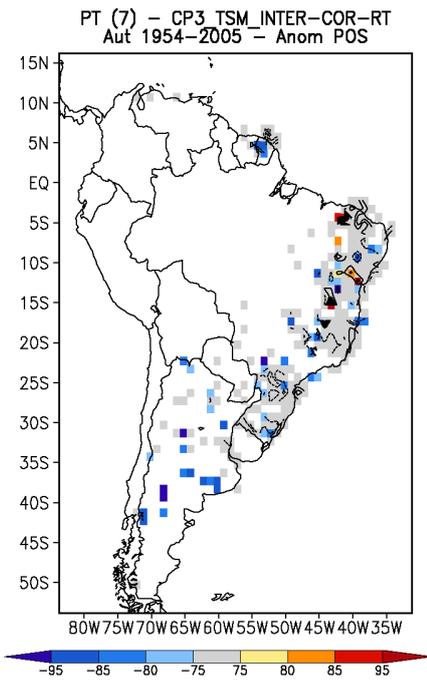
As quadrículas com anomalias mais significativas de EXT também são poucas, mas registram o mesmo impacto que sobre a PT. Nas composições para ND e PM, são verificadas mais quadrículas com anomalias distintas de PT.

A distribuição espacial dos coeficientes de correlação do modo com PT é mostrada na Figura 52 e é coerente com as anomalias da fase positiva (mostrada na Figura 50). Para PT a figura tem interpretação análoga ao da composição de anomalias, ou seja, OMA (+) gera redução na precipitação em quase todo o continente (exceto no noroeste) e ocorre o contrário na fase oposta. Os impactos de EXT e ND são semelhantes aos de PT. Já ND e PM tem variações distintas, mas ND parece ter mais influência sobre PT, pois sua distribuição de correlação é mais próxima da de PT.

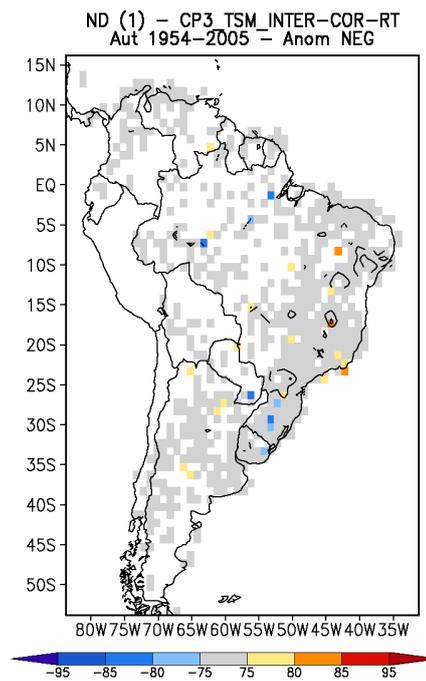
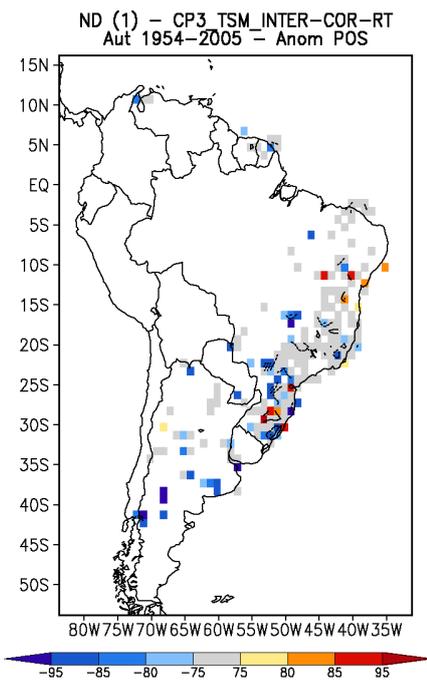
OMA (+)

OMA (-)

PT



ND



Continua na próxima página.

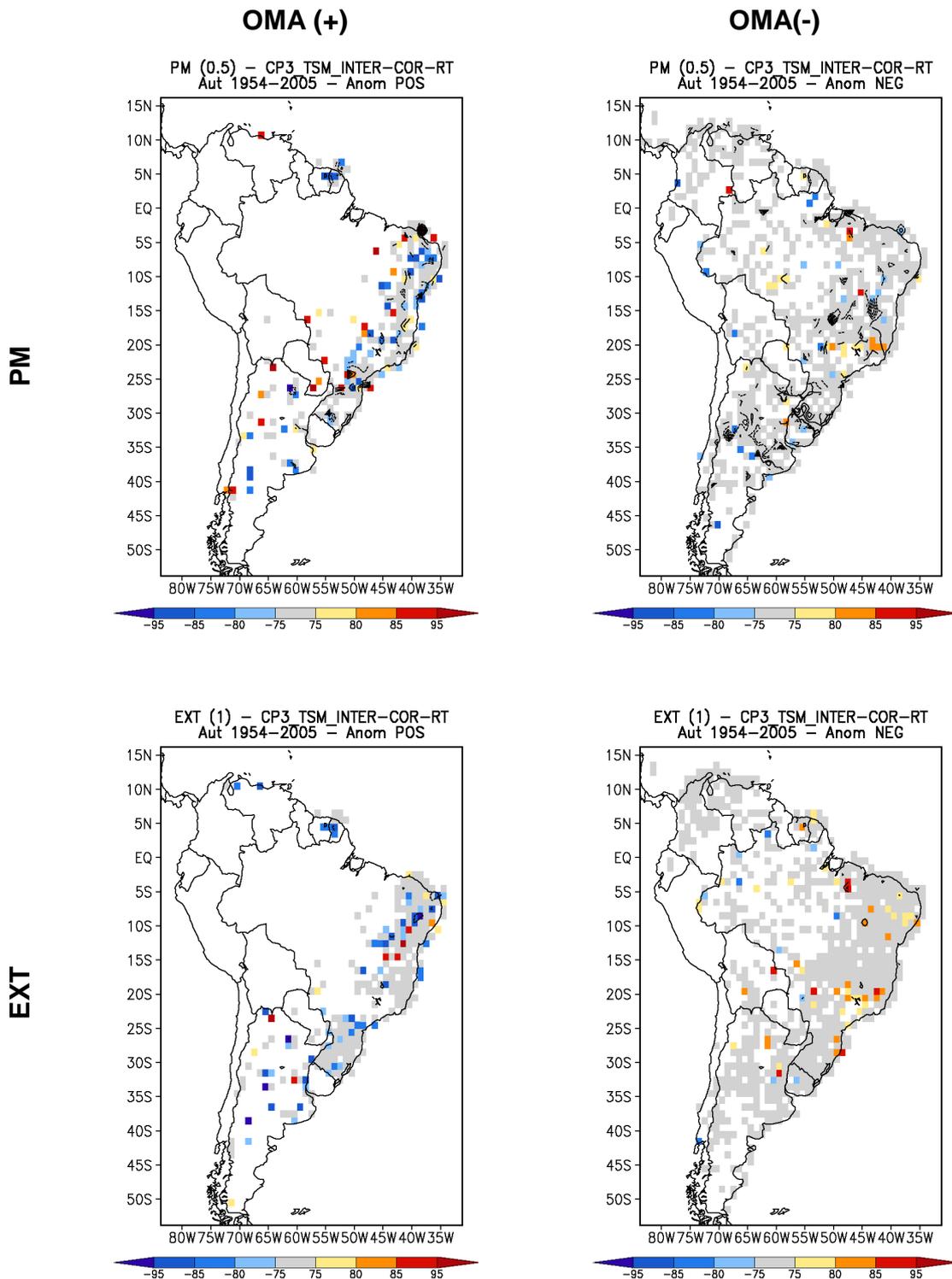


Figura 51 – Composição de anomalias de PT, ND, PM e EXT (de cima para baixo) para OMA (+) (esquerda) e OMA (-) (direita). As manchas representam os níveis de confiança, especificados na barra de cores, e as isolinhas representam as anomalias, cujo intervalo é de 7 mm (PT), 1 dia (ND), 0,5 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Outono OMA.

Há concordância entre as composições de anomalias (Figura 51) e a correlação (Figura 52) quanto às regiões impactadas. Portanto, com certa

significância, pode-se afirmar que OMA (+) produz predominante redução dos índices no continente, exceto no noroeste.

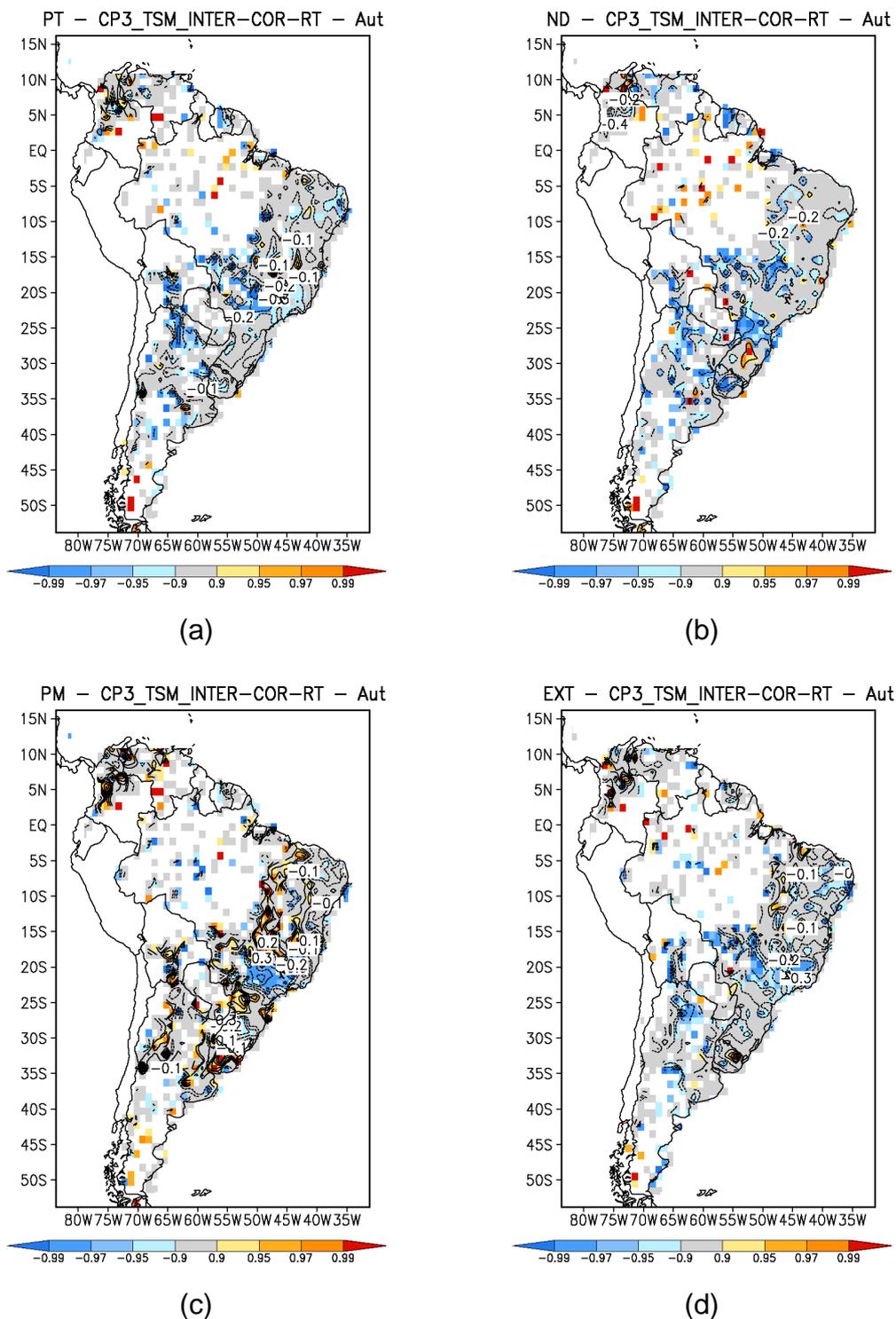


Figura 52 – Correlação entre o modo OMA e a PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d). As manchas representam o nível de confiança e as isolinhas e números os valores de correlação. – Outono OMA.

Foram geradas as figuras de diferenças entre as composições de anomalias de OMA (+) e OMA (-) e dispostas na Figura 53.

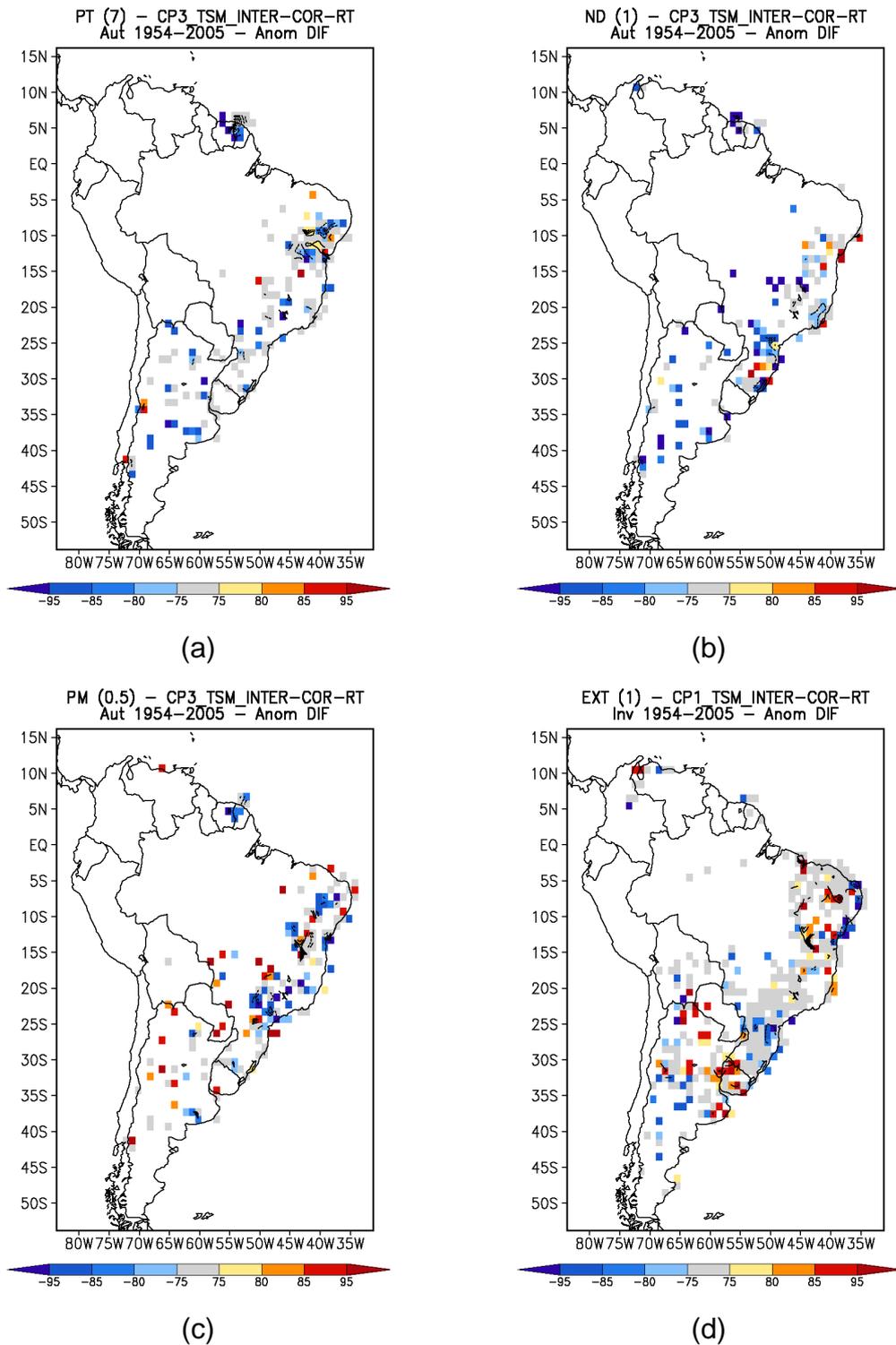


Figura 53 – Diferença entre composição de anomalias de OMA (+) e OMA (-) para PT (a), ND (b), PM (c), e EXT (d). As manchas representam a significância, conforme barra de cores e o intervalo entre isolinhas é de 30 mm (PT), 1 dia (ND), 3 mm (PM) e 1 evento (EXT) – Outono OMA.

Nota-se que para OMA no outono não há para PT ou EXT uma região extensa com significativa diferença entre fases opostas para que fosse realizada análises de quadrículas individuais, como realizado para os outros modos. Por

esta razão, a análise de quadriculas e distribuições de frequência de precipitação e dos índices não foi realizada.

5.3.2. INVERNO

Análises sazonais

No inverno, a Oscilação Multidecadal do Atlântico foi caracterizada pelo 3º modo da ACP de TSM rotacionada interdecadal. Sua representação está mostrada na Figura 54. Este modo foi utilizado para definir os anos de cada fase da oscilação. A seguir, serão mostradas as anomalias, correlações e distribuições para os índices analisados.

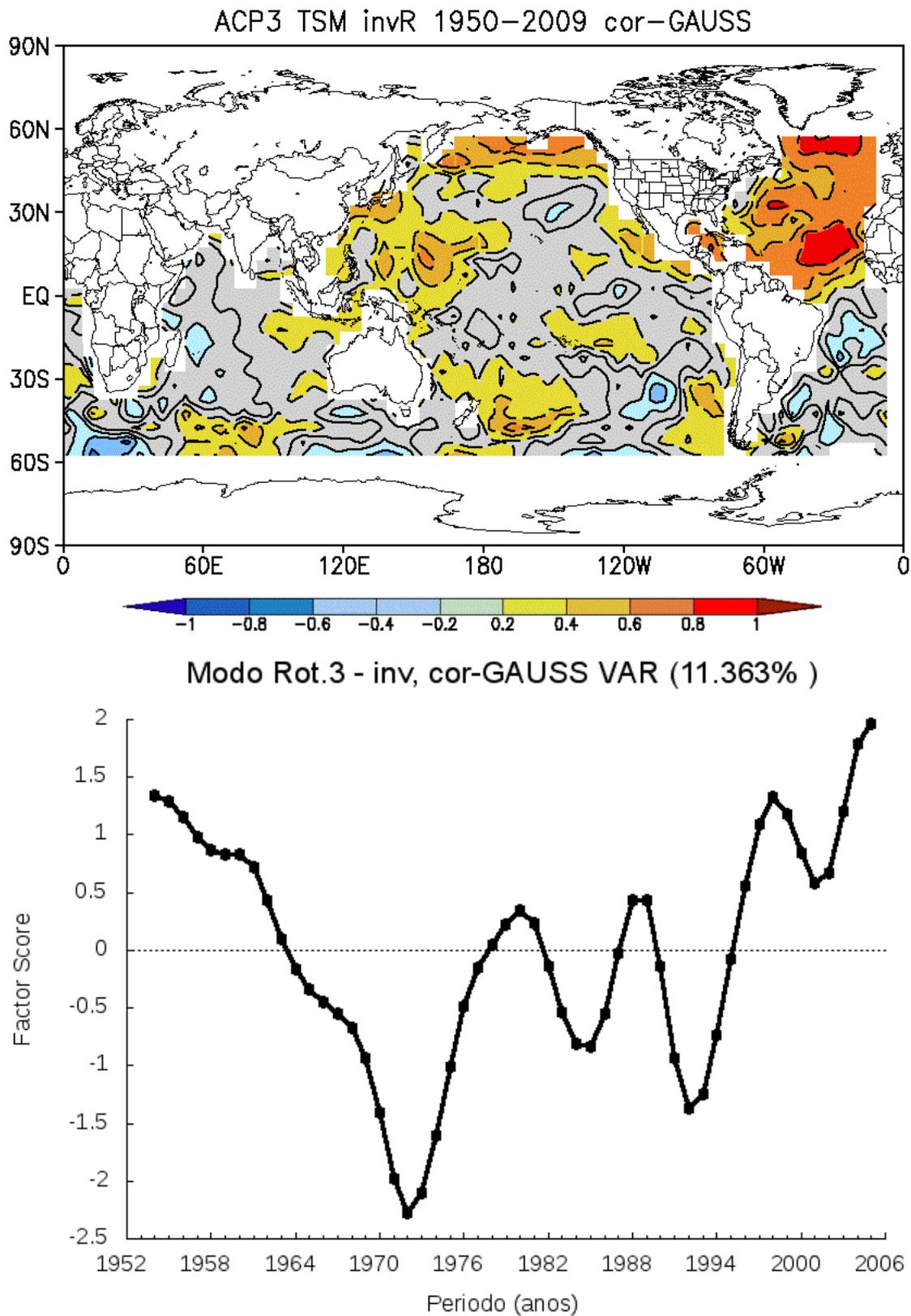


Figura 54 – 3º modo interdecadal de variabilidade da TSM no Inverno, caracterizando a oscilação OMA. *Factor loadings (FL)* acima e *factor scores (FS)* abaixo. – Inverno.

Com base nos anos de OMA (+) e OMA (-) foram compostas anomalias dos índices nas fases opostas do modo e dispostas na Figura 55. Para PT, se destaca uma grande quantidade de quadrículas com anomalias negativas significativas em OMA (+) na Região Sul até Sudeste do Brasil, além de também existirem anomalias negativas no litoral norte do Nordeste. As anomalias de EXT seguem aproximadamente as de PT. Há muito menos anomalias na fase negativa (OMA (-)) e as de sinais opostos estão mais presentes no Sudeste.

Para ND e PM, foram observados padrões semelhantes aos de PT, porém com menos anomalias negativas significativas e mais presença de anomalias opostas na Região Sul para OMA (+), mostrando também contribuições mais fortes em regiões distintas.

A distribuição espacial dos coeficientes de correlação do modo com PT é mostrada na Figura 56, tendo, de maneira geral, coerência de sinais com os da fase positiva de OMA (que está mostrada na Figura 54). A mais forte correlação aparece no Sudeste do Brasil, coerentemente com o fato de que nesta região há anomalias de sinais opostas em fases opostas na Figura 55. Todos os índices mostraram predominância de coeficientes de correlação negativos nesta região. De acordo com essa característica, OMA (+) implica em redução no valor dos índices na região. Tal característica ocorre também no outono (Figura 52 e Figura 53).

As análises indicam que OMA (+) gera redução em índices de chuva, principalmente sobre a Região Sul e Sudeste do Brasil.

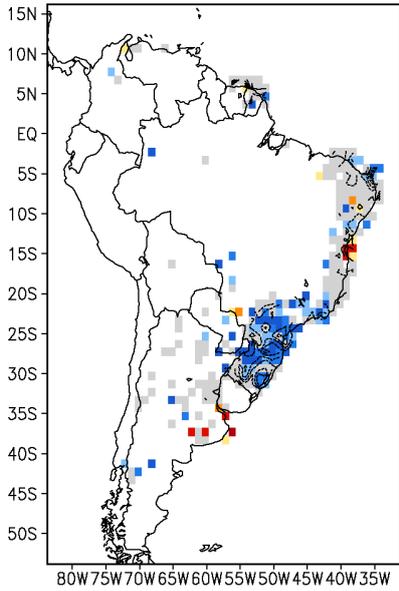
Nesse caso, foi obtida uma quantidade razoável de quadrículas com diferença significativa entre fases opostas (Figura 57), mais numerosas do que no outono, o que permite a análise individual de quadrículas. Este resultado indica que OMA possui um impacto mais intenso no inverno do que no outono, especialmente sobre a Região Sul e Sudeste do Brasil.

OMA (+)

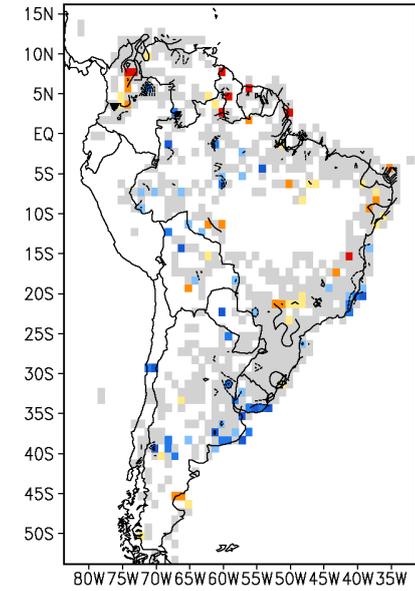
OMA (-)

PT

PT (5) - CP3 TSM_INTER-COR-RT
Inv 1954-2005 - Anom POS

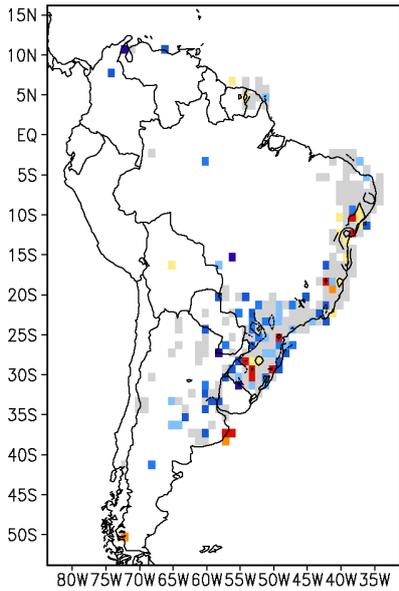


PT (5) - CP3 TSM_INTER-COR-RT
Inv 1954-2005 - Anom NEG

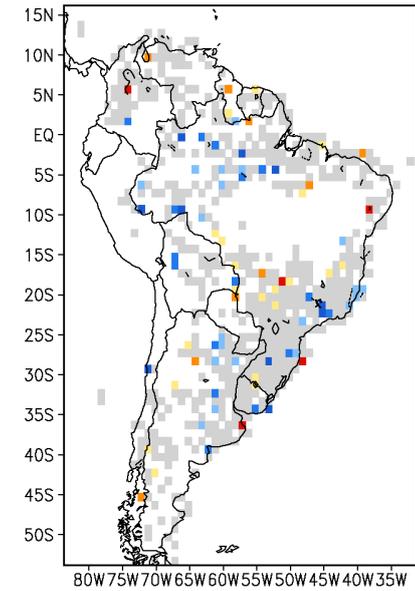


ND

ND (1) - CP3 TSM_INTER-COR-RT
Inv 1954-2005 - Anom POS



ND (1) - CP3 TSM_INTER-COR-RT
Inv 1954-2005 - Anom NEG



Continua na próxima página.

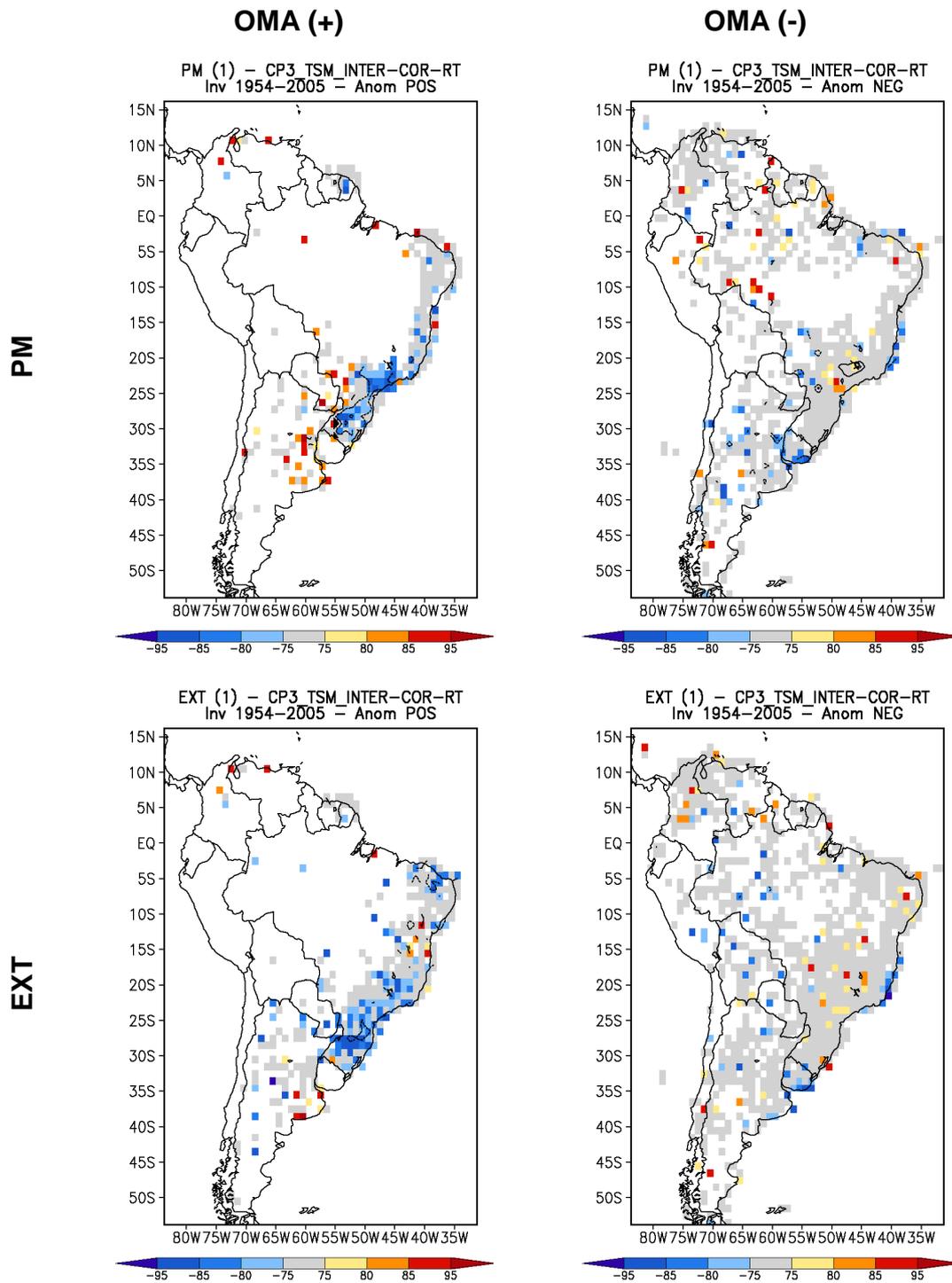


Figura 55 – Composição de anomalias de PT, ND, PM e EXT (de cima para baixo) para OMA (+) (esquerda) e OMA (-) (direita). As manchas representam os níveis de confiança, especificados na barra de cores, e as isolinhas representam as anomalias, cujo intervalo é de 5 mm (PT), 1 dia (ND), 1 mm (PM) e 1 evento (EXT). – Inverno OMA.

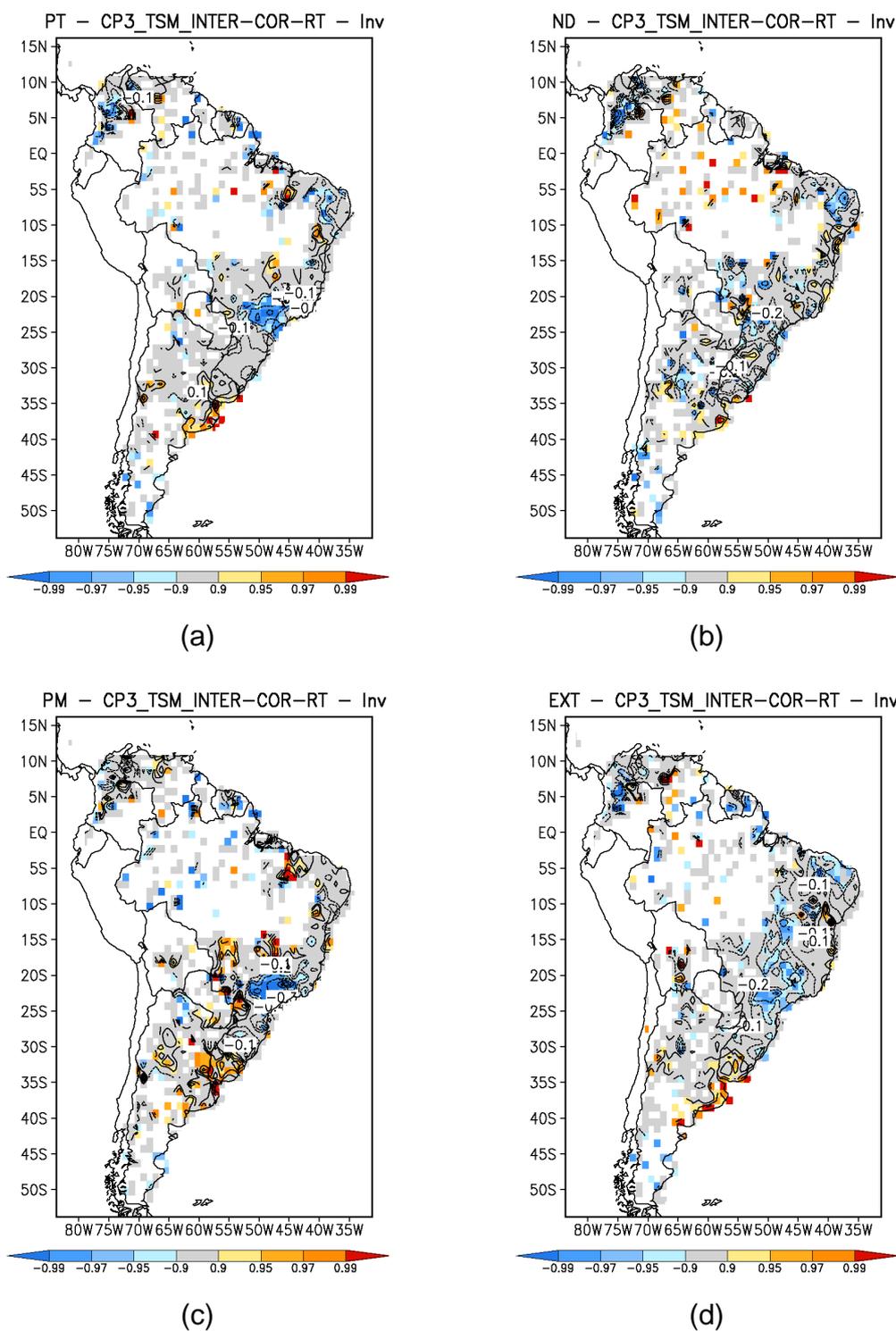


Figura 56 – Correlação entre o modo OMA e a PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d). As manchas representam o nível de confiança e as isolinhas e números os valores de correlação. – Inverno OMA.

A seleção de quadrículas, para este modo, foi baseada na distribuição de anomalias significativas de PT e EXT na diferença entre as composições de anomalias de OMA (+) e de OMA (-). A Figura 57 destaca as quadrículas selecionadas.

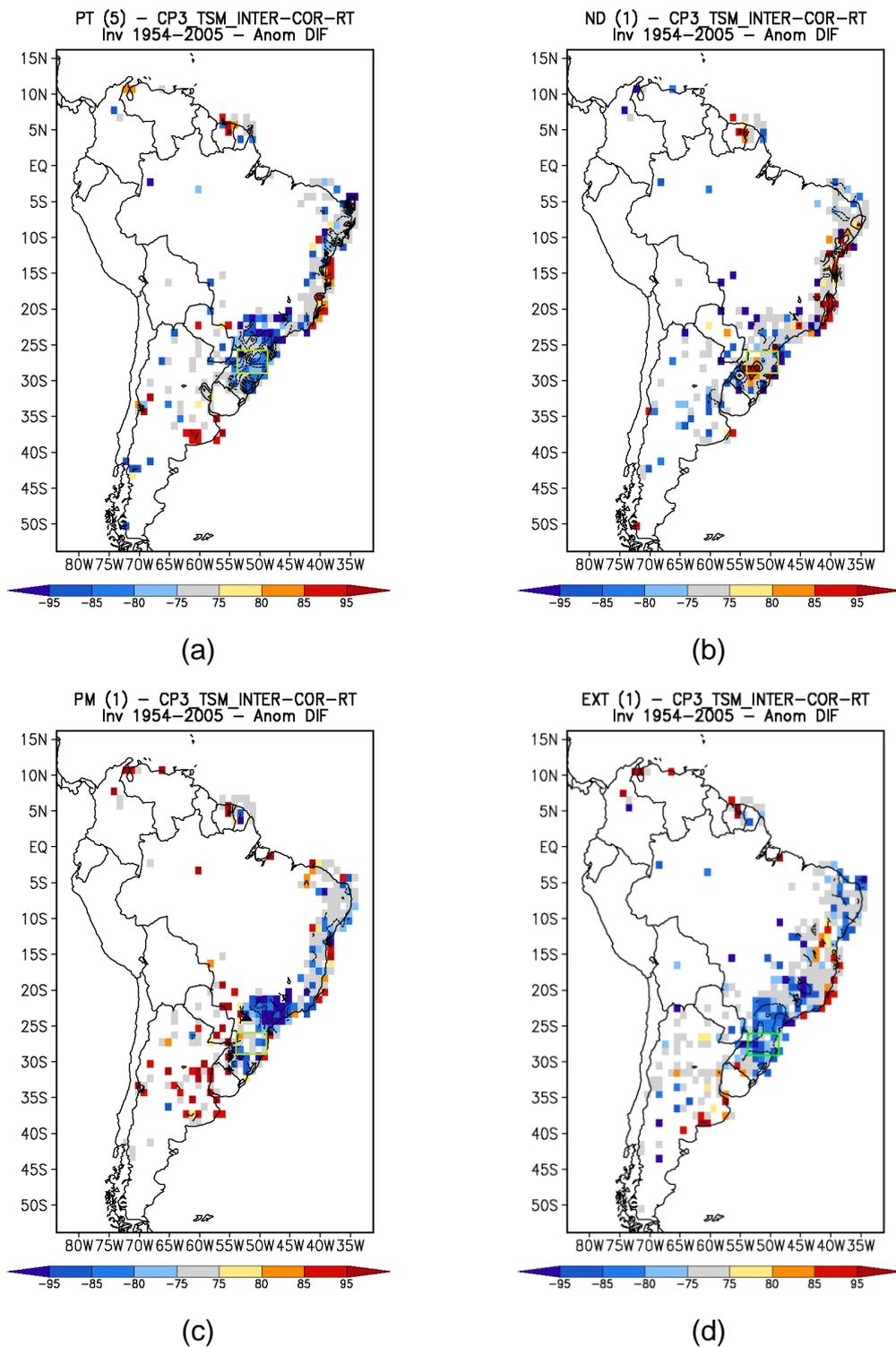


Figura 57 – Diferença entre composição de anomalias de OMA (+) e OMA (-) para PT (a), ND (b), PM (c), e EXT (d). As manchas representam a significância, conforme barra de cores e o intervalo entre isolinhas é de 5 mm (PT), 1 dia (ND), 1 mm (PM) e 1 evento (EXT) – Inverno OMA. As quadrículas selecionadas são destacadas em verde.

Na região assinalada encontram-se 15 quadrículas, distribuídas entre as latitudes 26,5°S-28,5°S e longitudes 52,5°W-49,5°W. Para estas quadrículas, as

funções densidade de probabilidade obtidas estão na Figura 58. As maiores diferenças entre as FDPs, das quadrículas nas fases positiva e negativa do modo ocorreram para a PT e, em menor escala, para os demais índices.

No caso da PT, a FDP da média na fase negativa tem seu máximo deslocado para maiores valores em relação à FDP da média na fase positiva e mostra maiores probabilidades para classes de precipitação mais intensa, indicando que em fase positiva os eventos de PT são de menor intensidade. Esse resultado confirma o indicativo observado na composição de anomalias e correlação (Figura 55, Figura 56 e Figura 57)

Apesar disso, os testes de KS e MWU realizados para cada quadrícula entre a fase positiva e negativa não resultaram em valores muito significativos de diferença entre fases opostas. A Tabela 8 relaciona a frequência e porcentagem de quadrículas e o nível de confiança no qual há diferença entre as fases positiva e negativa de acordo com os dois testes.

Os índices que demonstraram diferença entre as fases OMA (+) e OMA (-) em um maior número de quadrículas (acima de 50%) são PT e PM, em níveis de confiança de 70% (nos dois testes). EXT também obteve o mesmo resultado para o teste de MWU.

Tabela 8 – Frequência (porcentagem) de quadrículas nas quais há diferença entre a fase positiva e negativa de cada índice, de acordo com os níveis de confiança dos testes KS e MWU. – Inverno OMA. Valores sublinhados contemplam mais de 50% das quadrículas.

Nível de Confiança	95%		70%	
	KS	MWU	KS	MWU
PT	5/15(33,3%)	5/15(33,3%)	<u>12/15(80,0%)</u>	<u>13/15(86,7%)</u>
ND	1/15(6,7%)	2/15(13,3%)	3/15(20,0%)	5/15(33,3%)
PM	4/15(26,7%)	6/15(40,0%)	<u>11/15(73,3%)</u>	<u>12/15(80,0%)</u>
EXT	0/15(0,0%)	5/15(33,3%)	5/15(33,3%)	<u>9/15(60,0%)</u>

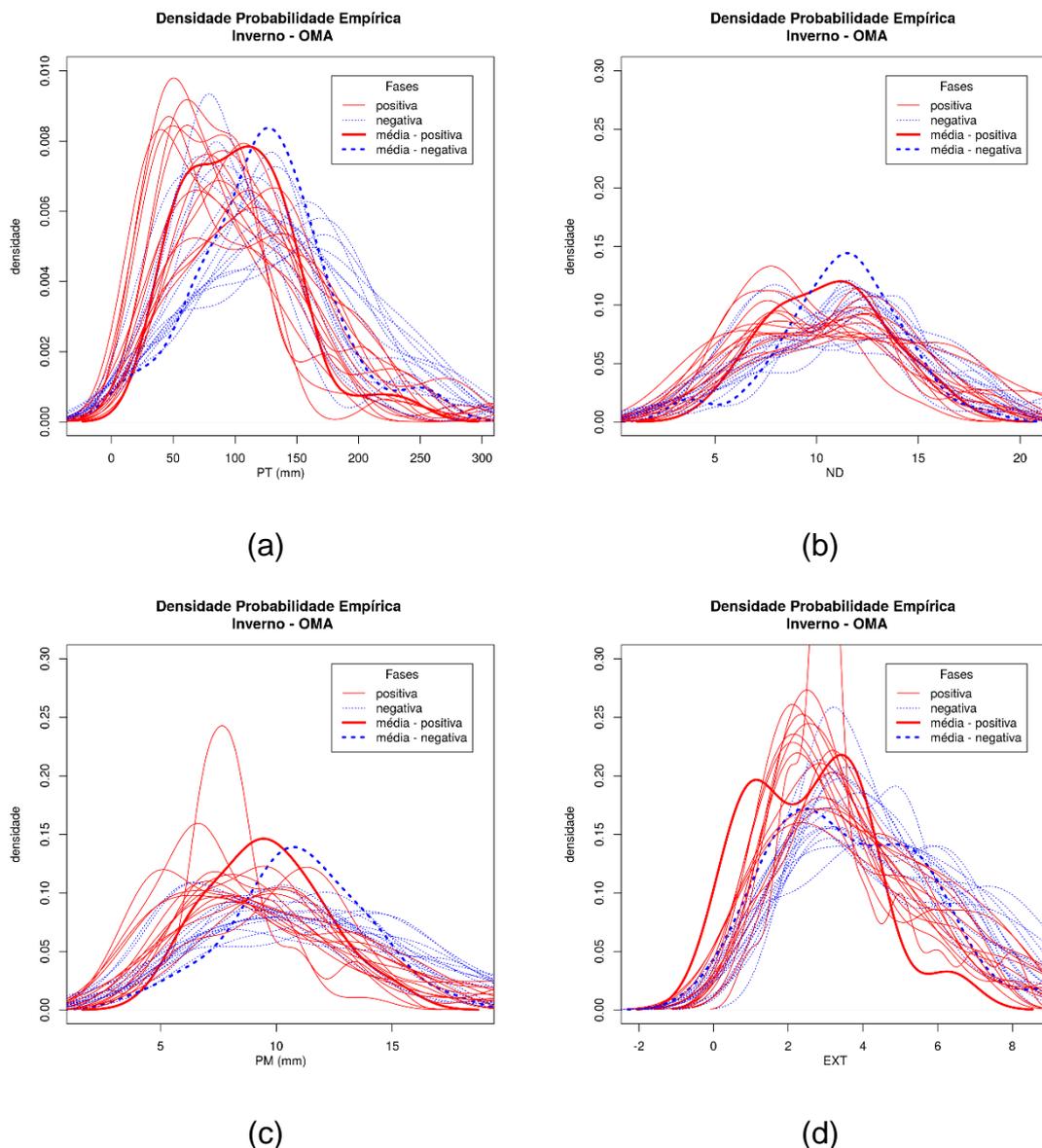


Figura 58 – Funções densidade de probabilidade de PT (a), ND (b), PM (c) e EXT (d) para OMA (+) (vermelho) e OMA (-) (azul). – Inverno OMA. Cada linha representa uma quadrícula e as linhas grossas as médias das quadrículas.

Análise das distribuições da precipitação diária

A série média das precipitações diárias na área selecionada é utilizada para calcular distribuições de precipitação diária de cada fase.

A Figura 59 mostra, para cada intervalo de valores de precipitação, o logaritmo da razão entre a frequência de eventos em cada fase (positiva ou negativa) e a fase neutra, para as distribuições de precipitação diária empírica de cada fase e os ajustes teóricos (Gama e Exponencial) para a Região Sul. A inspeção visual da Figura 59 mostra que as maiores alterações em relação à uma fase neutra (sem OMA) ocorrem na fase positiva e no sentido de diminuição

da precipitação, principalmente dos eventos extremos, o que concorda com as composições de anomalias (Figura 55, para PT e EXT). Portanto, não há um comportamento contrastante nesta região em fases opostas. O teste de KS de diferença entre as séries indica que as séries de precipitação diária em fases opostas seguem distribuições semelhantes.

O teste de aderência realizado para as distribuições teóricas de cada fase está disposto na Figura 60. Nota-se que, a FDA gama nas duas fases apresentou aderência melhor do que a FDA exponencial, sendo, na fase negativa, alcançada para 3 mm de chuva. Para classes de precipitação maiores de 5 mm, aproximadamente, há aderência para as duas distribuições.

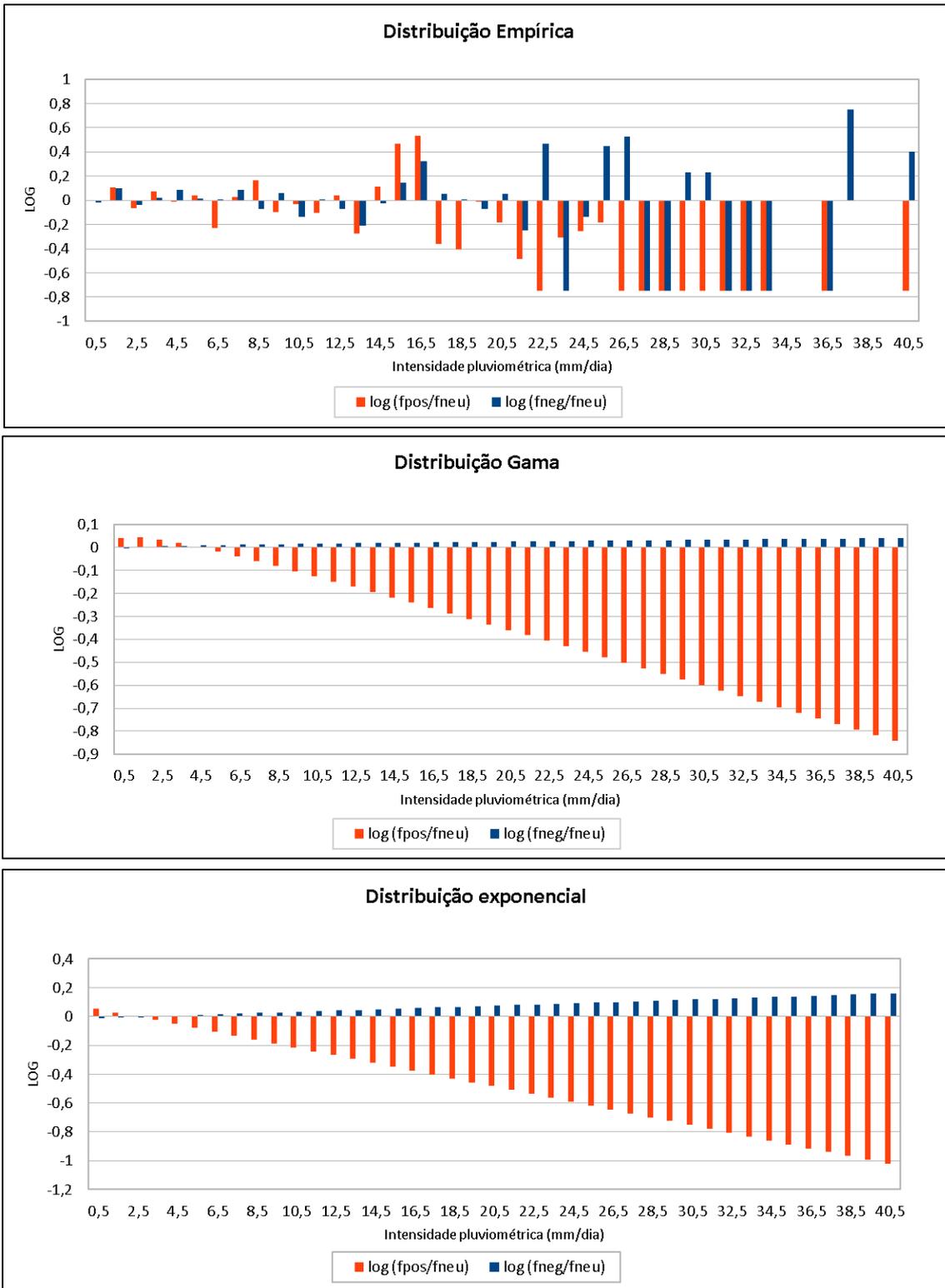


Figura 59 – Logaritmo da razão f_{pos}/f_{neu} (em vermelho) e f_{neg}/f_{neu} (azul) para cada intervalo de precipitação diária⁷. De cima para baixo: distribuição empírica, Gama e exponencial. – Inverno OMA.

⁷ Quando o valor da razão é infinito (sem ocorrências na fase neutra) o valor plotado é 0,75; quando a razão é 0 (sem ocorrências na fase positiva ou negativa) o valor plotado é -0,75; e, quando o valor da razão é 0:0 o valor plotado é 0. Demais valores de razão são plotados na escala logarítmica. (f_{pos} = frequência na fase positiva; f_{neg} = frequência na fase negativa; f_{neu} = frequência na fase neutra)

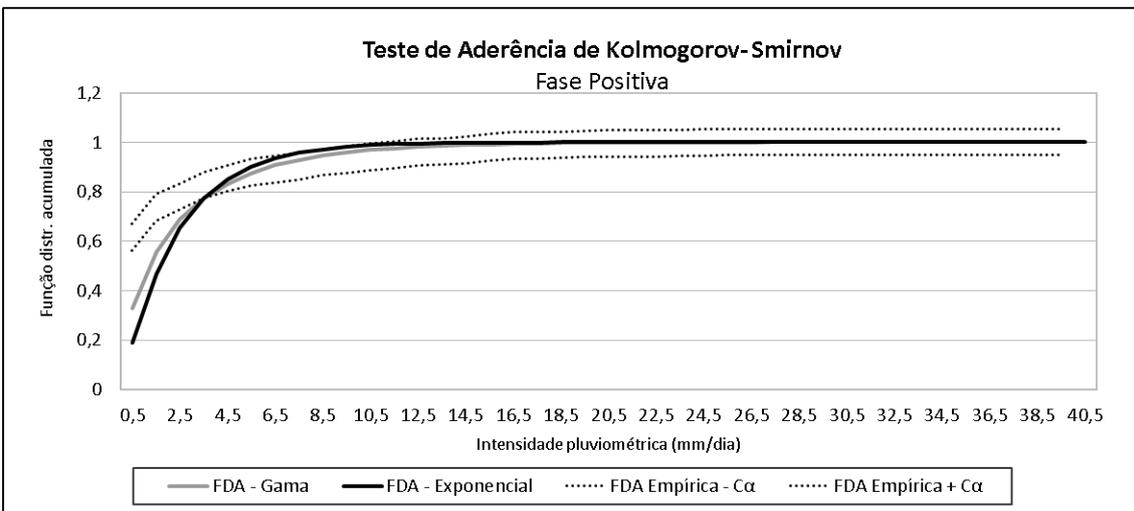
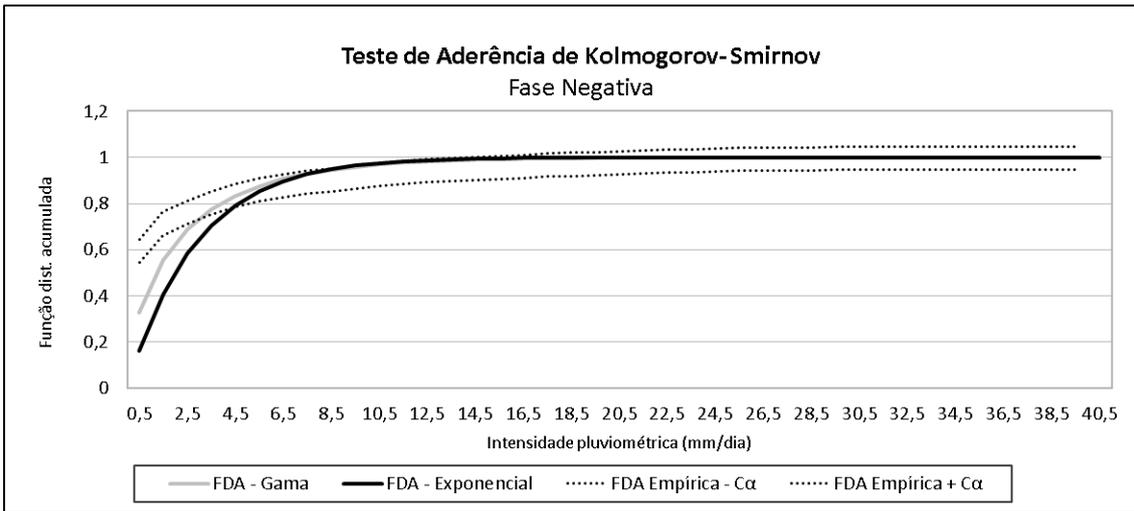


Figura 60 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov. Comparação entre as funções de distribuições acumuladas (FDA): Gama (em cinza), Exponencial (preta) e, em linhas pontilhadas estão os limites do intervalo de 95% de confiança para a verdadeira FDA da qual os dados foram retirados. – Inverno OMA.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ENOS é um modo de variabilidade interanual que tem impactos bem definidos sobre as estações na América do Sul. Para o outono e inverno, a característica de ENOS é produzir aumento de precipitação na fase positiva (EN) e redução na fase negativa (LN), no sul do continente e o oposto no norte. (TEDESCHI, et al. 2016). Esses resultados foram confirmados no presente estudo pela composição de anomalias, correlação e diferença entre anomalias de fases opostas do modo, tanto no outono. (Figura 17, Figura 18 e Figura 19) quanto no inverno (Figura 27, Figura 28 e Figura 29).

Além disso, com os testes significância de KS e MWU, observou-se que pelo menos metade das quadrículas possuem diferenças significativas na distribuição de PT em fases opostas de ENOS (com 95% de confiança do teste MWU), para a Região Sul no outono e para o Nordeste nas duas estações. No Nordeste, o ND também mostrou o mesmo resultado, nas duas estações. A Região Sul possui menos quadrículas com diferença significativa para ND no outono (24%), apesar de também constar 95% de confiança (MWU).

Por sua vez, nas estações analisadas, a OIP tende a produzir redução dos índices em OIP (-) no sul/sudeste da América do Sul, embora em OIP (+) no outono não apareçam muitas anomalias opostas, consistentes com uma oscilação, de acordo com os resultados obtidos. Tal resultado indica comportamento não-linear dos impactos no outono. A influência é confirmada por via da composição de anomalias (Figura 37 no outono e Figura 44 no inverno) e correlação (Figura 38 no outono e Figura 45 no inverno) nas duas estações. Além disso, apenas no inverno, a PT e a PM demonstraram diferença entre fases opostas do modo na área selecionada no Sul do Brasil com, pelo menos, 70 % de confiança em, pelo menos, metade das quadrículas.

A OMA na fase positiva registrou redução dos índices, mas com características diferentes no outono e no inverno. Na fase negativa as anomalias são menos presentes, também indicando comportamento não-linear. No outono, sua influência ocorre sobre quase todo o continente (exceto no noroeste, de acordo com a Figura 51 e a Figura 52), enquanto que no inverno, além da influência em todo o continente, há predominância sobre a Região Sul do Brasil (Figura 55 e Figura 56).

No inverno, para essa oscilação, foi possível fazer a escolha de uma região com diferenças significativas entre os índices nas fases opostas e analisar com os testes. Para esta estação, não há diferença significativa entre as distribuições de precipitação diária em OMA (+) e OMA (-), porém para mais da metade das quadrículas analisadas, há diferença entre a distribuição de PT e PM em fases opostas, com confiança de 70 % dos testes aplicados.

De forma geral, os modos indicaram anomalias sobre a PT, sendo acompanhados por anomalias de PM e de ND. As anomalias de PM e ND nem sempre tem mesma distribuição, podendo contribuir em proporções diferentes para as anomalias de PT. Há casos em que estas contribuições são de sinais opostos, não produzindo anomalias de PT.

O ENOS indicou anomalias em vários índices em ambas as estações, de forma mais coerente entre os modos. Entretanto, a maioria das quadrículas registaram impactos sobre a PT acompanhados principalmente por impactos de ND (Outono: Sul e Nordeste. Inverno: Nordeste).

Há, portanto, em certas análises, similaridade entre os resultados de PT e PM e, em outros casos, entre PT e ND. Indicando que a PT recebe diferentes contribuições de PM e ND, de acordo com o modo ou a região de impacto. Apenas ENOS indicou, nas regiões analisadas, impactos bem significativos sobre a precipitação diária. Exceto para ENOS no inverno na Região Sul, há diferença entre a distribuição de precipitação diária entre EN/LN com confiança de 95% do teste de KS.

Embora as oscilações interdecadais apresentem impactos menos intensos que ENOS, eles podem ser importantes para estabelecer um cenário de fundo no qual ENOS atua, aumento ou diminuindo o seu efeito. Além disso, tais demonstrações de impactos para OMA e OIP para a América do Sul nunca foram realizadas anteriormente desta forma, sendo marcante pelo simples efeito de estarem em foco no presente estudo.

No que diz respeito aos testes, há diferenças entre os resultados dos testes de MWU e KS. De modo geral, o teste MWU indicou diferentes significas para mais quadrículas do que o KS, característica também revelada no estudo de Pui et al. (2012).

Com relação às distribuições estatísticas, as diferenças entre fases opostas dos modos muitas vezes puderam ser notadas visualmente a partir dos

gráficos das FDPs ou do logaritmo da frequência de certa fase em relação à fase neutra. Tais gráficos permitem visualizar diferenças mesmo que os testes não indiquem as séries das diferentes fases como diferentes entre si. Entretanto, a significância desta diferença só pode ser confirmada a partir dos testes.

De forma geral, os ajustes teóricos se adaptaram às características de precipitação diária a partir de 5 mm de precipitação, de acordo com o limiar de aderência de KS. A distribuição Gama, comumente a mais utilizada para ajuste de dados de precipitação diária, tem melhor desempenho, mas pode ser substituída pela distribuição exponencial em alguns casos em que o ajuste da segunda ocorre para classes de precipitação menores.

Os resultados deste estudo são pioneiros em comprovar os impactos significativos de OIP, OMA e ENOS sobre os índices de chuva diária no outono e no inverno. Tais estações do ano são menos estudadas e podem ser secas ou úmidas em condições normais em certas regiões mas, conforme os resultados, também são influenciadas pelas oscilações climáticas. Deve-se enfatizar que este estudo apresenta informações temporais e espaciais que podem ser importantes para várias abordagens no âmbito da Engenharia Ambiental. O impacto de cada modo indica variação na precipitação e, conseqüentemente, na disponibilidade hídrica em certas regiões por certo período de tempo. Dentre as abordagens, pode-se citar a construção de reservatórios com barragens e até a prevenção de desastres econômicos e naturais relacionados a secas e enchentes. Em suma, ao se desconsiderar a interferência das oscilações climáticas para questões de recursos hídricos e cálculos de máximas cheias prováveis, valores de precipitação e tempos de retorno podem ser erroneamente estimados, gerando prejuízos humanos e/ou econômicos.

Como futuras análises a serem realizadas, se esperam:

- Confirmação dos resultados dos modos interdecadais a partir dos testes de KS e MWU, a partir da seleção de novas áreas para análise (um novo conjunto de quadrículas);
- Confirmação dos resultados de todos os modos com os testes de KS e MWU, a partir da seleção de quadrículas em regiões de impacto específico de cada índice;

- Confirmação das análises realizadas, a partir de análises específicas envolvendo os meses que compõe cada estação ou para bimestres;
- Caracterização e demonstração espacial das diferenças entre fases opostas, para diferentes níveis de confiança.

REFERÊNCIAS

- BARLOW, M.; NIGAM, S.; BERBERY, E. H. ENSO, Pacific decadal variability, and U.S. summertime precipitation, drought, and streamflow. **Journal of Climate**, v. 14, p. 2105–2128, 2001.
- CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J.; SILVA DIAS, M.A.F. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 462, 2009.
- CAYAN, D.; DETTINGER, M.D.; DIAZ, H.F.; GRAHAM, N.E. Decadal variability of precipitation over western North America. **Journal of Climate**, v. 11, p. 3148–3166, 1998.
- CHIESSI, C. M.; MULITZA, S.; PÄTZOLD, J.; WEFER, G.; MARENGO, J.A. Possible impact of the Atlantic Multidecadal Oscillation on the South American summer monsoon. **Geophys. Res. Lett.**, v. 36, p. L21707, doi:10.1029/2009GL039914, 2009.
- CONOVER, W. J. **Practical Nonparametric Statistics**. New York: John Wiley & Sons. p. 295–301 (one-sample Kolmogorov test), 309–314 (two-sample Smirnov test), 1971.
- CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. Edição Especial Comemorativa de 10 Anos. Volume 29 - Nº12 – Dez, 2014. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html>>. Acesso em: 6 nov. 2017.
- ENFIELD, D. B.; MESTAS-NUNEZ, A. M.; STOUFFER, R. The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental. **JU.S. Geophys. Res. Lett.**, v. 28, p. 2077–2080, 2001.
- GRIMM, A. M. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? **Climate Dynamics**, v. 22, n.2-3, 123-138, 2004.
- GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**. v. 25, n. 4, p.537–554, 2011.
- GRIMM, A. M., A. K. SAHAI e C. F. ROPELEWSKI. Interdecadal Variations in AGCM Simulation Skills. **Journal of Climate**, v. 19, p. 3406–3419, 2006.
- GRIMM, A. M.; BARROS, V. R. e DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **J. Climate**, v.13, p.35-58, 2000.
- GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T. e GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **J. Climate**, v.11, p.2863-2880, 1998.
- GRIMM, A. M.; LAUREANTI, N. C.; RODAKOVISKI, R. B.; GAMA, C. B. Interdecadal variability and extreme precipitation events in South America during the monsoon season. **Climate Research**, v. 68, p.277-294, 2016.
- GRIMM, A. M.; SABOIA, J. P. J. Interdecadal variability of the South American precipitation in the monsoon season. **Journal of Climate**, v. 28, n. 2, p. 755-775, 2015.
- GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and extreme rainfall events in South America. **Journal of Climate**, v. 22, p. 1589–1609, 2009.
- GRIMM, A. M.; The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, v. 16, p.263–280, 2003.
- HOLLANDER, M, WOLFE D. A. **Nonparametric Statistical Methods**. New York: John Wiley & Sons. 2a Ed., p. 27–33 (one-sample MWU test), p. 68–75 (two-sample MWU test), 1999.

JISAO. **The Pacific Decadal Oscillation (PDO)**. Disponível em: <<http://jisao.washington.edu/pdo/> no dia 19/04/2017>. JISAO, 2017. Acesso em: 15 jun. 2017.

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.; ANDREOLI R.V. Decadal variability of northern northeast Brazil rainfall and its relation to tropical sea surface temperature and global sea level pressure anomalies. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, n. C11, 2004.

LI, Z.; BRISSETTE, F.; CHEN J. Finding the most appropriate precipitation probability distribution for stochastic weather generation and hydrological modelling in Nordic watersheds. **Hydrological Processes**, 2012.

LIEBMANN, B.; ALLURED, D. Daily precipitation grids for South America. bulletin of the American Meteorological Society. **Journal of Climate**, v. 86, p. 1567–1570, 2005.

MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Observations of the 40-50-day tropical oscillation – A review. **Mon. Wea. Rev.**, v. 122, p. 814–837, 1994.

MSPC. **Tabela para a distribuição t-student**. Jan. 2008. Disponível em: <http://www.mspc.eng.br/matm/prob_est355.shtml>. Acesso em: 24 maio 2017.

NOAA. **Graphical depiction of the four Niño regions**. Disponível em: <HTTP://WWW.CPC.NCEP.NOAA.GOV/PRODUCTS/ANALYSIS_MONITORING/ENSO_STUFF/NINO_REGIONS.SHTML>. Acesso em 15 jun. 2017.

PEARSON, K. On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space (PDF). **Philosophical Magazine**, v. 2, n. 6, p. 559–572, 1901.

PUI, A., SANTOSO A., WESTRA, S. Impact of the El Niño–Southern Oscillation, Indian Ocean Dipole, and Southern Annular Mode on Daily to Subdaily Rainfall Characteristics in East Australia. **Journal of Climate**. v. 140, p. 1665-1682, 2012.

RAYNER, N. A. et al. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 108, 2005.

SANTOS, N.A. dos; SIQUEIRA, A. H. B.; MELO, M. L. D. de. **PRECIPITAÇÃO SOBRE A AMÉRICA DO SUL E SUAS RELAÇÕES COM A OSCILAÇÃO MULTIDECADAL DO ATLÂNTICO E A OSCILAÇÃO DO ATLÂNTICO NORTE**. Revista Brasileira de Climatologia, ano 12, v. 18, p. 207-218, Ed. Jan-Jun. 2016.

STRECK, N.A.; BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B.; GABRIEL, L.F.; PAULA, G.M. de.. Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a Oscilação Decadal do Pacífico. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.44, n.12, p.1553-1561, dez. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n12/v44n12a01.pdf>> . Acesso em: 27 nov. 2017.

TEDESCHI, R. G.; GRIMM, A. M.; CAVALCANTI, I. F. A. Influence of Central and East ENSO on extreme events of precipitation in South America during austral spring and summer. **International Journal of Climatology**, v. 35, n. 8, p. 2045–2064, 2015.

TEDESCHI, R. G.; GRIMM, A. M.; CAVALCANTI, I. F. A. Influence of Central and East ENSO on precipitation and its extreme events in South America during austral autumn and winter. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 15, p. 4797–4814, 2016.

TISDALE, B. **Bob Tisdale – Climate Observations: An Introduction To ENSO, AMO, and PDO — Part 2**. Disponível em: <<https://bobtisdale.wordpress.com/2010/08/16/an-introduction-to-enso-amo-and-pdo-part-2/>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

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

WIKIPÉDIA, the free encyclopedia. **Atlantic multidecadal oscillation**. <https://en.wikipedia.org/wiki/Atlantic_multidecadal_oscillation>. Acesso em: 15 jun. 2017.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. Elsevier INC, 2a Ed., p. 148 (Kolmogorov test), p. 156 (MWU test), p. 463 (PCA/ACP), 2006

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. New Jersey: Prentice-Hall INC, 1974. 262-264p. e 121-122p.

ZHANG, R.; DELWORTH, T. L. Impact of Atlantic multidecadal oscillations on India/Sahel rainfall and Atlantic hurricanes. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. L 17712, p. 1-5, 2006.

ANEXO A – TABELA PARA O CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO T DE STUDENT.

Tabela de valores para o cálculo da distribuição T de Student.

	75%	80%	85%	90%	95%	97,5%	99%	99,5%	99,75%	99,9%	99,95%
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	127,3	318,3	636,6
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33	31,60
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,21	12,92
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,893	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	3,690	4,297	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,930	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,610	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,850
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,078	3,450	3,725
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,030	3,385	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551
50	0,679	0,849	1,047	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	2,937	3,261	3,496
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	2,915	3,232	3,460
80	0,678	0,846	1,043	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	2,887	3,195	3,416
100	0,677	0,845	1,042	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	2,871	3,174	3,390
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	2,860	3,160	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	2,807	3,090	3,291

Nota: A primeira e segunda linhas se referem a probabilidade de valores acima de t (área A do gráfico Figura 12) e a primeira coluna são os respectivos graus de liberdade. A linha $v = \infty$ indica o limite da distribuição T-Student, onde ela se iguala à distribuição normal padrão unicaudal.