

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RENATA GONÇALVES TEDESCHI

**IMPACTO DE EPISÓDIOS EL NIÑO E LA NIÑA SOBRE A FREQUÊNCIA DE
EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO
NA AMÉRICA DO SUL**

CURITIBA

2008

RENATA GONÇALVES TEDESCHI

**IMPACTO DE EPISÓDIOS EL NIÑO E LA NIÑA SOBRE A FREQUÊNCIA DE
EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO
NA AMÉRICA DO SUL**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para à obtenção do grau de mestre em
Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental,
Setor de Tecnologia, da Universidade Federal
do Paraná.

Orientadora: Profª Drª Alice M. Grimm

CURITIBA

2008

Tedeschi, Renata Gonçalves

Impacto de episódios el niño e la niña sobre a frequência de eventos extremos de precipitação e vazão na América do Sul / Renata Gonçalves Tedeschi. - Curitiba, 2008.

159 f.: il., tabs, grafs.

Orientador: Profa. Dra. Alice Marlene Grimm
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos.

Inclui Bibliografia.

1. Precipitação (Meteorologia). 2. Vazão (Variabilidade). 3. El Niño. 4. La Niña I. Grimm, Alice Marlene. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD 551.5

Para
Eloy Euzébio Tedeschi, meu querido avô
Renato e Denise Tedeschi, meus pais

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre me dar força para lutar e correr atrás dos meus sonhos.

À minha orientadora Alice Marlene Grimm, por todo conhecimento transmitido nesses 6 anos, mas também pela amizade, pela paciência, pelas brigas e por ter me ensinado o quanto a meteorologia é bonita.

Aos professores Cristóvão e Maria Cristina pelas conversas e pela força.

Ao professor Eloy pela paciência em corrigir o texto da qualificação e assim me ensinar um pouco mais.

A todos da secretaria da PPGERHA, por sempre ajudarem no que era necessário.

Ao Alexandre R. Wendling pela paciência ao me ensinar programação e sempre estar disposto a ajudar.

À Márcia Zilli pelas risadas, pelas conversas sérias, pelos estudos, pelas viagens, enfim por sua amizade.

A todos as pessoas que trabalharam no laboratório de Meteorologia da UFPR nesses 6 anos, que me ensinaram muito, me deram força e inspiração para realizar esse trabalho.

Ao meu pai por ser minha fonte de inspiração e o meu porto seguro.

A minha mãe por ser minha amiga, minha companheira e meu ombro amigo, além de sempre me dar forças pra não desistir e tentar me mostrar o melhor caminho.

Aos meus irmãos Felipe e Leonardo, pelo companheirismo, pela amizade, pelas risadas, entre outras coisas.

Aos meus avós: Eloy, Catarina, Augusto e Dionéia, pois sempre tem bons conselhos para dar e ombros quando eles se fazem necessário.

Ao meu padrinho, Luiz, por saber a hora de ser meu amigo e a hora de ser meu tio.

Às minhas madrinhas, Solange e Rita, por sempre estarem ao meu lado e por me darem a certeza que gostam muito de mim.

Aos meus primos Luiz, Matheus e Lucas, pois não são somente primos, mas sim amigos.

Aos meus amigos Alessandro, Virgínia, Thais, Murilo, Leandro, Sandro, Flavia, afinal 12 anos de amizade é muita coisa e vocês são muito importantes pra mim.

A minha comadre Vivian, pela amizade verdadeira e pela oportunidade de cuidar/mimar o seu filho Nicolas, pois espero poder ensinar algumas coisas para ele.

A família Mossanek por tudo que me ensinaram nos 3 anos em que convivemos.

A todos os amigos de São Paulo por me ajudaram nos 3 meses em que morei lá, mas principalmente à Alrenice (Lena), por me oferecer sua casa, sua amizade e seu carinho .

A Graziella Valença, por sua imensa amizade, por ficar horas me ajudando na formatação do trabalho e o dia inteiro da defesa ao meu lado, me apoiando e me mostrando do que eu era capaz.

A todos os meus amigos de Curitiba, os quais não citarei nomes porque são muitos, que sempre estiveram ao meu lado e que tiveram um papel muito importante na conclusão dessa dissertação.

A CAPES pela ajuda financeira, pois assim pude me dedicar exclusivamente a pesquisa.

RESUMO

Este estudo examina como episódios El Niño (EN) e La Niña (LN) modificam a frequência e a intensidade de eventos extremos de precipitação na América do Sul em relação a anos normais e porque ocorrem estas modificações. Eventos extremos são aqueles em que o percentil correspondente à precipitação média de três dias é maior que 90. A diferença entre a média de eventos extremos para anos EN e normais e para LN e normais mostram que os episódios EN e LN influenciam significativamente a frequência de eventos extremos em várias regiões da América do Sul em certos períodos. As relações entre perturbações de grande escala e as variações na frequência de eventos extremos de precipitação são estudadas para sete regiões, onde diferenças significativas foram encontradas. As características gerais das anomalias atmosféricas durante eventos extremos são semelhantes, quer eles ocorram durante episódios EN, LN ou em anos normais. Elas são comparadas com as anomalias médias mensais de campos atmosféricos durante esses episódios. A frequência de eventos extremos aumenta (diminui) quando as perturbações de grande escala associadas com EN e LN favorecem (desfavorecem) as anomalias de circulação associadas com esses eventos. A correlação da temperatura da superfície do mar (TSM) com a chuva mensal e com a frequência de eventos extremos nas áreas focalizadas mostram que variações da chuva mensal e dos eventos extremos nestas áreas estão associadas, principalmente, com episódios ENOS. As distribuições de frequência das chuvas diárias e dos eventos extremos para as diferentes categorias de anos são comparadas, para verificar mudanças dessas distribuições durante EN e LN em relação a anos normais. Verifica-se que o impacto desses episódios é relativamente mais forte nos extremos superiores das distribuições, o que é relevante, pois as conseqüências mais dramáticas da variabilidade climática são causadas por sua influência sobre eventos extremos. A análise da influência de episódios EN e LN sobre a frequência de eventos extremos de vazão no Brasil mostra um quadro coerente com a influência sobre eventos extremos de chuva e com o tempo de resposta das bacias.

Palavras chaves: eventos extremos de precipitação e de vazão, El Niño e La Niña

ABSTRACT

This study examines how El Niño (EN) e La Niña (LN) episodes modify the frequency and the intensity of extreme precipitation events in South America, and the reason for this modification. Extreme events are those with a three-day average percentile above 90. The difference between the mean frequencies of extreme events for EN and normal years, and for LN and normal years show that EN and LN episodes influence significantly the frequency of extreme events in several regions in South America during certain periods. The relationships between large-scale atmospheric perturbations and variations in the frequency of extreme events are analyzed for seven regions, where significant differences are found. The general features of the anomalous atmospheric fields during extreme events are similar, no matter if they occur during EN or LN episodes or in normal years. They are compared with composites of monthly atmospheric anomalous fields during those episodes. The frequency of extreme events increases (decreases) when large-scale perturbations associated with EN and LN favor (hamper) the circulation anomalies associated with these events. The correlation analysis of sea surface temperature with monthly total precipitation and with the frequency of extreme events in the focused areas shows that the variations in monthly rainfall and extreme events are associated with ENSO. The frequency distributions of daily rainfall and extreme events for the different categories of years are compared, in order to verify changes in these distributions during EN and LN with respect to neutral years. ENSO influence seems to be stronger on the categories of more intense daily precipitation. This is an important aspect, since the most dramatic consequences of climate variability are brought about by its influence on extreme events. The analysis of the EN and LN influence on the frequency of extreme streamflow events in Brazil shows a picture that is coherent with the influence on extreme rainfall events and with the delay time between rainfall and streamflow.

Key words: extremes events of precipitation and streamflow, El Niño and La Niña.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – ÁREAS DE ATUAÇÃO DO EL NIÑO SOBRE O PACÍFICO TROPICAL.....	23
FIGURA 1.2 – ESQUEMA DA CIRCULAÇÃO DURANTE ANOS NORMAIS (a), ANOS LA NIÑA (b) E ANOS EL NIÑO (c).....	24
FIGURA 3.1 – MAPAS PARA EL NIÑO. COLUNA DA ESQUERDA: VALOR DA PRECIPITAÇÃO REFERENTE AO PERCENTIL 90 EM CADA MÊS. COLUNA DO MEIO: DIFERENÇA NA FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS ENTRE ANOS EN E ANOS NORMAIS. COLUNA DA DIREITA: DIFERENÇA NA INTENSIDADE DE EVENTOS EXTREMOS ENTRE ANOS EN E ANOS NORMAIS.....	48
FIGURA 3.2 - MAPAS PARA LA NIÑA. COLUNA DA ESQUERDA: VALOR DA PRECIPITAÇÃO REFERENTE AO PERCENTIL 90 EM CADA MÊS. COLUNA DO MEIO: DIFERENÇA NA FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS ENTRE ANOS LN E ANOS NORMAIS. COLUNA DA DIREITA: DIFERENÇA NA INTENSIDADE DE EVENTOS EXTREMOS ENTRE ANOS LN E ANOS NORMAIS.	52
FIGURA 3.3 – DIFERENÇA NA FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS ENTRE ANOS EN E ANOS NORMAIS, CALCULADA COM DADOS DE ESTAÇÃO.....	54
FIGURA 3.4 – DIFERENÇA NA FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS ENTRE ANOS LN E ANOS NORMAIS, CALCULADA COM DADOS DE ESTAÇÃO.....	55
FIGURA 4.1 – QUADRÍCULAS DE ANÁLISE DAS CHUVAS PARA ANOS EN, LN E NORMAIS EM (a) JANEIRO E NOVEMBRO, (b) E (c) NOVEMBRO, (d) E (e) ABRIL.....	56
FIGURA 4.2 – QUADRÍCULA NO CENTRO-LESTE, JAN(+): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS.	60
FIGURA 4.3 – ESTAÇÃO NO CENTRO-LESTE, JAN(+): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS.....	63
FIGURA 4.4 – QUADRÍCULA NO CENTRO-LESTE, NOV(0): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS	

DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS. 65

FIGURA 4.5 – QUADRÍCULA NO LESTE DO SUL, NOV(0): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS. 68

FIGURA 4.6 – QUADRÍCULA NO OESTE DO SUL, NOV(0): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS. 70

FIGURA 4.7 – ESTAÇÃO NO OESTE DO SUL, NOV(0): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS. 72

FIGURA 4.8 – QUADRÍCULA NO NORDESTE, ABR(+): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS. 74

FIGURA 4.9 – QUADRÍCULA NO NORTE, ABR(+): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS.....	76
FIGURA 4.10 – ESTAÇÃO NO NORTE, ABR(+): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS.....	78
FIGURA 4.11 – LOGARITMO DA RAZÃO ENTRE AS FREQUÊNCIAS PARA ANOS EN E NORMAIS (BARRAS PRETAS) E ANOS LN E NORMAIS (BARRAS BRANCAS) PARA (a) A QUADRÍCULA a NO CENTRO-LESTE DO BRASIL EM JANEIRO, (b) A QUADRÍCULA a NO CENTRO-LESTE DO BRASIL EM NOVEMBRO, (c) A QUADRÍCULA b NO LESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO, (d) A QUADRÍCULA c NO OESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO, (e) A QUADRÍCULA d NO NORDESTE DO BRASIL EM NOVEMBRO E (f) A QUADRÍCULA e NO NORTE DO BRASIL EM NOVEMBRO.	80
FIGURA 5.1 - REGIÃO DE ESTUDO DOS EVENTOS EXTREMOS EM (a) JANEIRO E NOVEMBRO; (b) e (c) NOVEMBRO; (d), (e) E (f) ABRIL	81
FIGURA 5.2 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM NOVEMBRO: (a) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E CHUVA MÉDIA DE NOVEMBRO NA REGIÃO; (b) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E A SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO.	84
FIGURA 5.3 – NOVEMBRO (0) DE ANOS EL NIÑO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS MENSAIS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR.	88
FIGURA 5.4 – NOVEMBRO (0) DE ANOS LA NIÑA: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS MENSAIS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO,	

	(INFEIROR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR.	89
FIGURA 5.5 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIROR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS EL NIÑO.....		90
FIGURA 5.6 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIROR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS LA NIÑA.		91
FIGURA 5.7 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIROR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS NORMAIS.		92
FIGURA 5.8 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM JANEIRO: (a) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E CHUVA MÉDIA DE NOVEMBRO NA REGIÃO; (b) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E A SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO.		94
FIGURA 5.9 – JANEIRO (0) DE ANOS EL NIÑO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS MENSAIS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIROR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR.		97
FIGURA 5.10 – JANEIRO (0) DE ANOS LA NIÑA: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS MENSAIS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIROR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E		

	(INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR.	98
FIGURA 5.11 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM JANEIRO:	COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREITA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIROS ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS EL NIÑO.	99
FIGURA 5.12 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM JANEIRO:	COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREITA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIROS ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS LA NIÑA.	100
FIGURA 5.13 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM JANEIRO:	COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREITA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIROS ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS NORMAIS.	101
FIGURA 5.14 – REGIÃO b, LESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO:	(a) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E CHUVA MÉDIA DE NOVEMBRO NA REGIÃO; (b) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E A SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO.	103
FIGURA 5.15 – REGIÃO b, LESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO:	COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREITA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIROS ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS EL NIÑO.	106
FIGURA 5.16 – REGIÃO b, LESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO:	COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREITA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIROS ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE	

INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS LA NIÑA.	107
FIGURA 5.17 – REGIÃO b, LESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS NORMAIS.	108
FIGURA 5.18 – REGIÃO c, OESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: (a) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E CHUVA MÉDIA DE NOVEMBRO NA REGIÃO; (b) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E A SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO.	110
FIGURA 5.19 – REGIÃO c, OESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS EL NIÑO.	112
FIGURA 5.20 – REGIÃO c, OESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS LA NIÑA.	113
FIGURA 5.21 – REGIÃO c, OESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS NORMAIS.	114
FIGURA 5.22 – REGIÃO d, NORDESTE DO BRASIL EM ABRIL: (a) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E CHUVA MÉDIA DE NOVEMBRO NA REGIÃO; (b) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E A SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO.	116

FIGURA 5.23 – ABRIL (+) DE ANOS EL NIÑO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS MENSAIS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR.	118
FIGURA 5.24 – ABRIL (+) DE ANOS LA NIÑA: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS MENSAIS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR.	119
FIGURA 5.25 – REGIÃO d, NORDESTE DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS EL NIÑO.	120
FIGURA 5.26 – REGIÃO d, NORDESTE DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS LA NIÑA.	121
FIGURA 5.27 – REGIÃO d, NORDESTE DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS NORMAIS.	122
FIGURA 5.28 – REGIÃO e, SUL DO BRASIL EM ABRIL: (a) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E CHUVA MÉDIA DE NOVEMBRO NA REGIÃO; (b) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E A SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO.	124
FIGURA 5.29 – REGIÃO e, SUL DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR	

<p>CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS EL NIÑO.....</p>	126
<p>FIGURA 5.30 – REGIÃO e, SUL DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS LA NIÑA.....</p>	127
<p>FIGURA 5.31 – REGIÃO e, SUL DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS NORMAIS.....</p>	128
<p>FIGURA 5.32 – REGIÃO f, NORTE DO BRASIL EM ABRIL: (a) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E CHUVA MÉDIA DE NOVEMBRO NA REGIÃO; (b) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E A SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO.....</p>	130
<p>FIGURA 5.33 – REGIÃO f, NORTE DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS EL NIÑO.....</p>	132
<p>FIGURA 5.34 – REGIÃO f, NORTE DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS LA NIÑA.....</p>	133
<p>FIGURA 5.35 – REGIÃO f, NORTE DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR</p>	

CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFERIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS NORMAIS.	134
FIGURA 6.1 – (a) BACIAS HIDROGRÁFICAS DO BRASIL; (b) LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE VAZÃO.	136
FIGURA 6.2 – DIFERENÇA NA FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS DE VAZÃO ENTRE ANOS EN E ANOS NORMAIS.	142
FIGURA 6.3 – DIFERENÇA NA FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS DE VAZÃO ENTRE ANOS LN E ANOS NORMAIS.	143
FIGURA 6.4 – ÁREA DA BACIA DO (a) ALTO PARANÁ E (b) IGUAÇU.	144
FIGURA 7.1 – RIO TOCANTINS (LAJEADO), FEV (+): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA VAZÃO DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DA DIFERENÇA DAS FREQUÊNCIAS DA VAZÃO DIÁRIA; (c) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE VAZÃO; (d) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE VAZÃO.	148
FIGURA 7.2 – RIO IGUAÇU (SEGREDO), MAI (+): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA VAZÃO DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DA DIFERENÇA DAS FREQUÊNCIAS DA VAZÃO DIÁRIA; (c) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE VAZÃO; (d) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE VAZÃO.	150

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 – DEFINIÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS	28
TABELA 2.1 – ANOS EL NIÑO E LA NIÑA INCLUÍDOS NA ANÁLISE	31
TABELA 4.1 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A QUADRÍCULA DO CENTRO-LESTE DO BRASIL, EM JANEIRO.	59
TABELA 4.2 –TESTE K-S PARA A QUADRÍCULA DO CENTRO-LESTE JANEIRO (+), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10	59
TABELA 4.3 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A ESTAÇÃO DO CENTRO-LESTE DO BRASIL, EM JANEIRO.	62
TABELA 4.4 – TESTE KS PARA A ESTAÇÃO DO CENTRO-LESTE, JANEIRO (+), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10.	62
TABELA 4.5 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A QUADRÍCULA DO CENTRO-LESTE DO BRASIL, EM NOVEMBRO.	64
TABELA 4.6 – TESTE KS PARA A QUADRÍCULA DO CENTRO-LESTE, NOVEMBRO (0), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10.	64
TABELA 4.7 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A QUADRÍCULA DO LESTE DO SUL DO BRASIL, EM NOVEMBRO.	67
TABELA 4.8 – TESTE K-S PARA A QUADRÍCULA DO LESTE DO SUL, NOVEMBRO (0), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10.	67
TABELA 4.9 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A QUADRÍCULA DO OESTE DO SUL DO BRASIL, EM NOVEMBRO.	69
TABELA 4.10 – TESTE K-S PARA A QUADRÍCULA DO OESTE DO SUL, NOVEMBRO (0), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10.	69
TABELA 4.11 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A ESTAÇÃO DO OESTE DO SUL DO BRASIL, EM NOVEMBRO.	71
TABELA 4.12 – TESTE K-S PARA A ESTAÇÃO DO OESTE DO SUL, NOVEMBRO (0), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10.	71
TABELA 4.13 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A QUADRÍCULA DO NORDESTE DO BRASIL, EM ABRIL.	73
TABELA 4.14 –TESTE K-S PARA A QUADRÍCULA DO NORDESTE, ABRIL (+), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10.	73
TABELA 4.15 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A QUADRÍCULA DO NORTE DO BRASIL, EM ABRIL.	75
TABELA 4.16 –TESTE K-S PARA A QUADRÍCULA DO NORTE, ABRIL (+), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10	75
TABELA 4.17 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A ESTAÇÃO DO NORTE DO BRASIL, EM ABRIL.	77

TABELA 4.18 – TESTE K-S PARA A ESTAÇÃO DO NORTE, ABRIL (+), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10	77
TABELA 5.1 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM NOVEMBRO: NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS.....	86
TABELA 5.2 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM JANEIRO: NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS.....	95
TABELA 5.3 – REGIÃO b, LESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS.....	102
TABELA 5.4 – REGIÃO c, OESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS.....	109
TABELA 5.5 – REGIÃO d, NORDESTE DO BRASIL EM ABRIL: NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS.....	115
TABELA 5.6 – REGIÃO e, SUL DO BRASIL EM ABRIL: NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS.	123
TABELA 5.7 – REGIÃO f, NORTE DO BRASIL EM ABRIL: NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS.....	129
TABELA 5.8 – NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS PARA TODAS AS REGIÕES.....	135
TABELA 6.1 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS DE CHUVAS NAS BACIAS E ESTAÇÕES DO ANO INDICADAS E NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS DE VAZÃO NA LOCALIDADE INDICADA, PARA DIFERENTES DEFASAGENS EM PÊNTADAS.	146
TABELA 7.1 – VALORES DO TESTE DE SIGNIFICÂNCIA K-S PARA FEVEREIRO (+), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10	148
TABELA 7.2 – VALORES DO TESTE DE SIGNIFICÂNCIA K-S PARA MAIO (+), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10	149

LISTA DE ABREVIACES

ANA – Agência Nacional de guas
CCM – Complexos Convectivos de Meso-escala
EN – El Niño
ENOS – El Niño-Oscilao Sul
IOS – ndice de Oscilao Sul
IRI - International Research Institute for Climate and Society
K-S – Kolmogorov-Smirnov
LN – La Nia
MAM – Março-Abril-Maio
NCAR – National Center for Atmospheric Research
NCEP – National Centers for Environmental Prediction
NN – Normais
NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration
OND – Outubro-Novembro-Dezembro
ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico
OS – Oscilao Sul
PNM – Pressão ao Nível do Mar
SON – Setembro-Outubro-Novembro
UFPR – Universidade Federal do Paraná
TSM – Temperatura da Superfície do Mar
ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical do Atlântico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	22
1.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
1.2. JUSTIFICATIVA.....	28
1.3. OBJETIVOS.....	29
1.4. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	30
2. MÉTODOS E DADOS	31
2.1. FREQUÊNCIA E INTENSIDADE DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO.....	31
2.2. HISTOGRAMAS DE PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS E DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO.....	35
2.3. RELAÇÕES COM CAMPOS ATMOSFÉRICOS E OCEÂNICOS.....	36
2.4. FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS DE VAZÃO.....	38
2.5. HISTOGRAMAS DE VAZÕES DIÁRIAS E DE EVENTOS EXTREMOS DE VAZÃO.....	39
2.6. PROGRAMAS UTILIZADOS.....	39
3. VARIAÇÕES NA FREQUÊNCIA E INTENSIDADE DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO	40
3.1. ALGUMAS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	40
3.2. FREQUÊNCIA E INTENSIDADE DE EVENTOS EXTREMOS.....	41
3.2.1. Agosto (0), setembro (0) e outubro (0).....	42
3.2.2. Novembro (0), dezembro (0) e janeiro (+).....	42
3.2.3. Fevereiro (+), março (+), abril (+) e maio (+).....	43
3.2.4. Junho (+) e julho (+).....	44
3.3. INFLUÊNCIA DO USO DE DADOS DE ESTAÇÃO OU DE DADOS EM GRADE.....	53
4. VARIAÇÕES NAS DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIAS DE PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS E DE EVENTOS EXTREMOS	56
4.1. JANEIRO – CENTRO-LESTE DO BRASIL.....	58
4.1.1. Estudo para quadrícula.....	58
4.1.2. Estudo para estação.....	61
4.2. NOVEMBRO – CENTRO-LESTE DO BRASIL.....	64
4.3. NOVEMBRO – LESTE DO SUL DO BRASIL.....	66
4.4. NOVEMBRO – OESTE DO SUL DO BRASIL.....	69

4.4.1. Estudo para quadrícula	69
4.4.2. Estudo para estação.....	71
4.5. ABRIL – NORDESTE DO BRASIL	73
4.6. ABRIL – NORTE DO BRASIL	75
4.6.1. Estudo para quadrícula	75
4.6.2. Estudo para estação.....	77
4.7. A SENSIBILIDADE DOS EXTREMOS DAS DISTRIBUIÇÕES.....	79
5. CAMPOS ATMOSFÉRICOS ASSOCIADOS COM EVENTOS EXTREMOS.....	81
5.1. REGIÕES DE ESTUDO.....	81
5.2. JANEIRO E NOVEMBRO NA REGIÃO CENTRO-LESTE DO BRASIL	82
5.2.1. Novembro na região Centro-Leste	82
5.2.2. Janeiro na região Centro-Leste	93
5.3. NOVEMBRO NA REGIÃO LESTE DO SUL DO BRASIL.....	102
5.4. NOVEMBRO NA REGIÃO OESTE DO SUL DO BRASIL.....	109
5.5. ABRIL NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL.....	115
5.6. ABRIL NA REGIÃO SUL DO BRASIL.....	123
5.7. ABRIL NA REGIÃO NORTE DO BRASIL.....	129
6. EVENTOS EXTREMOS DE VAZÃO	136
6.1. AGOSTO (0) E SETEMBRO (0)	137
6.2. OUTUBRO (0) E NOVEMBRO (0)	137
6.3. DEZEMBRO (0) E JANEIRO (+).....	138
6.4. FEVEREIRO (+), MARÇO (+), ABRIL (+) E MAIO (+).....	139
6.5. JUNHO (+) E JULHO (+).....	140
6.6. RELAÇÃO ENTRE FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA E VAZÃO.....	144
7. VARIAÇÕES NAS DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIAS DE VAZÕES DIÁRIAS E DE EVENTOS EXTREMOS.....	147
7.1. FEVEREIRO (+) – CENTRO-LESTE DO BRASIL	147
7.2. MAIO (+) – SUL DO BRASIL	149
8. CONCLUSÕES.....	151
9. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	155
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	156

1. INTRODUÇÃO

Os pescadores do Peru e Equador chamavam as correntes de água quente na costa norte do Peru, que ocorriam na época de Natal, de El Niño, como uma referência ao menino Jesus. Este nome passou a ser usado para designar episódios extremos de aumento da temperatura da superfície do mar (TSM) na região leste do Pacífico tropical. El Niño (EN) e a La Niña (LN) são alterações do sistema oceano-atmosfera no Oceano Pacífico Tropical, as quais tem conseqüência no tempo e no clima em todo o planeta. Quando ocorre El Niño, há um aquecimento anormal das águas superficiais e sub-superficiais do Pacífico Equatorial central-leste, mas também há mudanças na atmosfera próxima da superfície do oceano como, por exemplo, o enfraquecimento dos ventos alísios. Na ocorrência de La Niña observa-se a diminuição da temperatura no Oceano Pacífico equatorial central-leste e, conseqüentemente, aumento dos ventos alísios.

Durante El Niño, com o aquecimento do oceano, observam-se mudanças na circulação da atmosfera nos níveis baixos e altos, causando mudanças nos padrões de transporte de umidade e conseqüentemente na distribuição da chuva. Também são observadas mudanças de temperatura em algumas regiões.

Sabe-se que os episódios EN e LN afetam a quantidade de chuva em várias regiões do planeta, causando impacto sobre a agricultura e sobre o gerenciamento de recursos hídricos. Também é importante saber como esses episódios modificam a freqüência de eventos extremos de chuva, pois esses eventos possuem um grande poder de destruição. Os eventos extremos afetam a população urbana através de enchentes e deslizamentos de terra; já nas áreas agrícolas causam danos às culturas.

1.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para entender os motivos pelos quais episódios EN e LN afetam o clima global, é conveniente fazer uma revisão a este respeito. Existe um fenômeno atmosférico vinculado aos episódios EN e LN, que é conhecido como Oscilação Sul. A este acoplamento oceano-atmosfera a climatologia denominou a conjugação El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Pode-se caracterizar a Oscilação Sul como uma

variação de pressão a que é submetida a circulação de Walker (circulação do ar que sobe no Pacífico Equatorial Central e que vai para o leste em altos níveis da atmosfera e desce no Pacífico Leste, em conjunto com os ventos alísios em baixos níveis da atmosfera). Esta oscilação pode ser observada através da comparação de séries temporais de pressão ao nível do mar (PNM) no Tahiti (Oceano Pacífico Central) e Darwin (Oceano Pacífico Oeste). Estas pressões estão negativamente correlacionadas e possuem grandes flutuações. Em períodos nos quais são grandes as diferenças de pressão entre estas estações, a estrutura da circulação de Walker é acentuada e mantém suas condições médias. Em períodos de baixas diferenças barométricas a circulação de Walker muda de posição. A época em que a anomalia de PNM fica positiva em Darwin e negativa em Tahiti é denominada a fase negativa da Oscilação Sul, correspondente a um episódio EN. Quando os sinais são contrários, a Oscilação Sul está em sua fase positiva, correspondente a um episódio LN. A ocorrência de anomalias de TSM nas áreas indicadas na Fig. 1 tem servido como indicador da evolução de um fenômeno ENOS.

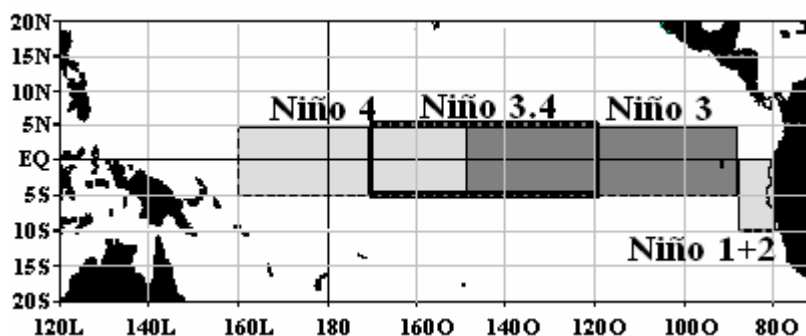


FIGURA 1.1 – ÁREAS DE ATUAÇÃO DO EL NIÑO SOBRE O PACÍFICO TROPICAL

Produzida pelos ventos, a diferença média de temperatura entre as águas da superfície do Oceano Pacífico tropical oeste e leste fornece condições próprias ao aparecimento do fenômeno ENOS. As principais características da fase positiva do ENOS (LN) são: uma piscina quente em forma de língua na porção oeste do Pacífico Tropical, onde os registros de temperatura acusam as águas salgadas mais quentes do mundo (acima de 29⁰C); águas quentes ao norte do Equador entre as latitudes 5⁰N e 15⁰N; baixas temperaturas para as águas na porção leste desse oceano; uma corrente fria ao longo do equador com um pico em outubro e baixa em meados do mês de março. Já a fase negativa (EN) é caracterizada por anomalias opostas:

diminuição da temperatura das águas no Pacífico equatorial oeste e nos subtrópicos e aquecimento no Pacífico tropical central e leste.

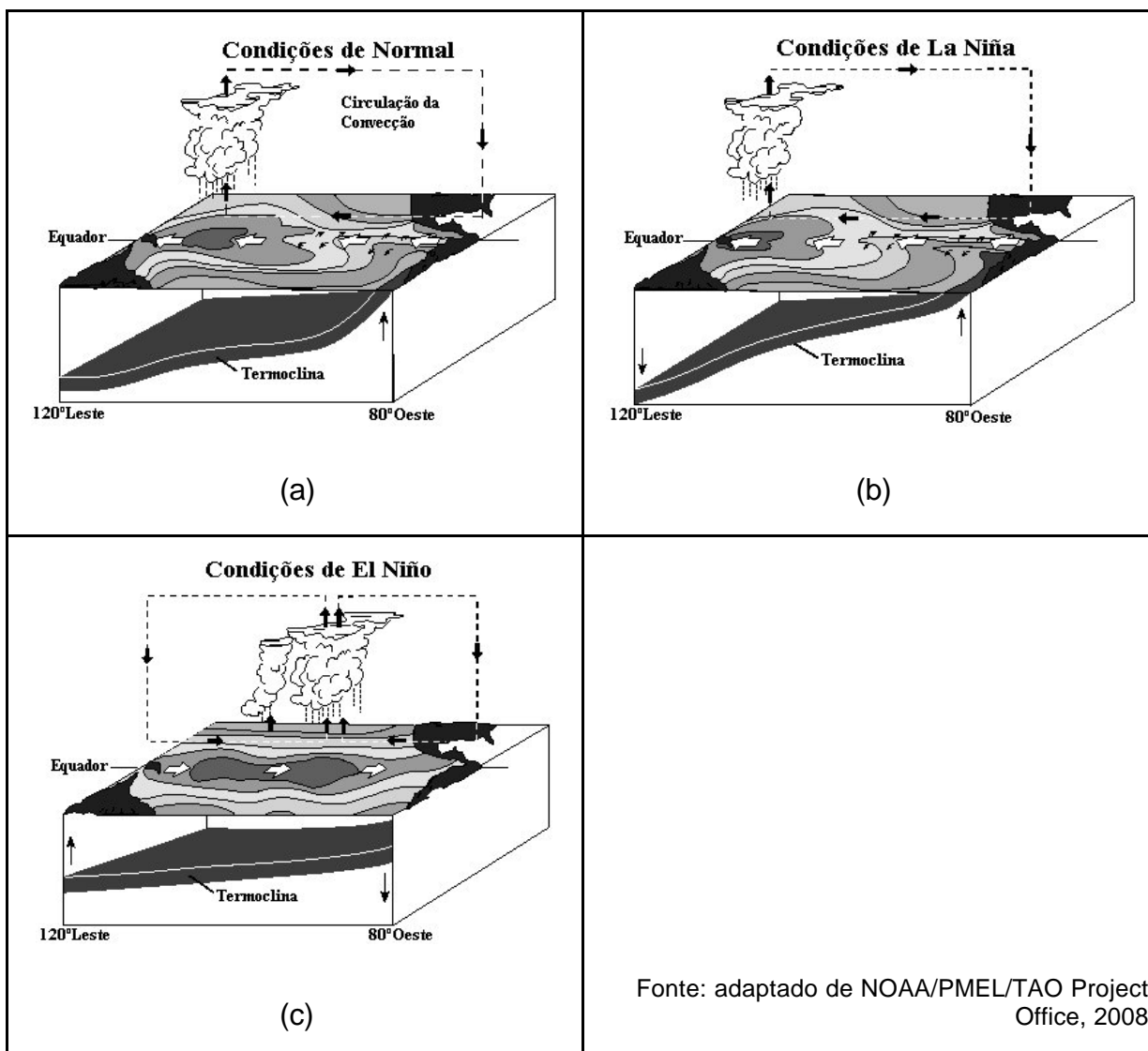


FIGURA 1.2 – ESQUEMA DA CIRCULAÇÃO DURANTE ANOS NORMAIS (a), ANOS LA NIÑA (b) E ANOS EL NIÑO (c)

Existe uma oscilação irregular entre os fenômenos denominados EN e a sua fase oposta conhecida como LN. As duas situações extremas acontecem com períodos de 3 a 7 anos. O pico de sua evolução dura aproximadamente um ano. A magnitude de um ENOS depende de variações térmicas que se manifestam de leste para oeste na superfície do Pacífico Tropical, assim como de sua correspondência dual com a pressão nos trópicos. Através de trocas de calor, a temperatura das águas na superfície é transferida aos poucos para a atmosfera. Em condições normais (Fig. 1.2a) ou de LN (Fig. 1.2b), o ar quente de baixa densidade sobre as águas mais quentes do Pacífico tropical oeste ascende até uma altitude aproximada

de 10 km e tende a se deslocar vindo a descer lentamente sobre o Pacífico central e leste. Em condições de El Niño (Fig. 1.2c), o ar quente de baixa densidade ascende sobre o Pacífico Central e desce sobre o Pacífico oeste e leste. Este movimento descendente do ar é denominado subsidência; que provoca um acréscimo substancial de pressão atmosférica no nível do mar. As regiões de altas pressões ocorrem nas localidades mais frias dos trópicos e subtropicais.

Os mecanismos físicos envolvidos na interação oceano-atmosfera sobre a região tropical durante ENOS não estão muito bem compreendidos. O que se tem como consenso é que os padrões anormais observados no campo das anomalias de TSM surgem da dinâmica interna do próprio oceano e também são forçados pelos processos dinâmicos da atmosfera, agindo de alguma forma mecanicamente sobre os oceanos tropicais redistribuindo as anomalias de TSM.

Por outro lado, as anomalias de TSM, através do fluxo de calor (evaporação, processos convectivos, formação de nuvens) desequilibram os padrões da atmosfera, provocando mudanças no campo de ventos em baixos níveis. Esses ventos produzem correntes superficiais que determinam para onde fluem as águas e os pontos onde passam a divergir.

Essa dinâmica das correntes ocasiona os fenômenos da ressurgência, isto é o afloramento de águas mais frias, que em situação normal ou de LN ocorre desde a costa oeste da América do Sul até o Pacífico Central. Os ventos atuam sobre as temperaturas nas águas superficiais, ocasionando as diferenças do nível do mar e a quantidade de calor em camadas superiores dos oceanos. Esta última é dependente da configuração da termoclina (região de abrupta variação de temperatura, representada na Fig. 1.2) que separa as camadas homogêneas da superfície das águas profundas mais frias. À proporção que as águas impulsionadas pelos ventos alísios se acumulam, a termoclina se torna mais profunda no oeste do Pacífico tropical (150m) e o nível do mar mais alto. Nas águas equatoriais do leste do Pacífico, a termoclina é mais rasa (50m) e o nível do mar relativamente baixo. A superfície do Pacífico apresenta uma inclinação de cerca de 60m, de leste a oeste, ao longo do equador (e.g. VOITURIEZ; JACQUES, 2000).

Verifica-se, uma a grande influência dos ventos na distribuição de temperatura na superfície do mar. Esta, por sua vez, afeta a distribuição de chuvas e

a circulação atmosférica. Pode-se afirmar que nos trópicos a interdependência entre o oceano e a atmosfera é estreita.

As alterações de temperatura da superfície do Oceano Pacífico durante episódios EN e LN, são acompanhadas de alterações climáticas globais. Há variações dos fluxos de calor sensível e de vapor d'água da superfície do Oceano Pacífico Equatorial para a atmosfera, que produzem alterações da convecção naquela região e, portanto, nas fontes de calor latente na troposfera. Isto produz alterações na divergência de ar em altos níveis e provoca mudanças na circulação de Walker nos trópicos e também, gera ondas de Rossby que se propagam para os sub- e extra-trópicos (e.g., GRIMM; SILVA DIAS, 1995). Portanto, há alterações na circulação atmosférica em escala global e, conseqüentemente, na precipitação.

Na América do Sul há impactos significativos sobre a precipitação sazonal e mensal em várias regiões nas diferentes fases do ciclo ENOS (e. g., ROPELEWSKI; HALPERT, 1987, 1989; ACEITUNO, 1988; KILADIS; DIAZ, 1989; GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000; GRIMM, 2003, 2004). Como as quantidades médias mensais ou sazonais da precipitação também dependem da freqüência de eventos extremos de precipitação, espera-se que a freqüência de eventos extremos de chuva seja modulada pelo ENOS em alguns locais. Entretanto, isso não significa que regiões que sofrem a influência do ENOS sobre a precipitação mensal e sazonal sofrerão necessariamente influência sobre a freqüência e intensidade dos eventos extremos.

Gershunov e Barnett (1998), Gershunov (1998) e Cayan, Redmond e Riddle (1999) mostram que, para diversas regiões dos Estados Unidos, há significativa diferença entre as probabilidades de ocorrência de eventos extremos de precipitação durante episódios EN e LN, o que representa um potencial de previsibilidade do aumento ou diminuição destes eventos durante aqueles episódios. A relação entre episódios de ENOS e eventos extremos de precipitação não foi extensivamente estudado sobre a América do Sul, embora haja relatos da relação entre episódios ENOS e enchentes em rios (e.g., CAMILLONI; BARROS, 2000; BERRI; GHIETTO; GARCÍA, 2002). Isto indica que os eventos extremos de precipitação também são provavelmente afetados pelo ENOS.

Liebmann, Jones e Carvalho (2001) afirmam que existem padrões de correlação entre a temperatura da superfície do mar (TSM) e os eventos extremos que não são os mesmos que os padrões de correlação da TSM com a chuva média.

Isso quer dizer que existem padrões de anomalias de TSM associados somente à ocorrência de eventos extremos, o que será também objeto deste estudo.

Carvalho, Jones e Liebmann (2002) mostram que aproximadamente 65% de todos os eventos extremos de precipitação, em São Paulo, ocorreram quando a atividade convectiva na Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) era extensa e intensa. Há evidências que esta categoria de eventos foi modulada pelo EN. Os 35% restantes ocorreram quando a atividade convectiva na ZCAS foi reduzida.

Há uma grande influência de ENOS no Sul do Brasil (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998; GRIMM, 2003, 2004), principalmente na primavera, provocando anomalias positivas de precipitação durante EN e negativas durante LN. Anomalias positivas de precipitação aparecem também no outono e inverno do ano seguinte a episódios EN, principalmente quando estes episódios se estendem por mais tempo. Os impactos de ENOS no resto do Brasil durante a primavera e verão foram estudados por Grimm (2003, 2004), revelando anomalias fortes também em outras regiões. Por exemplo, há anomalias significativas no Centro-Leste do Brasil (que inclui o Sudeste) durante a estação chuvosa, que afetam regiões muito populosas e de grande importância para a agricultura e geração de energia hidroelétrica.

Grimm, Barros e Doyle (2000) verificaram que, além do Sul do Brasil, o sinal de ENOS também se estende para grande parte do sudeste da América do Sul Uruguai, Argentina e Paraguai.

Há várias definições para eventos extremos. Cayan, Redmond e Riddle (1999) usam o percentil 90% da distribuição de precipitação como limiar inferior para a escolha dos eventos extremos. Gershunov e Barnett (1998) escolheram o percentil 75%. Para Liebmann, Jones e Carvalho (2001) um evento extremo de chuva é aquele em que a precipitação diária excede uma certa porcentagem da sua média sazonal ou anual. A porcentagem é escolhida para que os eventos extremos sejam raros. Carvalho, Jones e Liebmann (2002) consideram um evento extremo diário aquele que produz 20% do total climatológico sazonal. No presente estudo será utilizado o percentil 90% da distribuição Gama ajustada aos dados diários como limiar inferior para eventos extremos. A escolha da distribuição Gama deve-se ao fato de que esta é uma distribuição que ajusta-se bem aos dados de precipitação (THOM, 1971).

TABELA 1.1 – DEFINIÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS

Autor	Definição
CAYAN, REDMOND e RIDDLE (1999)	Percentil 90 da distribuição de precipitação
GERSHUNOV e BARNETT (1998)	Percentil 75 da distribuição de precipitação
LIEBMANN, JONES e CARVALHO (2001)	Precipitação diária excede uma certa porcentagem da média sazonal ou anual
CARVALHO, JONES e LIEBMANN (2002)	Precipitação que produz 20% do total climatológico sazonal

1.2. JUSTIFICATIVA

Estudos referidos anteriormente mostram que os episódios EN e LN influenciam de forma consistente na quantidade de precipitação mensal e sazonal em amplas regiões do Brasil e da América do Sul. Além disto, estudos aplicados aos Estados Unidos constataram que esses episódios influenciam também na forma da função de distribuição de freqüências da precipitação diária, particularmente na distribuição da freqüência de eventos extremos de precipitação. Portanto, é provável que o mesmo ocorra na América do Sul, mas estudos extensivos sobre o assunto ainda não foram realizados. Tendo em vista que esses eventos extremos são a forma mais dramática e efetiva de impacto de variações climáticas sobre a população, através de sua associação com desastres hidrológicos, tais como enchentes e deslizamentos de terra, é importante que se verifique a associação dos episódios ENOS com eventos extremos de precipitação, a fim de aumentar o detalhamento das previsões climáticas.

Os episódios EN e LN têm razoável grau de previsibilidade, através da utilização de modelos dinâmicos e/ou estatísticos. Além disto, eles se iniciam geralmente no inverno e os principais efeitos sobre o Brasil ocorrem a partir da primavera. Portanto, mesmo que os modelos não prevejam corretamente um destes episódios, sabe-se da sua ocorrência antes dos seus efeitos mais fortes. Pretende-se estender a informação das previsões climáticas durante episódios ENOS além das anomalias mensais e sazonais de chuva, estudando-se também os seus efeitos mais consistentes sobre os eventos extremos. Assim, é possível comunicar a defesa civil do provável aumento da ocorrência destes eventos quando um episódio ENOS for previsto ou for observado seu início.

1.3. OBJETIVOS

O presente estudo é focalizado no impacto dos episódios EN e LN na frequência e na intensidade de eventos extremos sobre a América do Sul, assim como nas funções densidade de probabilidade da precipitação diária. Esta análise será feita com definição mensal ao longo de todo ciclo de ENOS. Essa resolução é necessária a fim de esclarecer a variação intra-sazonal do impacto do ENOS (GRIMM, 2003, 2004). Além da avaliação quantitativa nas mudanças de frequência e intensidade, também se pretende avaliar os motivos para modificações detectadas.

Foi também comparado o estado atmosférico anômalo médio produzido por episódios EN e LN com as condições atmosféricas durante os eventos extremos de precipitação, nas regiões mais afetadas, para verificar a influência de episódios EN e LN sobre os eventos extremos.

Portanto, o **objetivo geral** é avaliar os impactos dos eventos EN e LN sobre a ocorrência de eventos extremos de precipitação na América do Sul e de vazão no Brasil, durante todo o ciclo desses eventos, e esclarecer os mecanismos dos impactos significativos.

Os **objetivos específicos** associados são:

- Determinar as diferenças na frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação durante episódios EN e anos normais e durante episódios LN e anos normais, além da significância dessas diferenças;
- Avaliar as diferenças nas distribuições de frequência da chuva diária e dos eventos extremos nas regiões com diferenças consistentes indicadas no passo anterior;
- Determinar as condições sinóticas associadas a eventos extremos em várias dessas regiões;
- Estudar a variabilidade da frequência em conexão com condições globais (TSM, circulação, fontes de calor);
- Verificar a existência de diferenças entre as condições associadas às variações de totais mensais de precipitação e as condições associadas às variações de ocorrência de eventos extremos;

- Determinar as diferenças na frequência de eventos extremos de vazão durante episódios EN e anos normais e durante episódios LN e anos normais, além da significância dessas diferenças;
- Avaliar as diferenças nas distribuições de frequência da vazão diária e dos eventos extremos nas regiões com diferenças consistentes indicadas no passo anterior;
- Relacionar as variações significativas de eventos extremos de precipitação com as variações de vazões extremas de alguns rios.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Os dados e métodos utilizados na análise são descritos no capítulo 2. O capítulo 3 apresenta e compara os resultados para as diferenças em frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação relacionadas com episódios ENOS. No capítulo 4 o impacto destes episódios sobre as funções densidade de probabilidade da chuva diária e da intensidade de eventos extremos será melhor explicitada em algumas regiões com diferenças consistentes. No capítulo 5 será apresentada uma análise dos campos atmosféricos anômalos associados com episódios ENOS e com eventos extremos, de modo a explicar as diferenças entre as frequências de eventos extremos em EN e LN. O efeito de episódios ENOS sobre vazões extremas e sua conexão com eventos extremos de precipitação será abordado no capítulo 6. No capítulo 7 o impacto de episódios ENOS sobre as funções densidade de probabilidade da vazão e da intensidade de eventos extremos de vazão será explicitada em algumas regiões com diferenças consistentes. No capítulo 8 serão apresentadas as conclusões do trabalho.

2. MÉTODOS E DADOS

A definição dos anos de episódios EN e LN é feita de maneira similar a Trenberth (1997), mas usando como referência a TSM na região Niño 3 (Fig. 1.1), que parece ser mais correlacionada com as anomalias de chuva no sudeste da América do Sul, uma região bastante afetada por episódios ENOS. Os anos são definidos da seguinte maneira:

- Calculam-se as anomalias de TSM na região Niño 3;
- Calcula-se a média móvel de 5 meses destas anomalias;
- Se esta média móvel for maior (menor) ou igual a 0.5°C (-0.5°C) por 6 meses consecutivos (incluindo setembro-outubro-novembro), considera-se que este é um ano EN (LN).

Os anos de EN e LN no período utilizado para este estudo (1956-2002) estão apresentados na Tabela 2.1. O ciclo de um ano EN ou LN começa em agosto (ano 0) e termina em julho do ano seguinte (ano +).

TABELA 2.1 – ANOS EL NIÑO E LA NIÑA INCLUÍDOS NA ANÁLISE

El Niño (0)	1957, 1963, 1965, 1969, 1972, 1976, 1982, 1986, 1987, 1991, 1997
La Niña (0)	1964, 1967, 1970, 1971, 1973, 1975, 1985, 1988, 1999

Nesse estudo o ano de 1977 não foi considerado um EN, porém para Franco e Pizarro (1985), Ramage (1986) e Karoly (1989) isso ocorreu. Para Compagnucci e Salles (1997), essas discrepâncias podem estar associadas ao comportamento atípico do Índice de Oscilação Sul (IOS) e do índice de TSM nos anos de 1976 e 1977.

2.1. FREQUÊNCIA E INTENSIDADE DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO

Foi utilizado um conjunto de dados diários de precipitação, distribuídos de duas maneiras distintas: um com mais de 10.000 estações de precipitação diária sobre toda a América do Sul e outro com essas mesmas estações interpoladas em uma grade com quadrículas de 1° de latitude por 1° de longitude, para ter uma distribuição de dados mais homogênea. Os dados de estação são obtidos, principalmente, da Agência Nacional de Águas (ANA), para o Brasil; e de institutos

hidrometeorológicos da Argentina, do Paraguai e do Uruguai. Nos dados em grade também foram utilizados dados diários interpolados em grade por Liebmann e Allured (2005), a fim de estender a cobertura espacial, principalmente no norte da América do Sul.

Algumas análises foram realizadas, a fim de utilizar somente dados confiáveis. Cada mês pode conter no máximo 5 dias faltantes. Caso contrário, o mês inteiro receberá o código de dado faltante. A série de dados deve conter no mínimo 6 EN e 5 LN, para o estudo da respectiva categoria. A coluna da esquerda das Fig. 3.1 e 3.2 mostra as quadrículas utilizadas em cada mês.

Como o impacto de eventos extremos de precipitação é realçado pela persistência, nesse estudo eles são definidos com base em médias móveis de 3 dias. Estas são calculadas e atribuídas ao dia central. Distribuições Gama são ajustadas a estas médias, uma para cada dia do ano. Os dados são substituídos pelos seus respectivos percentis.

No presente trabalho utilizou-se a distribuição Gama para representar os dados de precipitação diária, com base em experiência relatada em ampla literatura (e. g., THOM, 1958). A seguinte função densidade de probabilidade da variável aleatória x define a distribuição Gama:

$$f(x) = \frac{(x/b)^{a-1} \exp(-x/b)}{b\Gamma(a)} \quad \text{com } x, a \text{ e } b > 0. \quad (2.1.1)$$

onde a e b são os parâmetros da distribuição e significam, respectivamente, a forma e a escala da distribuição. A função Gama é calculada da seguinte forma:

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} t^{a-1} e^{-t} dt \quad (2.1.2)$$

Determina-se um parâmetro D , por uma aproximação do método da máxima verossimilhança, para obter os parâmetros desta distribuição:

$$D = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \quad (2.1.3)$$

Esse parâmetro é a diferença entre o logaritmo natural da média amostral e a média dos logaritmos de cada dado. A partir dele, obtêm-se (THOM, 1958):

$$a = \frac{1 + \sqrt{1 + 4D/3}}{4D} \quad (2.1.4)$$

$$b = \frac{\bar{x}}{a} \quad (2.1.5)$$

Embora a variabilidade na precipitação diária devida a cada parcela mensal do ciclo anual seja, geralmente, pequena se comparada à variabilidade produzida pelos episódios ENOS em regiões significativamente afetadas, é aconselhável o uso das distribuições diárias. O ciclo anual de precipitação tem amplitude bastante pronunciada em grande parte da América do Sul, devido ao dominante regime de monções (Fig. 1 de GRIMM, 2003), produzindo diferenças climatológicas relativamente fortes de precipitação dentro de um mesmo mês, principalmente na primavera austral. Esta forte variação é refletida na precipitação média correspondente ao percentil 90 para cada mês (coluna da esquerda da Fig. 3.1): por exemplo, no Sudeste do Brasil ela é de 8 mm/dia em outubro, enquanto em novembro é de mais de 16 mm/dia. Conseqüentemente, nas regiões com pequenas, mas consistentes, anomalias relacionadas ao ENOS, essas diferenças climatológicas intra-mensais poderiam introduzir um número irreal de eventos extremos se as distribuições de precipitação fossem baseadas nos valores diários para o mês inteiro.

Com base no ajuste diário da distribuição Gama, os dados de precipitação são substituídos pelos seus respectivos percentis. Todos os dias com percentil igual ou acima de 90 são considerados eventos extremos. O número de eventos extremos é calculado para cada mês em cada ano. Os anos são classificados em EN, LN (Tabela 2.1) e normais, considerando, de acordo com o ciclo médio de EN/LN, que o ano começa em agosto (ano 0) e termina em julho (ano +). São calculadas as freqüências de eventos extremos para cada mês em cada categoria de anos e a diferença entre as médias para EN e normais, e para LN e normais, assim como a sua significância estatística através do teste hipergeométrico. EN e LN são tratados separadamente, realçando as diferenças em relação aos anos normais, ao contrário de descrever o sinal do ENOS como sendo a diferença entre as composições de EN e LN, por duas razões. Em primeiro lugar, o objetivo de melhorar a previsão do clima com indicação de aumento ou diminuição de eventos extremos é melhor conseguido

se os anos normais forem a referência; em segundo lugar, apesar das fortes teleconexões de ENOS serem geralmente lineares, há também sinais não-lineares.

Além da frequência de eventos extremos de chuva, o ENOS pode afetar também a intensidade desses eventos, que é uma informação útil para melhorar a previsão climática e de desastres hidrológicos. Conseqüentemente, a intensidade média de chuva durante eventos extremos também é calculada para cada mês em cada categoria, assim como a diferença dessas quantidades entre EN e normais e entre LN e normais, e sua significância estatística através do teste hipergeométrico.

A consistência do sinal de ENOS, tanto na frequência quanto na intensidade dos eventos extremos, foi avaliada através de um teste de significância baseado na distribuição hipergeométrica (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998; GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000). A hipótese testada em cada mês é que haja mais (menos) eventos extremos durante episódios de ENOS do que o número médio ou que os eventos extremos sejam mais (menos) intensos durante episódios ENOS do que a intensidade média. Por exemplo, considere-se a série de novembros no período de 1956-2002, onde n_1 e n_2 são, respectivamente, as quantidades de novembros com menor e maior número de eventos extremos do que o número médio. A distribuição hipergeométrica retorna a probabilidade de obter d novembros com menos (ou w novembros com mais) eventos extremos do que o número médio desse mês em t episódios ENOS. Assim, para testar a consistência da relação EN–mais (menos) eventos extremos na série de novembros onde t é o número de episódios EN e d (w) deles contém menos (mais) eventos extremos que o número médio, calcula-se a probabilidade de obter mais que d (w) casos secos em uma amostra de t episódios aleatoriamente tomados desta população [i.e, a probabilidade cumulativa de obter $d+1, d+2, \dots (w+1, w+2, \dots)$, até t casos com mais (menos) eventos extremos]. Isto retorna o nível de significância da relação, que é calculado da seguinte forma (MEYER, 1972, p.187):

$$h = 1 - \sum_{k=1}^d \frac{\binom{t}{k} \binom{N-t}{n_1}}{\binom{N}{n_1}} \quad (2.1.6)$$

Para saber quão diferentes são as precipitações correspondentes a eventos extremos em diferentes meses do ano, foi calculado o valor médio de precipitação

correspondente ao percentil 90 para cada mês. Para esse cálculo foram seguidos os seguintes passos: 1) Como a distribuição Gama é ajustada para cada dia do ano, encontra-se a precipitação relacionada ao percentil 90 em cada dia da série; 2) Calcula-se então o valor médio dessa precipitação em cada mês; 3) Geram-se os mapas dos percentis médios para cada mês.

2.2. HISTOGRAMAS DE PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS E DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO

Para verificar o deslocamento das distribuições de chuva diária durante anos EN e LN em relação a anos normais foram obtidas as distribuições de freqüências (histogramas) da chuva diária e da chuva associada aos eventos extremos (em 6 quadrículas e 3 estações escolhidas), para cada categoria de anos, assim como as correspondentes distribuições teóricas. As quadrículas escolhidas são as que possuem menores valores da significância para EN e LN dentro da região onde houve uma diferença significativa de eventos extremos. Depois de escolhida a quadrícula escolhe-se uma estação dentro da quadrícula que possua os menores valores de significância para EN e LN. A significância das diferenças entre essas distribuições foi avaliada através do teste de Kolmogorov-Smirnov (WILKS, 1995, p.129-133):

$$D_s = \max|F_n(x_1) - F_m(x_2)| \quad (2.2.1)$$

onde $F_n(x_1)$ e $F_m(x_2)$ são as probabilidades empíricas associadas aos valores de cada série.

A hipótese que as duas amostras de dados foram extraídas da mesma distribuição é rejeitada no nível α se:

$$D_s > \left[\frac{1}{2} \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right) \ln \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right]^{1/2} \quad (2.2.2)$$

onde α é a probabilidade do erro tipo I, n o número de termos da primeira série e m o número de termos da segunda.

A distribuição Gama (já descrita anteriormente) é adequada para representar a freqüência de ocorrência de chuva diária. Uma distribuição adequada para representar a probabilidade de ocorrência de eventos extremos de diferentes

intensidades é a Gumbel, onde os extremos indicam tanto os valores máximos como os mínimos de um determinado número de observações. A função densidade de probabilidade dessa distribuição é representada por (WILKS, 1995, p.97):

$$f(x) = \frac{1}{b} \exp \left\{ - \exp \left[- \frac{(x-x)}{b} \right] - \frac{(x-x)}{b} \right\}, \quad -\infty < x < \infty \quad (2.8)$$

onde x é o parâmetro de localização e b o de escala. Pelo método dos momentos, os parâmetros são definidos a seguir:

$$b = \frac{s\sqrt{6}}{p} \quad (2.9)$$

$$x = \bar{x} - gb \quad (2.10)$$

onde $g = 0,57721$ é a constante de Euler, \bar{x} é a média amostral e s o desvio padrão da amostra.

2.3. RELAÇÕES COM CAMPOS ATMOSFÉRICOS E OCEÂNICOS

Foram escolhidas regiões nas quais houve significativa alteração da frequência de eventos extremos em EN e LN. As quadrículas de cada região foram escolhidas por possuírem baixos valores (<0,10) de significância. Em cada uma destas regiões foi calculada uma série de chuva média e seus respectivos eventos extremos, através da função Gama. Fez-se uma lista desses eventos para cada categoria de ano.

A associação entre a variação da frequência de eventos extremos numa certa região e condições de fronteira representadas pela TSM foi avaliada através da correlação entre a série de frequências de eventos extremos e a TSM em quadrículas de 1° de latitude por 1° de longitude sobre todos os oceanos (obtida do conjunto HadISST1, do Hadley Institute, Reino Unido, conforme descrito por RAYNER et. al., 2003). Para verificar se esta relação é diferente daquela existente para chuvas totais mensais na mesma região, a correlação entre estas chuvas e TSM é também calculada. A significância das correlações é calculada através de um teste baseado na distribuição t de Student.

O coeficiente de correlação r é utilizado quando se quer verificar a associação entre duas variáveis. Esse coeficiente é calculado da seguinte forma (SPIEGEL, 1972):

$$r_{x,y} = \frac{\text{cov}(x,y)}{s_x s_y} \quad (2.3.1)$$

onde $\text{cov}(x,y)$ é a covariância das duas variáveis, s_x o desvio padrão de uma das variáveis e s_y o desvio padrão da outra.

Este coeficiente varia entre +1 e -1. Quando $r_{x,y} = -1$, tem-se uma perfeita associação linear negativa entre as duas variáveis; se $r_{x,y} = +1$ a associação linear é perfeitamente positiva. Quando $r_{x,y} = 0$, as duas variáveis não possuem associação linear.

Para o teste de significância, admite-se uma população teórica de coeficientes de correlação, denotados por r , cujas estimativas são os coeficientes de correlação r obtidos das amostras. Para o teste de significância de r é necessário saber a distribuição amostral de r . Se $r = 0$ a distribuição é simétrica e a estatística tem a distribuição t de Student. Para $r \neq 0$, a distribuição é alongada. Nestes casos, uma distribuição desenvolvida por Fisher produz uma distribuição quase normal. Considerando a hipótese nula $r = 0$, usa-se a estatística de Student, com N-2 graus de liberdade (SPIEGEL, 1972, p.410):

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2.3.2)$$

Para estudar as condições atmosféricas associadas aos eventos extremos de precipitação foram usados dados, tanto diários quanto mensais, de pressão ao nível do mar. Esses dados foram obtidos do conjunto da reanálise do NOAA – NCEP/NCAR (KALNAY et. al., 1996), que é um conjunto de dados globais resultantes do processo de consistência dinâmica de dados observados num modelo atmosférico. No Laboratório de Meteorologia da UFPR foram calculados o fluxo de umidade verticalmente integrado e sua respectiva divergência, a função corrente em 200 e 850 hPa. Também são utilizados os dados de precipitação, os mesmos utilizados para o cálculo da frequência de eventos extremos. O período utilizado dos dados das condições atmosféricas, assim como de precipitação, vai de 1956 até 2002. Os dados utilizados para análise dos campos atmosféricos estão em uma grade de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$.

Para obter anomalias das variáveis atmosféricas diárias foram realizados vários cálculos. Para cada ponto de grade, calcula-se o valor médio sobre todo o período em cada dia do ano. Depois é calculada a média móvel de quinze dias, duas vezes. Com isso tem-se a climatologia depurada da variabilidade dia-a-dia decorrente da pequena amostra. Para calcular a anomalia deve-se diminuir a média climatológica do valor diário, nos dias em que ocorreram eventos extremos numa certa estação, e também nos dias anterior e posterior ao evento extremo, para obter uma média de 3 dias. Calcula-se a média das anomalias durante os eventos extremos ocorridos em anos EN, LN e normais e geram-se os mapas das anomalias médias durante eventos extremos em cada categoria.

Foram também calculados campos anômalos mensais médios de variáveis atmosféricas durante episódios EN e LN. O valor médio climatológico da variável num dado mês é calculado e subtraído do valor da variável naquele mês em cada ano durante episódios EN e LN, gerando anomalias. Calcula-se então a média das anomalias durante estes episódios e geram-se os mapas das anomalias médias mensais durante EN e LN.

2.4. FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS DE VAZÃO

Foram utilizados dados de 190 estações de vazão provenientes do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico). Análises foram realizadas para utilizar somente dados confiáveis. As estações utilizadas podem conter no máximo 5 dias faltantes em cada mês, caso contrário o mês inteiro recebe código de dado faltante. Cada série de dados contém no mínimo 6 anos EN ou 5 anos LN, para o estudo de cada categoria, respectivamente.

Médias móveis de vazões diárias de três dias foram calculadas e o resultado atribuído ao dia central. Distribuições Log-Normal (WILKS, 1995, p.95) foram ajustadas a estas médias, uma para cada dia do ano. Os dados foram substituídos por seus respectivos percentis.

A seguinte função densidade de probabilidade da variável aleatória x define a distribuição Log-Normal:

$$f(x) = \frac{1}{xs\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - m}{s}\right)^2\right] \quad (2.4.1)$$

onde s é o desvio padrão de $\ln x$ e m é a média de $\ln x$.

Com base no ajuste diário da distribuição Log-Normal, os dias com percentil maior ou igual a 90 são considerados eventos extremos de vazão. O número de eventos extremos foi calculado para cada mês em cada ano. Foram calculadas as frequências de eventos extremos para cada mês em cada categoria de anos (Tabela 2.1) e a diferença entre EN e normais e LN e normais, assim como a significância estatística através do teste hipergeométrico.

2.5. HISTOGRAMAS DE VAZÕES DIÁRIAS E DE EVENTOS EXTREMOS DE VAZÃO

Para verificar o deslocamento das distribuições de vazão diária durante EN e LN em relação a anos normais, foram obtidas as distribuições de frequências (histogramas) da vazão diária e da vazão associada aos eventos extremos (em 2 estações escolhidas), para cada categoria de anos. Essas estações foram escolhidas por possuírem os menores valores de significância para EN e LN. A significância das diferenças entre essas distribuições foi avaliada através do teste de Kolmogorov-Smirnov.

2.6. PROGRAMAS UTILIZADOS

Os resultados foram obtidos através de vários programas desenvolvidos em linguagem Fortran, do Excel e do programa GrADS, versão 1.9b4 (BRIAN DOTY e INSTITUTE OF GLOBAL ENVIRONMENT AND SOCIETY, 2005), utilizado para a geração de gráficos.

3. VARIAÇÕES NA FREQUÊNCIA E INTENSIDADE DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO

3.1. ALGUMAS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Os padrões espaciais do percentil 90 da chuva diária em cada mês (Fig. 3.1 e 3.2, coluna da esquerda) indicam os limiares de precipitação dos eventos extremos em partes diferentes do continente e em diferentes períodos do ciclo anual. Estes limiares seguem a evolução dos regimes de precipitação que prevalecem sobre a América do Sul. É possível dizer que o percentil 90 igual ou superior a aproximadamente 10 mm/dia define regiões que estão na estação chuvosa cujos eventos extremos tem grande intensidade.

Baixos valores no outono e inverno e altos valores na primavera e verão indicam um regime de monção sobre grande parte do continente (GRIMM; VERA; MECHOSO, 2005). A coluna da esquerda na Fig. 3.1 mostra que a estação chuvosa começa no oeste da Amazônia na primavera austral (setembro) e então espalha-se para o Sul e Sudeste, alcançando o Sudeste do Brasil em outubro. Em novembro, a estação chuvosa já abrange grande parte da América do Sul central, do Equador até 20°S, mas está ausente sobre o leste da bacia Amazônica e Nordeste do Brasil, pois, durante todo este período, a precipitação associada com a Zona de Convergência Intertropical do Atlântico (ZCIT) está confinada ao Atlântico central entre 5°N-8°N.

Durante a fase madura das monções, de novembro até fevereiro, a principal atividade convectiva é centrada sobre o centro-oeste do Brasil. A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) está inteiramente estabelecida e a chuva forte estende-se para a América do Sul subtropical e o sudeste da América do Sul também experimenta o aumento de chuva. Há pouca mudança na extensão da precipitação, exceto sobre o leste da bacia Amazônica onde aumenta durante todo o período. Enquanto a estação chuvosa estende-se sobre o leste da Amazônia, a ZCIT enfraquece-se.

O enfraquecimento da monção começa em março, quando área de onde há forte precipitação recua para noroeste, mais rapidamente sobre o Centro-Oeste. Sobre as regiões litorâneas no Norte do Brasil a precipitação enfraquece-se somente

após abril. No Nordeste do Brasil a estação chuvosa ocorre de março até maio, quando a ZCIT está em sua posição mais ao sul. Exceto na região costeira do Atlântico, o outono/inverno é seco na área tropical (0-23°S) da América do Sul, ao sul do equador. Na parte ocidental da área subtropical (23°S-35°S) um regime de monção, com um máximo no verão, ainda prevalece, pois tanto o aquecimento da superfície quanto a advecção de vapor de água do norte favorecem a convecção. No leste, o vapor de água está disponível durante todo o ano, mas as condições baroclínicas mais fortes para outono, inverno e primavera favorecem os máximos relativos destas estações com respeito ao verão, embora a precipitação ocorra durante todo o ano (GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000). O Sul do Brasil é uma região de transição entre dois regimes adjacentes: condições de monção no verão e de média-latitude no inverno, que são responsáveis pelo pico da estação chuvosa em janeiro (na parte norte) e em julho (na parte sudeste), respectivamente. Há também uma região, no oeste do Sul do Brasil, onde a variação bimodal prevalece, com a estação chuvosa ocorrendo em março-abril e em setembro-outubro (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998). Estas características também são observadas no sul do Paraguai e no nordeste da Argentina e podem ocorrer devido à mudança sazonal do jato subtropical de alta troposfera (GRIMM, 2008), e à interação com o jato de norte em baixos níveis ao leste dos Andes. A precipitação ao sul de 35°S, no Chile central, na região dos Andes, e imediatamente à leste das montanhas mais altas do norte da Patagônia, é condicionada pelo deslocamento sazonal sul-norte da alta pressão do Pacífico Sul, com um máximo no inverno e em um mínimo no verão. A precipitação a leste de Andes é muito baixa em médias e altas latitudes.

3.2. FREQUÊNCIA E INTENSIDADE DE EVENTOS EXTREMOS

Este estudo tem sua análise de eventos extremos focalizada somente nas regiões e meses em que o percentil 90 excede 10 mm/dia, pois este limiar implica em eventos extremos mais fortes. Embora somente as situações com impacto de episódios ENOS estatisticamente consistente e sinal espacialmente coerente sejam destacadas, os mapas das variações médias de frequência e intensidade de eventos extremos são mostrados para o ciclo inteiro de ENOS, para dar uma vista detalhada de seu impacto. Os sinais altamente localizados não são discutidos.

3.2.1. Agosto (0), setembro (0) e outubro (0)

Em agosto (0) de episódios EN, o número de eventos extremos aumenta fortemente na parte sul do Brasil (Fig. 3.1, coluna do meio) em relação aos anos normais, assim como a intensidade destes eventos (Fig. 3.1, coluna da direita). Um sinal similar ocorre durante os episódios LN (Fig. 3.2), embora com aumento menor da intensidade. O mesmo comportamento é repetido no nordeste da Argentina em setembro (0). Ao mesmo tempo, quase todos os outros padrões consistentes sobre a América do Sul apresentam sinais opostos em EN e LN, com ênfase na região litorânea do norte da América do Sul e da parte sul do Nordeste do Brasil, que recebem significativamente mais casos extremos durante agosto (0) de LN em relação aos normais. Este efeito, que se estende para setembro (0), não é forte durante episódios EN. Em outubro (0) o sinal do EN, em relação aos normais, na chuva forte torna-se oposto ao de LN, em relação aos anos normais, no Sul do Brasil / nordeste da Argentina.

O aumento de extremos de chuva observado durante agosto (0) e setembro (0) na região litorânea do norte da América do Sul e na parte do sul do Nordeste do Brasil estende-se em outubro (0) de LN para uma grande região no Centro-Leste do Brasil (com eventos extremos também mais intensos em determinadas áreas desta região), mas o comportamento simétrico não é observado durante outubro (0) de EN. Um comportamento similar para EN é observado somente em novembro (0), mas com menos intensidade do que durante LN.

3.2.2. Novembro (0), dezembro (0) e janeiro (+)

Em novembro (0) os impactos de ENOS em eventos extremos têm o mesmo sinal no leste da Amazônia e no Centro-Leste do Brasil, e têm sinais opostos para EN e LN, em comparação com os normais, embora não sejam consistentes em algumas regiões do Centro-Leste durante EN. Neste mês, os impactos de ENOS, em comparação com os normais, na frequência da precipitação extrema é mais forte no sudeste da América do Sul (sul do Brasil, sul do Paraguai, nordeste da Argentina e Uruguai). A frequência aumenta consistentemente durante EN, e a intensidade média dos eventos extremos também aumenta, especialmente no oeste do Sul do Brasil, sul do Paraguai e nordeste da Argentina (região da tríplice fronteira). Durante LN há uma diminuição significativa de eventos extremos, se comparado aos anos

normais, e sua intensidade também diminui, mas com menos consistência do que ela aumenta durante EN, em comparação aos normais. Em dezembro (0) este sinal se enfraquece e é deslocado para o sudoeste, para EN e LN. Em janeiro (+) ainda persiste deslocado para sudoeste durante EN, mas desaparece para LN.

Uma reversão interessante do sinal de novembro (0) no Centro-Leste do Brasil para EN e LN começa em dezembro (0) e tem pico em janeiro (+), sendo mais forte e consistente durante episódios LN. A intensidade dos extremos também muda significativamente em janeiro (+) em diversas partes do Centro-Leste do Brasil. Esta reversão foi observada também para anomalias mensais de chuva (GRIMM, 2003, 2004). Enquanto o sinal no Centro-Leste do Brasil muda de novembro (0) para janeiro (+), continua o mesmo no norte da América do Sul, com maior (menor) frequência de precipitações extremas em LN (EN). Uma interessante (embora não tão forte) alteração entre novembro (0) e janeiro (+), e que está relacionada à reversão observada no Centro-Leste, ocorre também no Sul do Brasil, onde as fortes diferenças de novembro ou se enfraquecem ou até invertem seu sinal, como se pode observar no noroeste da Região Sul, em torno de 23°S. Esta reversão deve-se à reversão de uma circulação anômala local sobre o Sudeste, de novembro para janeiro, observada durante episódios ENOS, e que leva fluxo de umidade ou para o Centro-Leste ou para o Sul (GRIMM, 2003, 2004). Este aspecto será descrito mais adiante, na caracterização das anomalias atmosféricas durante eventos extremos.

3.2.3. Fevereiro (+), março (+), abril (+) e maio (+)

O sinal forte de janeiro (+) no Centro-Leste do Brasil durante episódios LN desaparece em fevereiro (+), mas durante EN há ainda aumento da chuva extrema na parte central do Brasil em fevereiro (+), em comparação com os anos normais. Isto é uma característica importante, porque janeiro-fevereiro é a estação de pico da monção nesta região. Isto significa que também há eventos de ZCAS extremas mais frequentes e mais intensas, com mais precipitação sobre o Centro-Leste do Brasil neste período em episódios EN, em relação aos normais, o que é coerente com a maior ocorrência de ZCAS mais fortes (do tipo oceânica) durante episódios EN, relatada por Carvalho, Jones e Liebman (2004).

De fevereiro (+) até maio (+) de episódios EN a frequência (e a intensidade) de eventos extremos de precipitação são novamente realçadas, em comparação

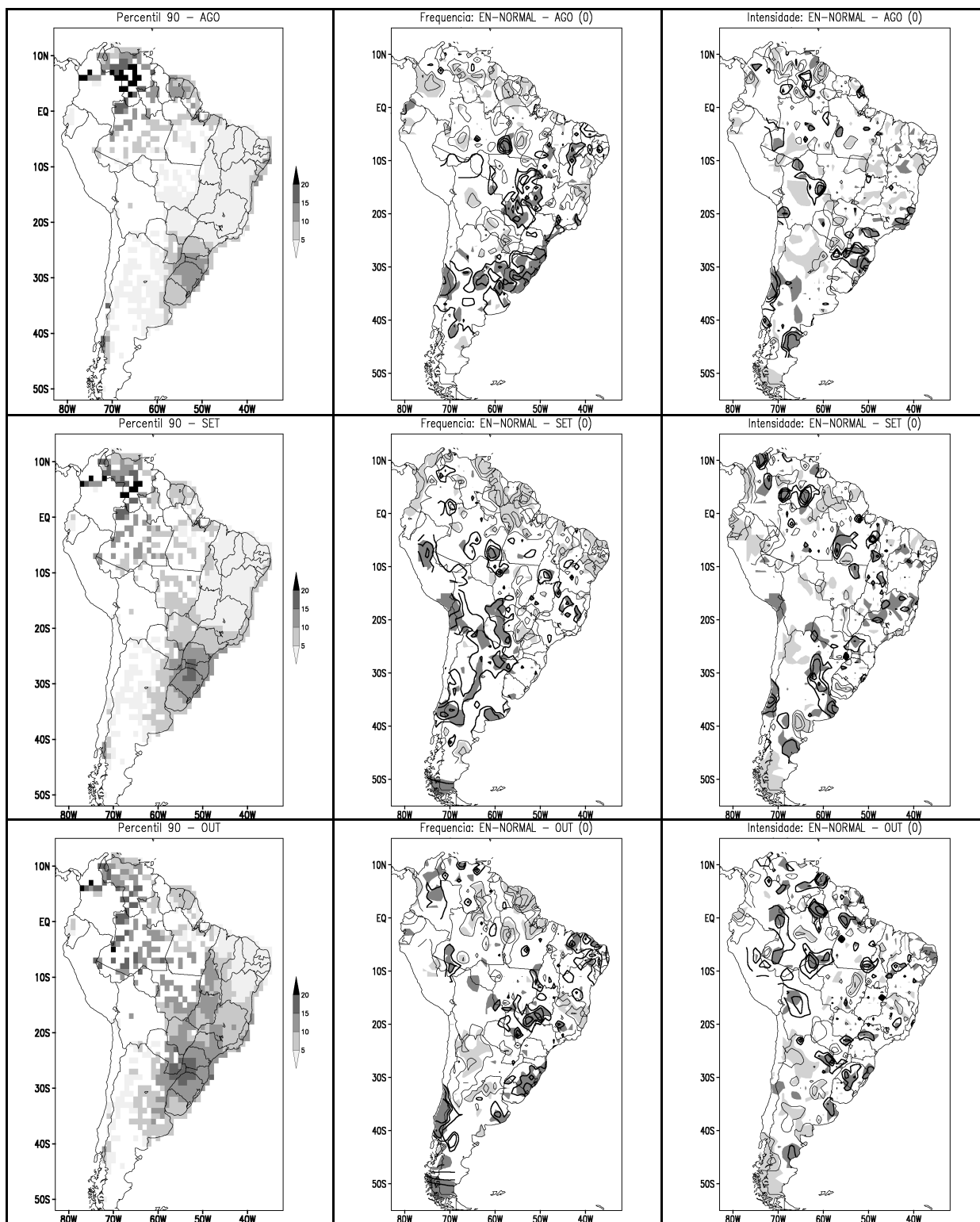
com anos normais, no Sul do Brasil e em regiões vizinhas da Argentina, do Paraguai e do Uruguai. Com exceção de fevereiro (+), nenhuma redução correspondente é observada durante LN, talvez porque os episódios LN duram um tempo mais curto que episódios EN.

Durante a estação chuvosa no Nordeste do Brasil, somente em março (+) de EN e em abril (+) de LN há um sinal consistente na frequência e na intensidade da precipitação extrema, indicando redução durante EN e aumento durante LN, em relação aos anos normais. No leste da Amazônia o impacto mais forte ocorre em novembro (0), dezembro (0) e janeiro (+) durante o EN, enquanto durante LN ele é maior em setembro (0), outubro (0), novembro (0) e dezembro (0).

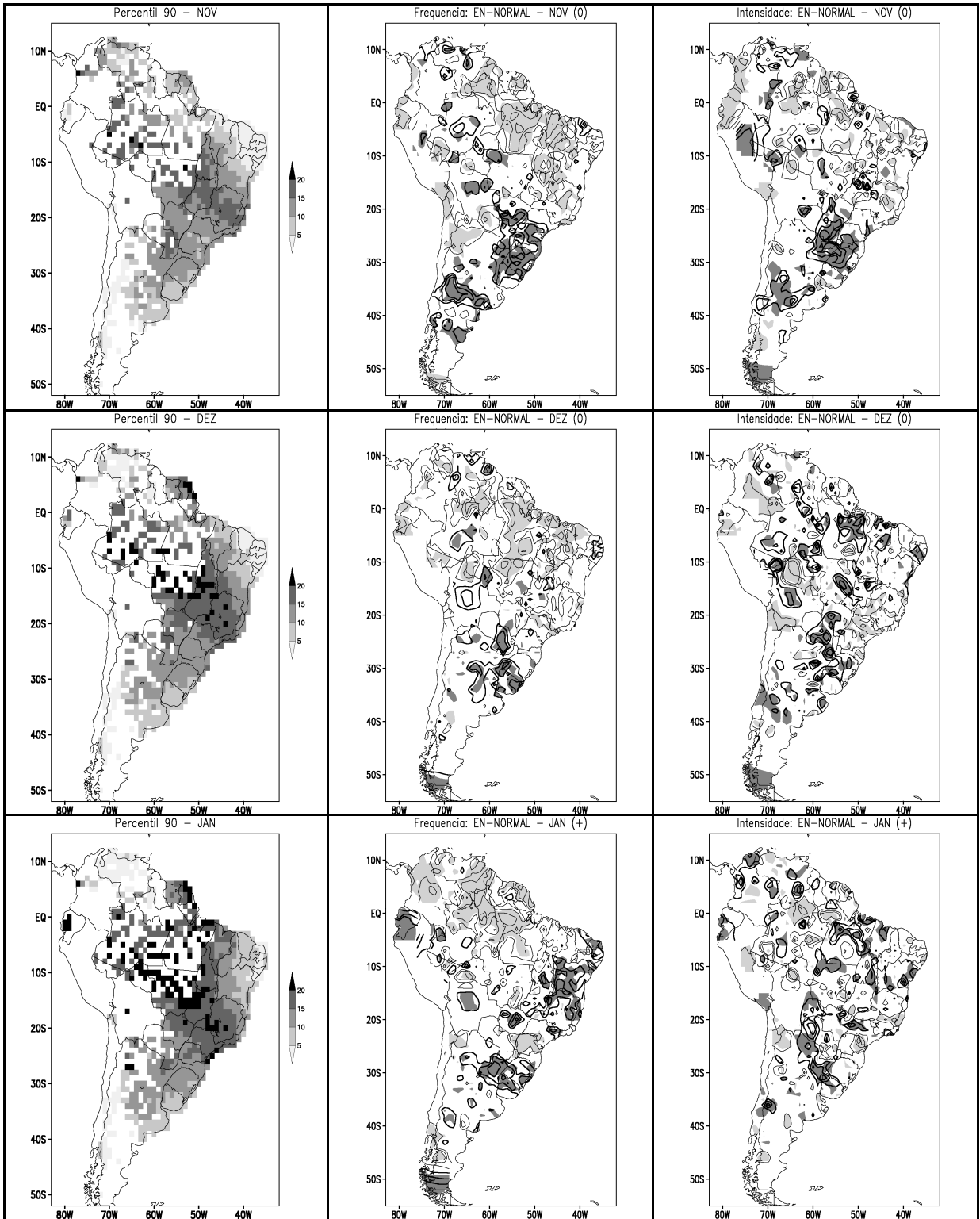
3.2.4. Junho (+) e julho (+)

Após nenhum sinal em junho (+) no Sul do Brasil, os eventos extremos são novamente mais numerosos e intensos durante julho (+) de episódios EM, em comparação com anos normais. Nenhum sinal simétrico ocorre durante episódios LN, provavelmente porque são de duração menor. O único sinal em julho (+) de LN tem pouca importância prática, porque ocorre numa região com estação seca.

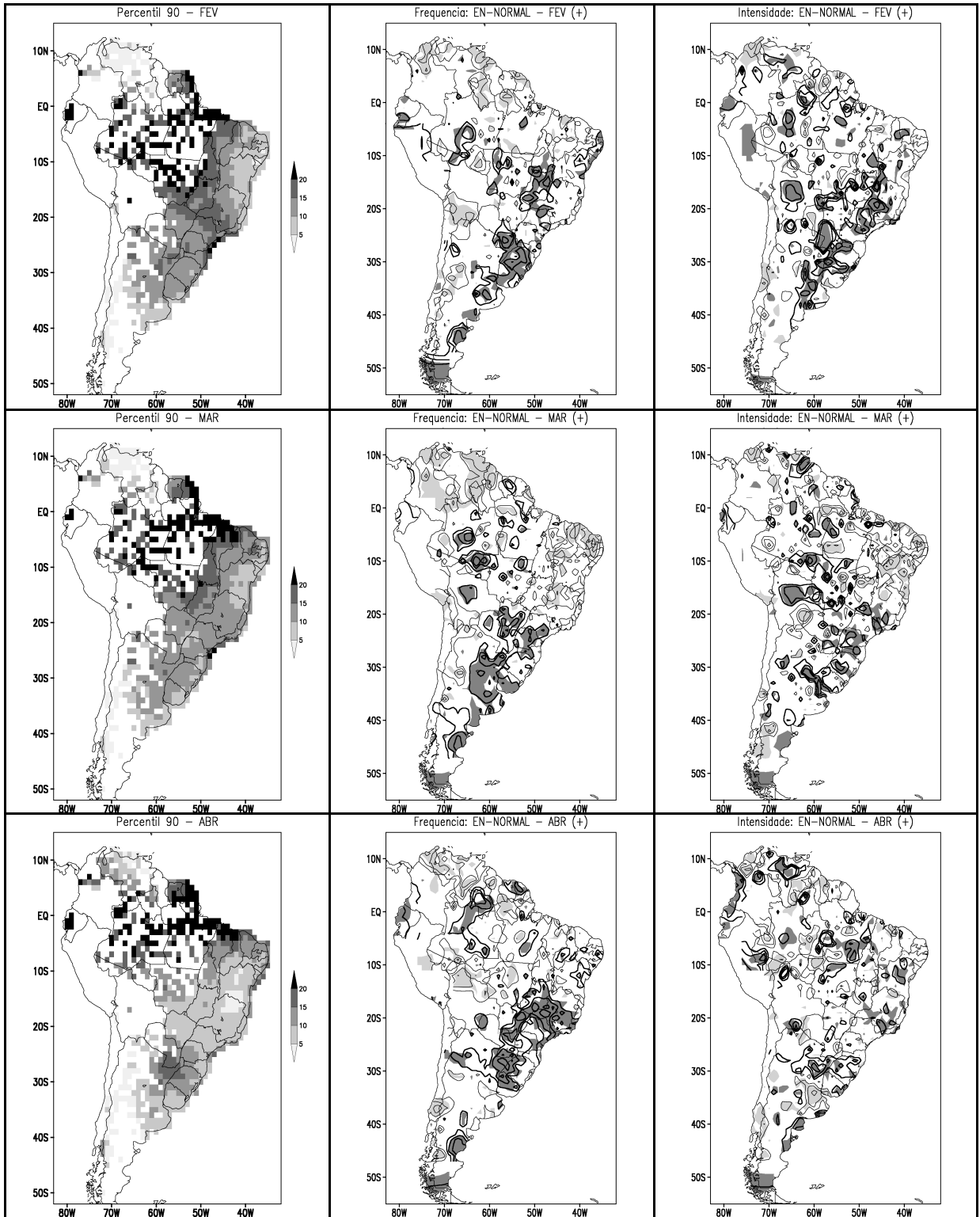
Há algumas características das diferenças LN-Normais (no Sul do Brasil durante a primavera, na Amazônia durante a primavera/verão, no centro do Brasil na primavera e no pico do verão, no nordeste do Brasil no outono) que são quase o oposto do padrão, mas geralmente mais fortes do que as diferenças EN-Normais. Também a resposta mais forte a episódios LN parece acontecer um pouco mais cedo no ciclo de ENOS do que a resposta mais forte a episódios EN, com exceção do Nordeste do Brasil. De maneira geral, com exceção do Sul do Brasil, a resposta a EN não é tão consistente quanto a resposta a LN. A falta da simetria ou as não-linearidades na resposta às fases opostas de ENOS foi encontrada também por Hoerling, Kumar e Zhong (1997), Livezey et al. (1997), Gershunov e Barnett (1998), e Cayan, Redmond e Riddle (1999), para América do Norte. Na América do Sul, os exemplos principais são os impactos de EN e LN relacionados com o aumento de eventos extremos durante os estágios mais adiantados dos episódios no Sul do Brasil, além das diferenças na intensidade e do sincronismo dos outros impactos.



continua



continua



continua

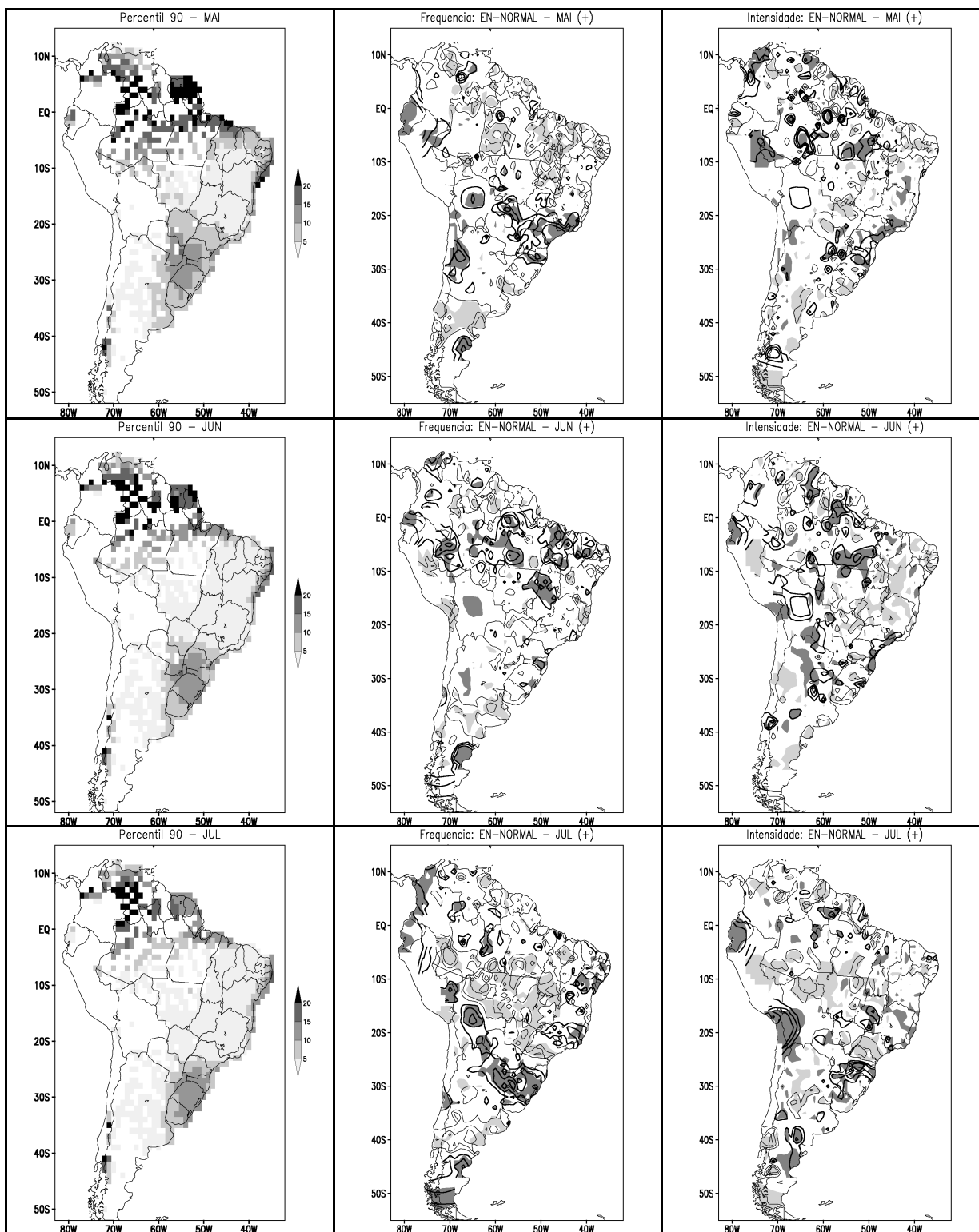
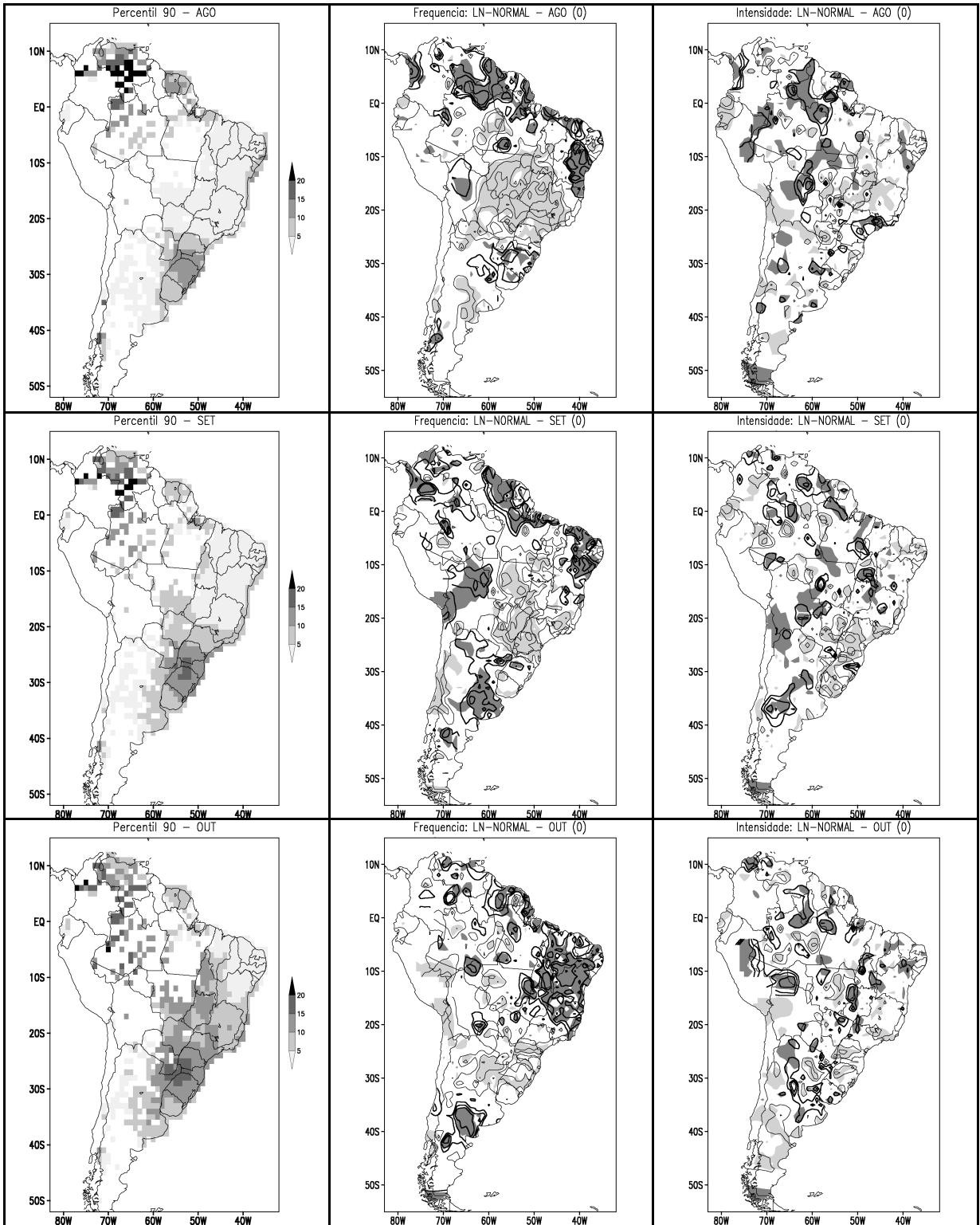
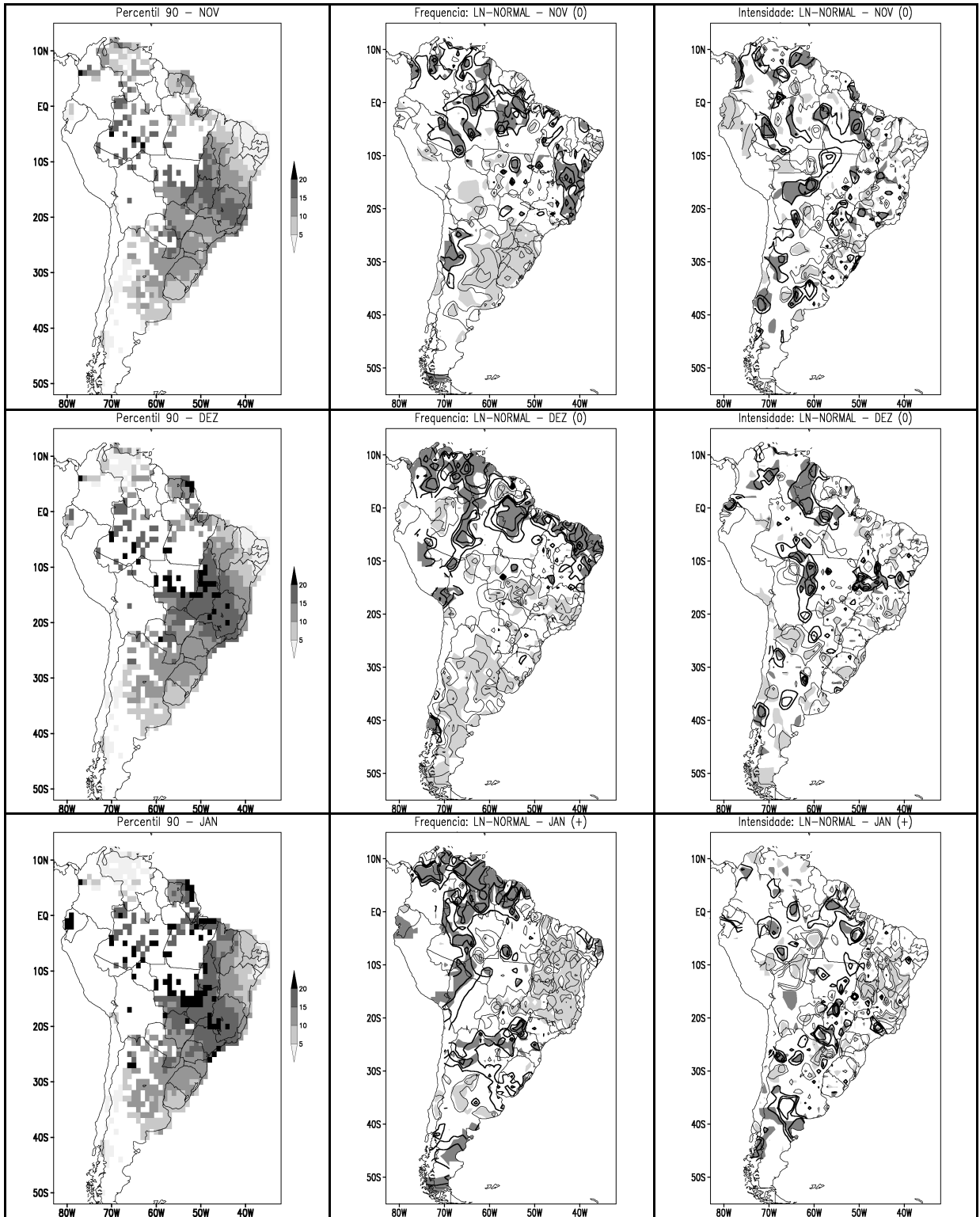


FIGURA 3.1 – MAPAS PARA EL NIÑO. COLUNA DA ESQUERDA: VALOR DA PRECIPITAÇÃO REFERENTE AO PERCENTIL 90 EM CADA MÊS. COLUNA DO MEIO: DIFERENÇA NA FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS ENTRE ANOS EN E ANOS NORMAIS. COLUNA DA DIREITA: DIFERENÇA NA INTENSIDADE DE EVENTOS EXTREMOS ENTRE ANOS EN E ANOS NORMAIS.

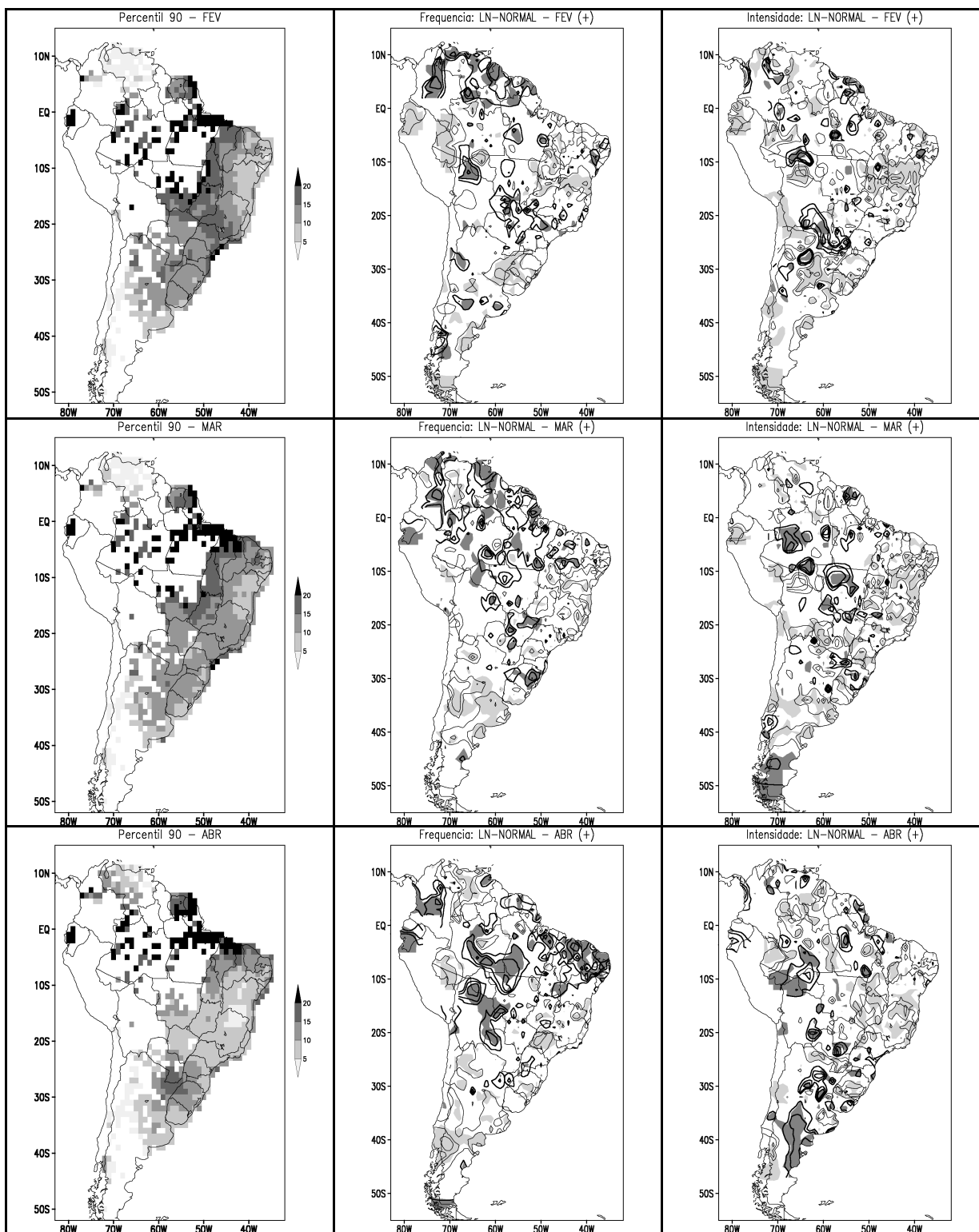
Esquerda: valor da precipitação referente ao percentil 90 em cada mês. Centro: diferença entre números de eventos extremos de precipitação em anos EN e normais. O intervalo entre as isolinhas é 1 evento extremo. Direita: Diferença entre intensidade média de eventos extremos em anos EN e normais. O intervalo entre isolinhas é 2 mm/dia. Diferenças positivas (negativas) consistentes com nível de confiança acima de 90% estão sombreadas em escuro (claro).



continua



continua



continua

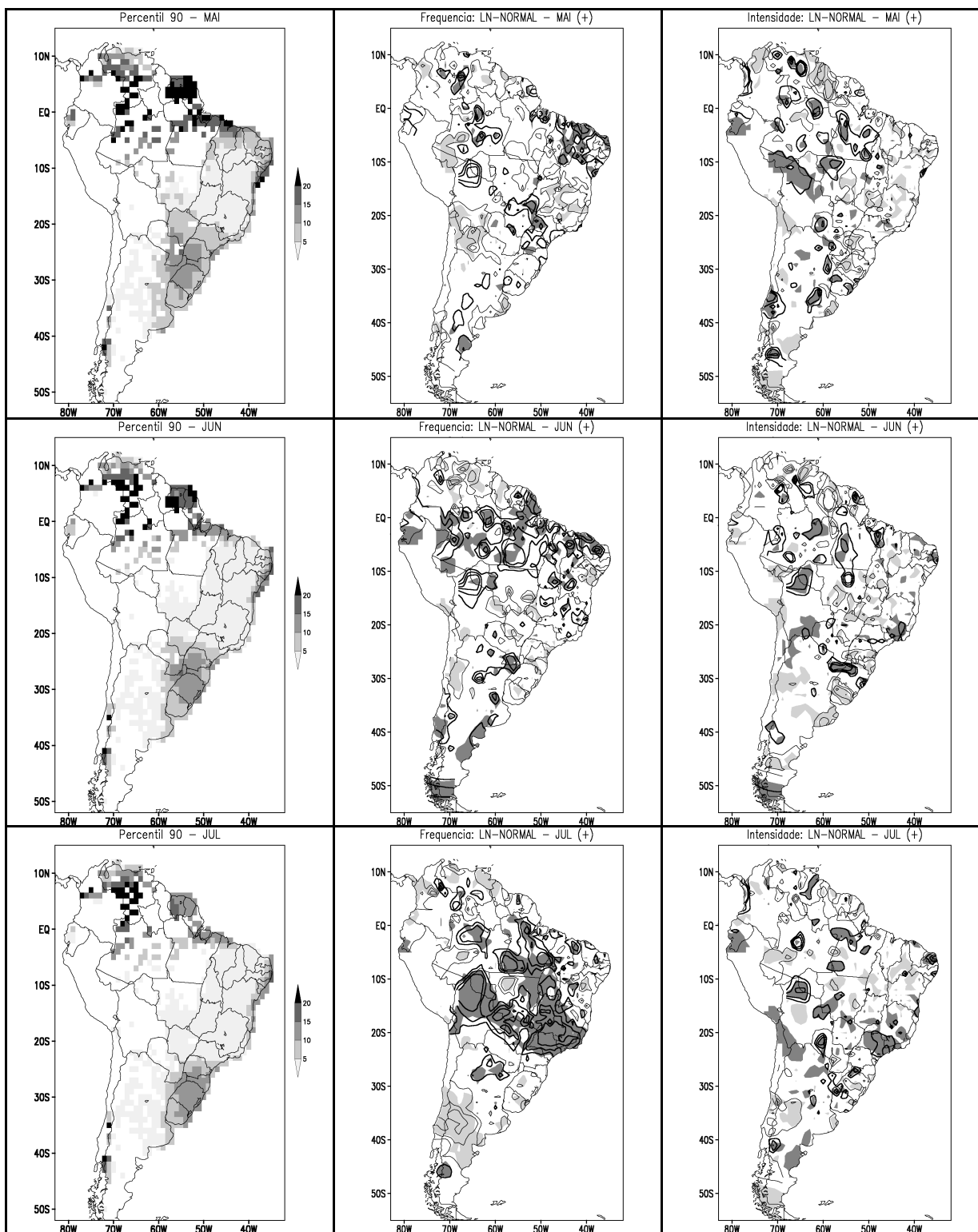


FIGURA 3.2 - MAPAS PARA LA NIÑA. COLUNA DA ESQUERDA: VALOR DA PRECIPITAÇÃO REFERENTE AO PERCENTIL 90 EM CADA MÊS. COLUNA DO MEIO: DIFERENÇA NA FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS ENTRE ANOS LN E ANOS NORMAIS. COLUNA DA DIREITA: DIFERENÇA NA INTENSIDADE DE EVENTOS EXTREMOS ENTRE ANOS LN E ANOS NORMAIS.

Esquerda: valor da precipitação referente ao percentil 90 em cada mês. Centro: diferença entre números de eventos extremos de precipitação em anos LN e normais. O intervalo entre as isolinhas é 1 evento extremo. Direita: Diferença entre intensidade média de eventos extremos em anos LN e normais. O intervalo entre isolinhas é 2 mm/dia. Diferenças positivas (negativas) consistentes com nível de confiança acima de 90% estão sombreadas em escuro (claro).

3.3. INFLUÊNCIA DO USO DE DADOS DE ESTAÇÃO OU DE DADOS EM GRADE

Os dados de grade são calculados fazendo uma média dos dados das estações que estão em cada quadrícula de 1° de latitude por 1° de longitude. Esses dados fornecem uma melhor cobertura espacial e uma maior série temporal, mas podem introduzir incertezas e suavizar a série temporal dos dados diários em relação à série de cada estação.

Os resultados da diferença da frequência de eventos extremos de chuva entre anos EN e normais e anos LN e normais para os dados de quadrículas foram apresentados na seção anterior. As Fig. 3.3 e 3.4 mostram os resultados correspondentes para dados de estação. A cobertura espacial das Fig. 3.3 e 3.4 é diferente das Fig. 3.1 e 3.2 (coluna do meio). As figuras da seção anterior incluem dados no norte da América do Sul, pois foram adicionados os dados compilados por Liebmann e Allured (2005) aos dados de quadrículas, e algumas quadrículas foram incluídas devido às contribuições de diferentes estações em diferentes tempos. Isso significa que algumas estações não entraram no mapa de estações, pois possuíam menos de 6 EN ou 5 LN, mas ao se fazer a média na quadrícula, os dados destas estações foram somados a série média passou a cumprir os requisitos para o estudo.

Os resultados dos dados de estação são qualitativamente iguais aos dados de quadrículas e as regiões significativas são as mesmas só que menos extensas. É mais fácil obter sinais consistentes em quadrículas do que em estações, pois as diferenças nos impactos de episódios distintos de EN (LN) em uma única estação podem desaparecer ao se fazer a média com outras estações, assim como as características dominantes são realçadas nessa média.

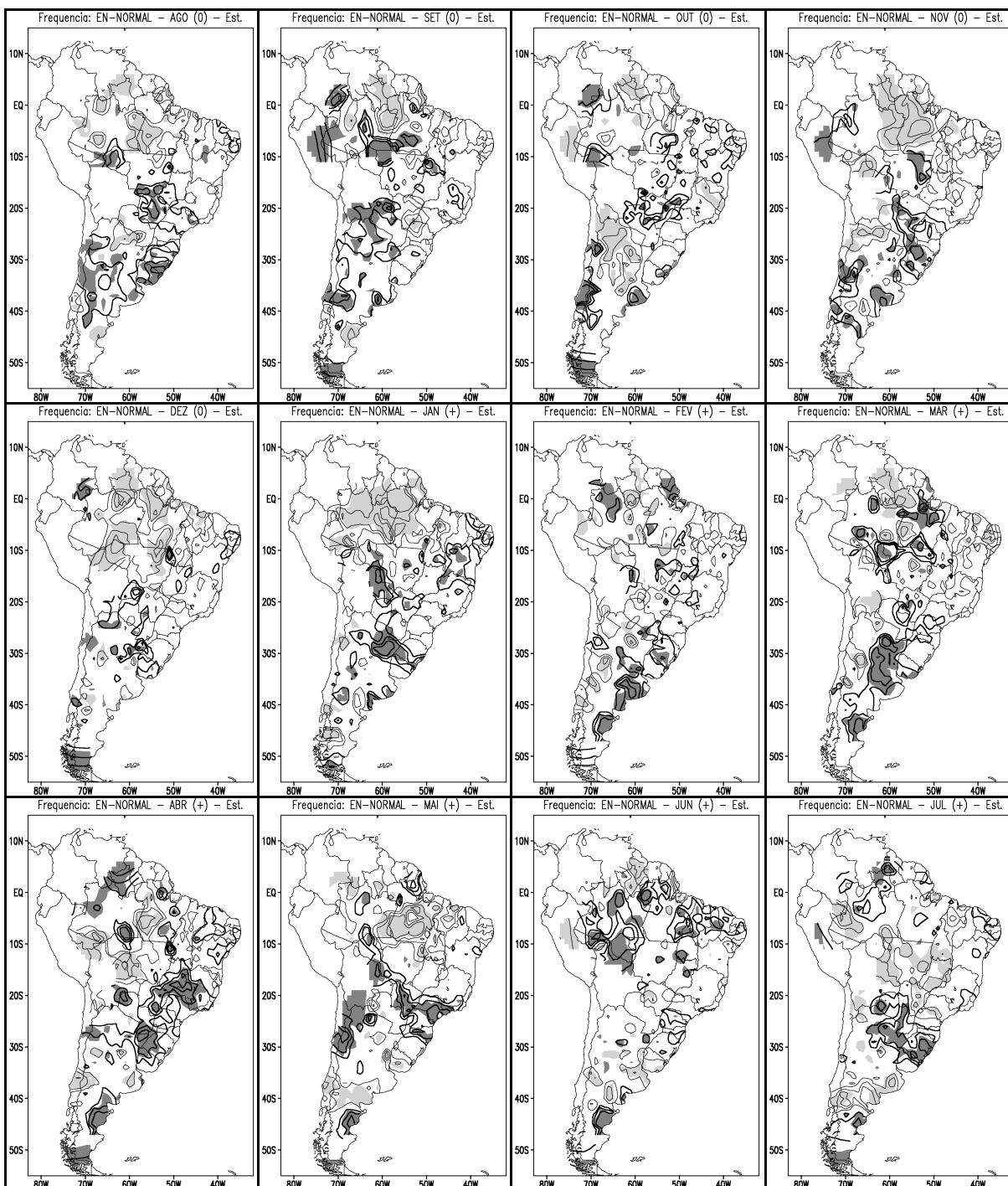


FIGURA 3.3 – DIFERENÇA NA FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS ENTRE ANOS EN E ANOS NORMAIS, CALCULADA COM DADOS DE ESTAÇÃO.

Diferença entre números de eventos extremos de precipitação em anos EN e normais. O intervalo entre as isolinhas é 1 evento extremo. Diferenças positivas (negativas) consistentes com nível de confiança acima de 90% estão sombreadas em escuro (claro).

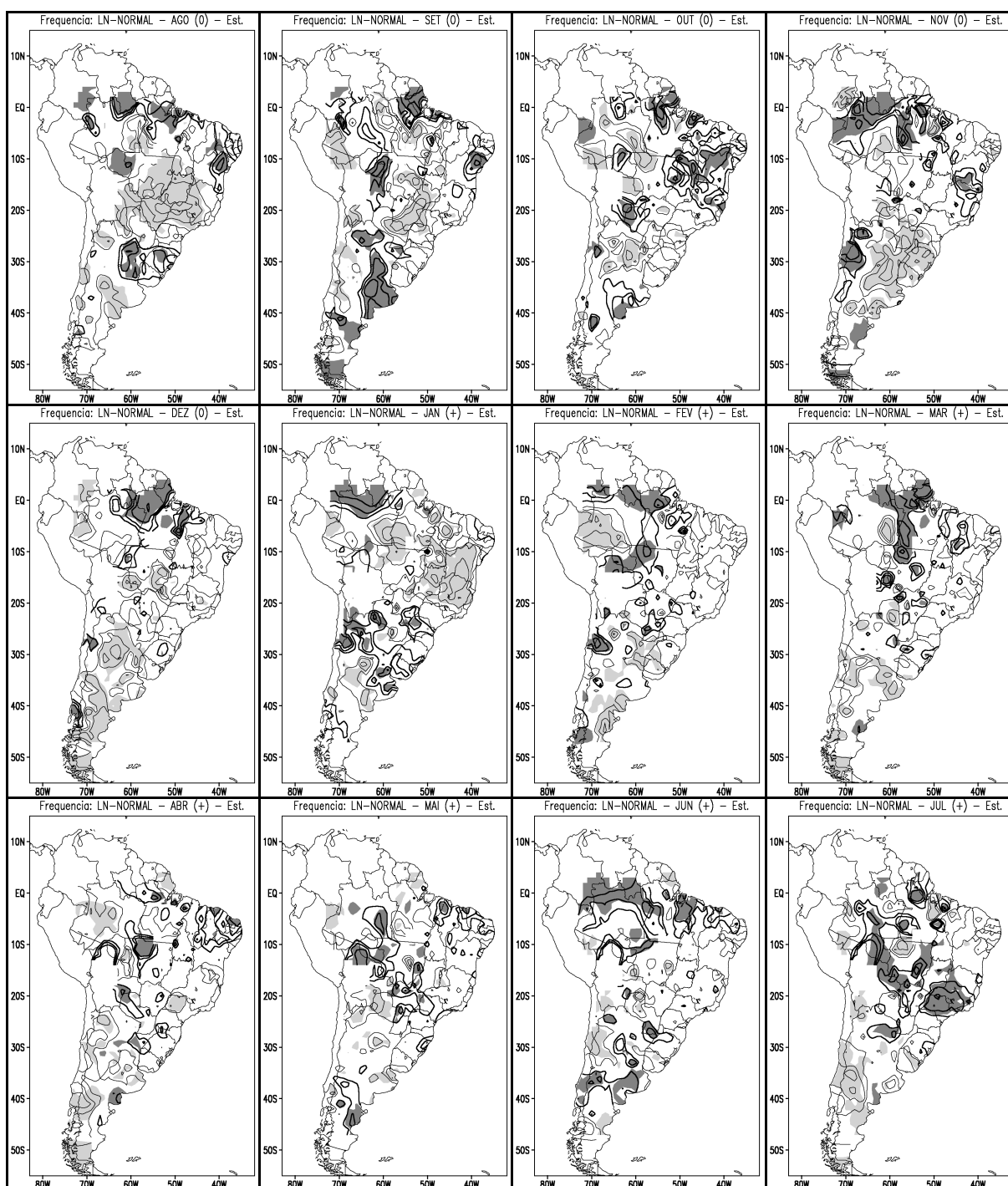


FIGURA 3.4 – DIFERENÇA NA FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS ENTRE ANOS LN E ANOS NORMAIS, CALCULADA COM DADOS DE ESTAÇÃO.

Diferença entre números de eventos extremos de precipitação em anos LN e normais. O intervalo entre as isolinhas é 1 evento extremo. Diferenças positivas (negativas) consistentes com nível de confiança acima de 90% estão sombreadas em escuro (claro).

4. VARIAÇÕES NAS DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIAS DE PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS E DE EVENTOS EXTREMOS

Para estudo das mudanças nas distribuições de frequência para chuvas diárias e eventos extremos em anos EN e LN em relação a anos normais, escolheram-se seis quadrículas nas quais houve significativa alteração na frequência de eventos extremos (essas quadrículas são as que possuem os menores valores de significância dentro da área de estudo para EN e LN), indicadas pelos resultados do capítulo anterior. As localizações destas quadrículas estão indicadas na Fig. 4.1. Foram escolhidas uma quadrícula para estudo das precipitações em janeiro (+), três para as precipitações em novembro (0) e duas para as precipitações em abril (+).

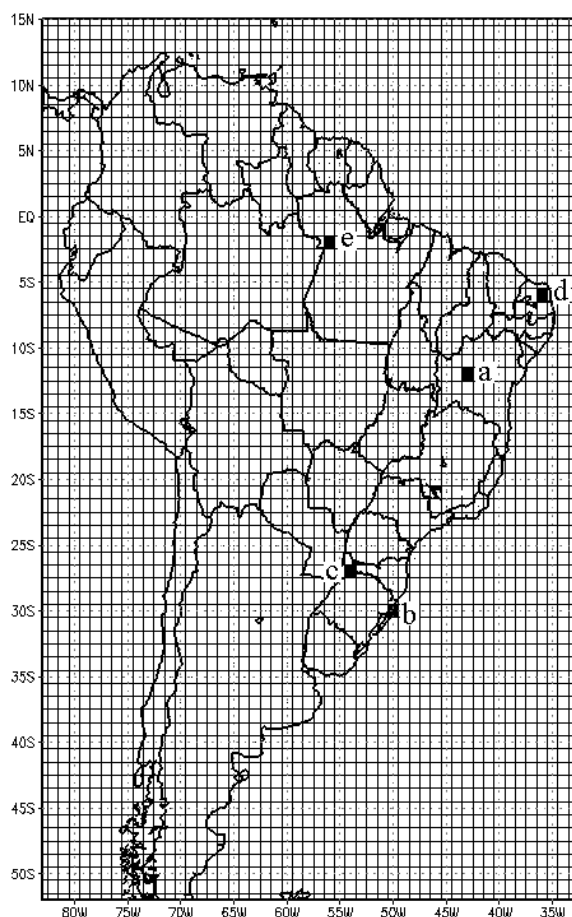


FIGURA 4.1 – QUADRÍCULAS DE ANÁLISE DAS CHUVAS PARA ANOS EN, LN E NORMAIS EM (a) JANEIRO E NOVENBRO, (b) E (c) NOVENBRO, (d) E (e) ABRIL

Foram escolhidas três estações, que estão dentro das quadrículas a, c, e da Fig. 4.1 (as estações escolhidas, são as que possuem menores valores de

significância para EN e LN) para fazer a comparação de resultados entre quadrículas e estações.

Para cada região foram geradas as distribuições da chuva diária (excluindo os zeros) contando o número de ocorrências em cada classe de chuva em cada categoria de ano e dividindo pelo número total de dias naquela categoria (EN, LN e normal). O que equivale ponderar pela fração de dias chuvosos em cada categoria de ano as frações obtidas dividindo-se o número de ocorrências em cada classe apenas pelo número total de dias de chuva em cada categoria de ano. A área sob cada curva é igual a essa fração de dias chuvosos. Por exemplo, se no Sul do Brasil choveu 60% dos dias de novembro de anos EN e apenas 40% dos dias de anos LN, as frações dos dias de chuva em cada classe para anos EN e LN serão multiplicadas por estas frações, respectivamente. Esta forma “ajustada” permite mostrar a influência de EN e LN tanto sobre a distribuição de chuvas diárias como sobre a frequência de chuva e separa melhor as distribuições para anos de categorias diferentes (ver painéis (a) das figuras deste capítulo). Foi também calculado o histograma das diferenças entre as distribuições para anos EN e normais e anos LN e normais, para melhor visualização das diferenças (ver painéis (b) das figuras deste capítulo).

Para as distribuições da intensidade de eventos extremos, calculou-se o número de ocorrências de cada classe em cada categoria de ano e dividiu-se pelo número total de dias em cada categoria, obtendo-se assim gráficos que mostram não só o histograma de cada categoria, mas também uma ponderação entre eles, como descrito acima (ver painéis (d) das figuras deste capítulo). Aqui também foi calculada a diferença entre os histogramas para anos EN e normais e anos LN e normais (ver painéis (e) das figuras deste capítulo).

As formas gerais das distribuições empíricas de frequência da chuva diária e da precipitação associada aos eventos extremos (média móvel de três dias), mostradas nos histogramas, indicam que as distribuições teóricas Gama e Gumbel, respectivamente, podem representar razoavelmente as distribuições observadas (ver painéis (c) e (f) das figuras deste capítulo).

4.1. JANEIRO – CENTRO-LESTE DO BRASIL

4.1.1. Estudo para quadrícula

As distribuições observadas, sua diferença e as distribuições teóricas (Gama) da chuva diária (Fig. 4.2a, 4.2b, 4.2c) mostram que na região (a) do Centro-Leste, indicada na Fig. 4.1, os menores valores de precipitação diária de janeiro possuem maior frequência durante anos LN, seguidos dos anos normais. Os anos EN possuem uma frequência relativamente pequena de baixos valores de chuva diária. Por outro lado, chuvas diárias em anos EN são as que apresentam maiores frequências nos valores altos de precipitação, enquanto valores altos são menos frequentes em anos LN. Este resultado é consistente com as Fig. 3.1 e 3.2 (coluna do meio) que mostram, respectivamente, aumento e diminuição da frequência de eventos extremos durante janeiro (+) de anos EN e LN.

Para os eventos extremos, a curva Gumbel (Fig. 4.2f) apresenta os menores valores de chuva mais provável durante eventos extremos para anos LN, porém essa curva foi obtida através de somente sete eventos extremos. Contudo, este resultado é coerente com o da Fig. 3.2 para janeiro (+) (coluna da direita), que mostra diminuição consistente da intensidade de eventos extremos na região analisada durante episódios LN. Ao comparar a função Gumbel para anos EN com a de anos normais, é possível perceber que as duas curvas tem o pico de máxima probabilidade quase na mesma quantidade de precipitação, mas a de anos EN é um pouco maior. Na Fig. 3.1 para janeiro (+) (coluna da direita) é possível perceber que anos EN possui eventos extremos com maior intensidade que os normais, mas não de forma muito consistente. Nota-se que as curvas teóricas para os anos EN e normais são mais parecidas com as curvas observadas, pois estas foram obtidas com mais casos extremos.

Na Fig. 4.2f a probabilidade de ocorrência de eventos extremos com menos de 8 mm/dia é muito pequena, o valor mais provável em anos normais é 15 mm/dia, porém em anos EN a precipitação pode ser maior que 34 mm/dia. Note-se que os valores apresentados para chuva durante eventos extremos não são a chuva num dia, mas uma média móvel de 3 dias, o que representa um impacto maior.

Os valores do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) mostram que os histogramas de chuva durante anos EN e LN vieram de distribuições diferentes da

extraída dos anos normais, pois o valor da equação 2.2.1 é sempre maior que o da 2.2.2 (Tabela 4.2). O mesmo não ocorre para o teste das distribuições de eventos extremos, que mostra que apenas os regimes das intensidades de eventos extremos em EN e LN são diferentes entre si, porém são relativamente próximos aos ocorridos em anos normais.

TABELA 4.1 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A QUADRÍCULA DO CENTRO-LESTE DO BRASIL, EM JANEIRO.

	GAMA		GUMBEL	
	a	b	x	b
El Niño	$a = 0,58$	$b = 12,69$	$x = 14,19$	$b = 4,52$
La Niña	$a = 0,58$	$b = 6,06$	$x = 10,72$	$b = 2,18$
Normais	$a = 0,66$	$b = 8,90$	$x = 13,50$	$b = 3,69$

TABELA 4.2 –TESTE K-S PARA A QUADRÍCULA DO CENTRO-LESTE JANEIRO (+), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10

Fórmulas:	2.2.1	2.2.2	Fórmulas:	2.2.1	2.2.2
EN-NN (chuva)	0,14	0,09	EN-NN (extremos)	0,16	0,19
LN-NN (chuva)	0,16	0,10	LN-NN (extremos)	0,44	0,48
EN-LN (chuva)	0,28	0,12	EN-LN (extremos)	0,58	0,49

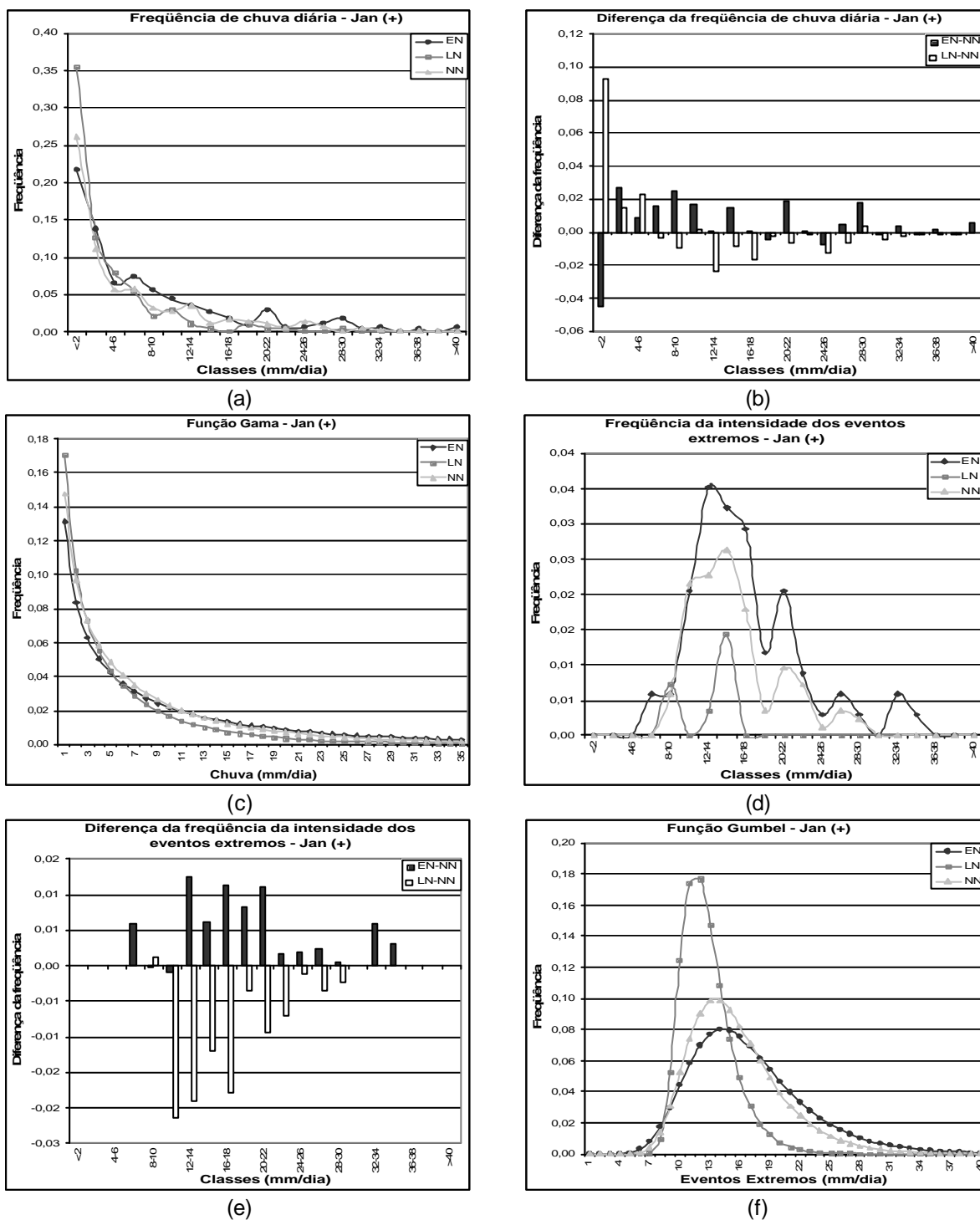


FIGURA 4.2 – QUADRÍCULA NO CENTRO-LESTE, JAN(+): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS.

4.1.2. Estudo para estação

A Fig. 4.3 mostra as distribuições de chuva diária e intensidade de eventos extremos para uma estação no Centro-Leste do Brasil, dentro da quadrícula (a) estudada no item anterior (Fig. 4.1), durante janeiro.

As distribuições de chuva diária mostram predominância de aumento (diminuição) de chuvas durante episódios EN (LN) em relação aos anos normais em quase todas as classes. No estudo de quadrícula as chuvas mais leves tiveram aumento de ocorrência durante episódios LN, o que reflete o comportamento da maioria das estações na quadrícula (não mostrado), pois a quadrícula é uma média de todas as estações que estão dentro dela. O comportamento da chuva média da quadrícula não é igual ao de cada estação, mas reflete o comportamento dominante. No caso dos altos valores de precipitação, percebe-se que os anos EN são os que possuem a maior frequência de ocorrência, visível nas duas formas de estudo, deixando claro que os eventos extremos aumentam durante os anos de EN nessa região. É possível notar que os valores de precipitação na estação são maiores que os da quadrícula, pois na Fig. 4.2a os valores alcançam precipitações em torno de 40mm/dia, já no caso da estação (Fig. 4.3a) elas chegam a 100mm/dia.

As Fig. 4.3d, e, f mostram a distribuição dos eventos extremos e sua comparação com os anos normais. A Fig. 4.3e mostra que há uma diminuição da intensidade dos eventos extremos durante LN em relação aos anos normais, enquanto há um aumento durante EN também em relação aos normais. Nota-se que o pico de ocorrência da intensidade de eventos extremos ocorre próximo à 16 mm/dia, não sendo mais baixo que 4,5 mm/dia mas alcançando valores acima de 45 mm/dia. É importante lembrar que os valores dessas intensidades são baseados numa média móvel de três dias.

A tabela 4.4 mostra os valores obtidos através do teste K-S. Eles indicam que, para esta estação, as distribuições não são significativamente diferentes, o que não ocorre para todas as outras estações na quadrícula.

TABELA 4.3 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A ESTAÇÃO DO CENTRO-LESTE DO BRASIL, EM JANEIRO.

	GAMA		GUMBEL	
	El Niño	$a = 0,22$	$b = 95,60$	$x = 15,97$
La Niña	$a = 0,34$	$b = 54,98$	$x = 16,17$	$b = 5,65$
Normais	$a = 0,31$	$b = 63,02$	$x = 16,54$	$b = 7,59$

TABELA 4.4 – TESTE K-S PARA A ESTAÇÃO DO CENTRO-LESTE, JANEIRO (+), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10.

Fórmulas:	2.2.1	2.2.2	Fórmulas:	2.2.1	2.2.2
EN-NN (chuva)	0,17	0,19	EN-NN (extremos)	0,16	0,24
LN-NN (chuva)	0,15	0,27	LN-NN (extremos)	0,20	0,42
EN-LN (chuva)	0,16	0,29	EN-LN (extremos)	0,22	0,43

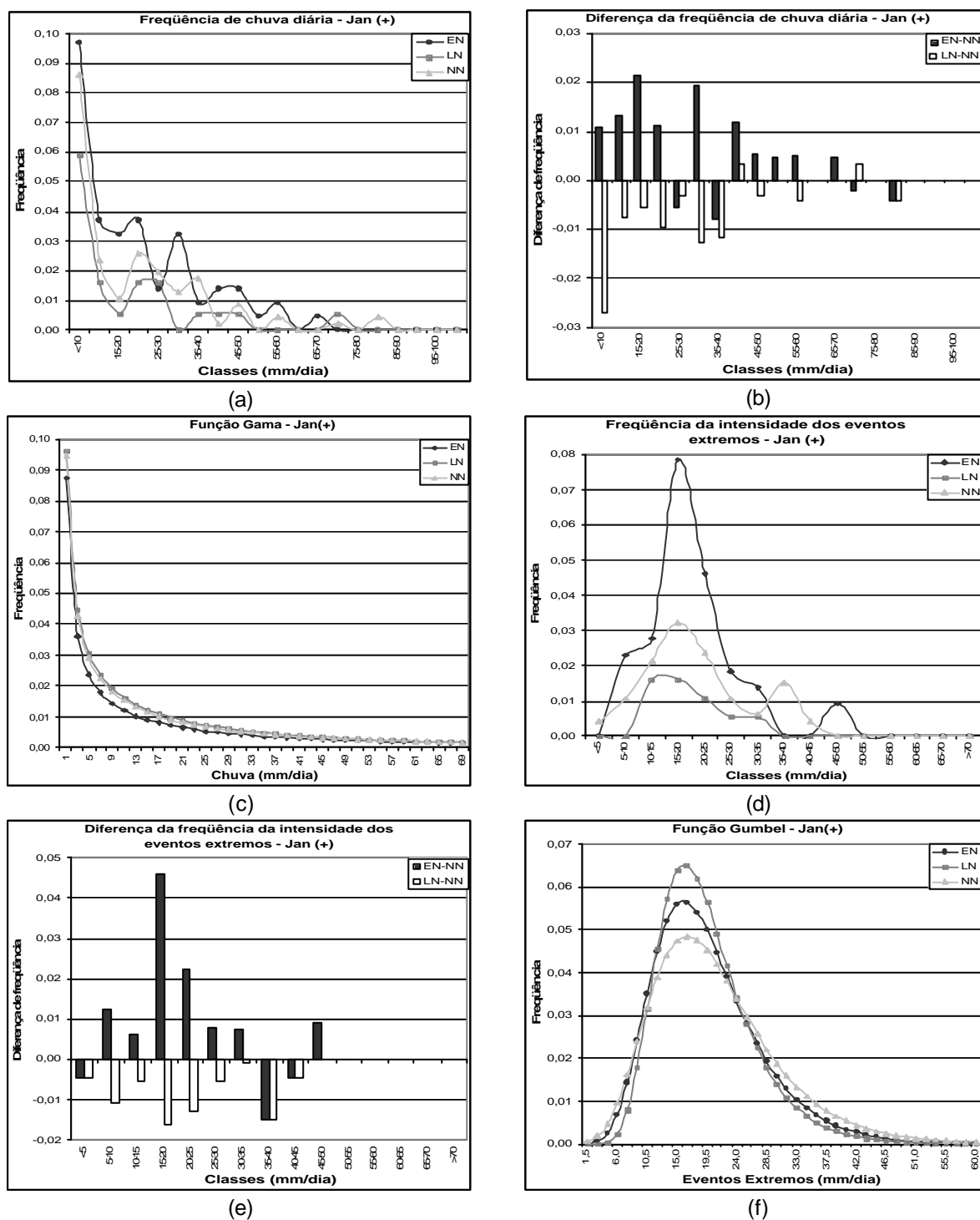


FIGURA 4.3 – ESTAÇÃO NO CENTRO-LESTE, JAN(+): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS.

4.2. NOVEMBRO – CENTRO-LESTE DO BRASIL

A Fig. 4.4 apresenta os mesmos gráficos da Fig. 4.2, para a mesma região, porém para o mês de novembro.

Com exceção das classes de precipitação extremamente alta (em que tanto em EN como em LN não houve ocorrência), há predomínio de aumento de frequência em todo o intervalo de classes durante episódios LN e diminuição da frequência de valores mais altos durante episódios EN. Ambas as características combinam com os resultados das Fig. 3.1 e 3.2. A Fig. 4.4f mostra que os anos LN são os que possuem menores valores de precipitação durante eventos extremos, mas a diferença é pequena em relação às outras categorias. Também é possível notar que a intensidade dos eventos extremos é maior durante anos normais do que durante EN e LN, e é por isso que ao analisar o mapa de intensidade (3ª coluna, Fig. 3.1 e 3.2) é possível perceber uma diminuição da intensidade.

A tabela 4.6 mostra que o teste K-S não indica diferença significativa entre as distribuições de diferentes categorias de anos.

TABELA 4.5 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A QUADRÍCULA DO CENTRO-LESTE DO BRASIL, EM NOVEMBRO.

	GAMA		GUMBEL	
	a	b	x	b
El Niño	0,53	10,57	14,49	3,53
La Niña	0,66	9,78	13,77	3,15
Normais	0,70	9,20	14,77	5,23

TABELA 4.6 – TESTE K-S PARA A QUADRÍCULA DO CENTRO-LESTE, NOVEMBRO (0), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10.

Fórmulas:	2.2.1	2.2.2	Fórmulas:	2.2.1	2.2.2
EN-NN (chuva)	0,06	0,10	EN-NN (extremos)	0,17	0,31
LN-NN (chuva)	0,06	0,10	LN-NN (extremos)	0,16	0,22
EN-LN (chuva)	0,08	0,12	EN-LN (extremos)	0,24	0,33

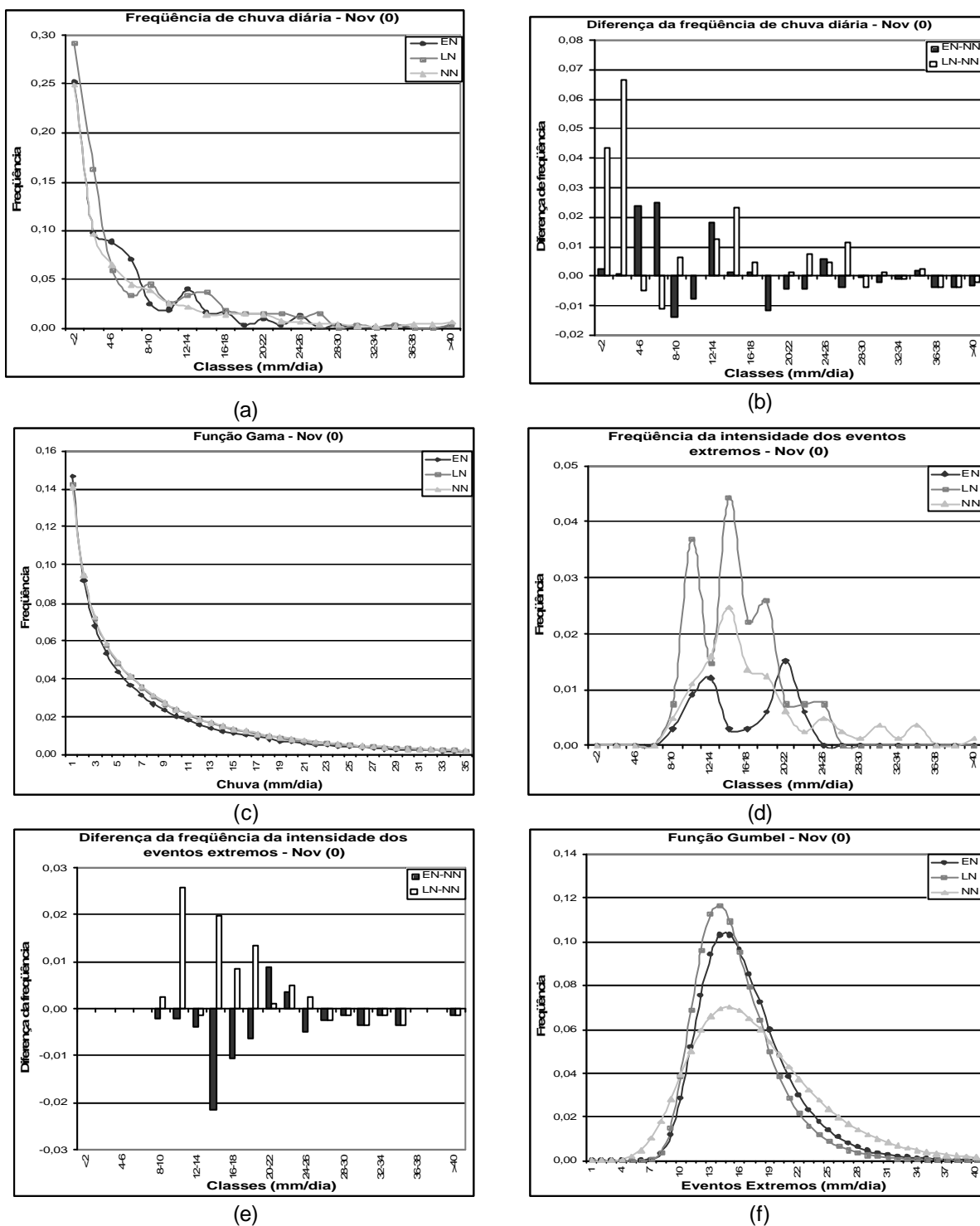


FIGURA 4.4 – QUADRÍCULA NO CENTRO-LESTE, NOV(0): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS.

4.3. NOVEMBRO – LESTE DO SUL DO BRASIL

A Fig. 4.5 apresenta os resultados para a quadrícula (b) no leste da Região Sul (Fig. 4.1) em novembro (0). Esta quadrícula apresenta um comportamento peculiar. Embora durante episódios EN haja aumento de ocorrência de precipitação na maior parte das classes, há diminuição nas classes mais extremas (Fig. 4.5b). Já durante episódios LN, a chuva nas classes mais baixas aumenta, nas intermediárias diminui e na mais extrema aumenta novamente. Como os eventos extremos são definidos acima do percentil 90, aparece aumento resultante significativo na frequência de eventos extremos em EN (Fig. 3.1, centro), e diminuição em LN (Fig. 3.2, centro). O histograma de chuva durante eventos extremos (Fig. 4.5d) para anos LN possui valores muito esparsos e por isso a sua função densidade de probabilidade (Fig. 4.5f) pode não ser confiável. Contudo, ela mostra a maior probabilidade de ter eventos extremos muito fortes, o que é coerente com a maior intensidade média dos eventos extremos em LN (Fig. 3.2, à direita). Já nas curvas Gumbel para anos EN e normais (Fig. 4.5f) é possível perceber que os anos EN e normais possuem o valor mais provável de precipitação extrema aproximadamente igual, o que combina com o resultado da Fig. 3.1, à direita.

A possibilidade de ocorrer um evento extremo com precipitação (média móvel de 3 dias) menor que 8 mm/dia é muito pequena, porém a precipitação de um evento extremo pode ultrapassar 40 mm/dia, sendo que seu valor mais provável está em torno de 14 mm/dia.

Os valores do teste K-S na Tabela 4.8 mostram que a diferença mais forte nas distribuições, em relação aos anos normais, ocorre durante episódios LN. Diferença significativa não acontece na categoria EN.

TABELA 4.7 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A QUADRÍCULA DO LESTE DO SUL DO BRASIL, EM NOVEMBRO.

	GAMA		GUMBEL	
	El Niño	$a = 0,48$	$b = 19,28$	$x = 12,63$
La Niña	$a = 0,55$	$b = 11,68$	$x = 20,11$	$b = 9,07$
Normais	$a = 0,48$	$b = 17,27$	$x = 11,60$	$b = 3,95$

TABELA 4.8 – TESTE K-S PARA A QUADRÍCULA DO LESTE DO SUL, NOVEMBRO (0), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10.

Fórmulas:	2.2.1	2.2.2	Fórmulas:	2.2.1	2.2.2
EN-NN (chuva)	0,09	0,11	EN-NN (extremos)	0,13	0,21
LN-NN (chuva)	0,17	0,13	LN-NN (extremos)	0,69	0,43
EN-LN (chuva)	0,23	0,15	EN-LN (extremos)	0,67	0,44

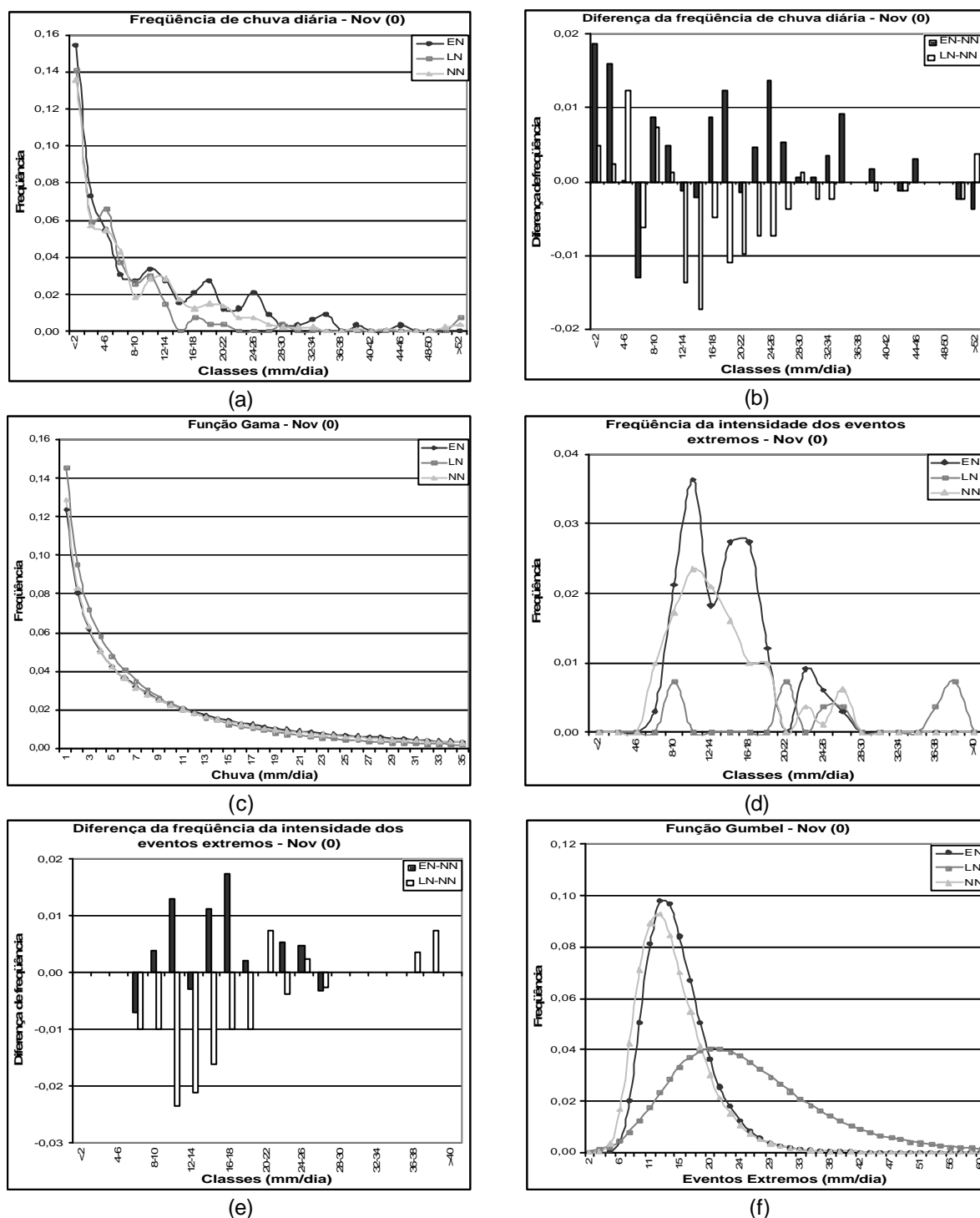


FIGURA 4.5 – QUADRÍCULA NO LESTE DO SUL, NOV(0): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS.

4.4. NOVEMBRO – OESTE DO SUL DO BRASIL

4.4.1. Estudo para quadrícula

Os resultados da Fig. 4.6 mostram que no oeste de Santa Catarina (quadrícula c da Fig. 4.1) as chuvas diárias em novembro (0) de anos EN tem maior frequência de chuva em todas as classes, mas o aumento é maior em valores altos em relação a anos normais, o que é coerente com a Fig. 3.1. Durante episódios LN a frequência de chuva diminui em todas as classes, mas proporcionalmente a diminuição é maior em classes de chuvas mais fortes, o que é coerente com a Fig. 3.2. Quanto aos eventos extremos, embora os valores mais prováveis sejam parecidos para as três categorias, os eventos extremos de grande intensidade têm muito mais probabilidade de ocorrer durante anos EN do que em LN e normais (Fig. 4.6d), o que é coerente com a intensidade média maior observada nesta categoria de anos (Fig. 3.1, coluna da direita). A Fig. 4.6f mostra que a frequência máxima para todas as categorias fica em torno de 18 mm/dia, porém em anos LN e normais precipitações muito fortes, acima de 45 mm/dia, praticamente não ocorrem, enquanto têm sido observadas em anos EN.

A distribuição de chuva diária nessa região sofre um impacto maior dos episódios LN que em EN, o que é comprovado com a análise dos valores do teste K-S (Tabela 4.10). Já para a distribuição de eventos extremos não há impacto significativo em ambas as categorias.

TABELA 4.9 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A QUADRÍCULA DO OESTE DO SUL DO BRASIL, EM NOVEMBRO.

	GAMA		GUMBEL	
	a	b	x	b
El Niño	0,56	19,17	14,78	8,23
La Niña	0,45	14,18	14,98	4,91
Normais	0,61	14,59	13,98	5,56

TABELA 4.10 – TESTE K-S PARA A QUADRÍCULA DO OESTE DO SUL, NOVEMBRO (0), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10.

Fórmulas:	2.2.1	2.2.2	Fórmulas:	2.2.1	2.2.2
EN-NN (chuva)	0,08	0,11	EN-NN (extremos)	0,19	0,21
LN-NN (chuva)	0,19	0,13	LN-NN (extremos)	0,23	0,43
EN-LN (chuva)	0,22	0,15	EN-LN (extremos)	0,22	0,44

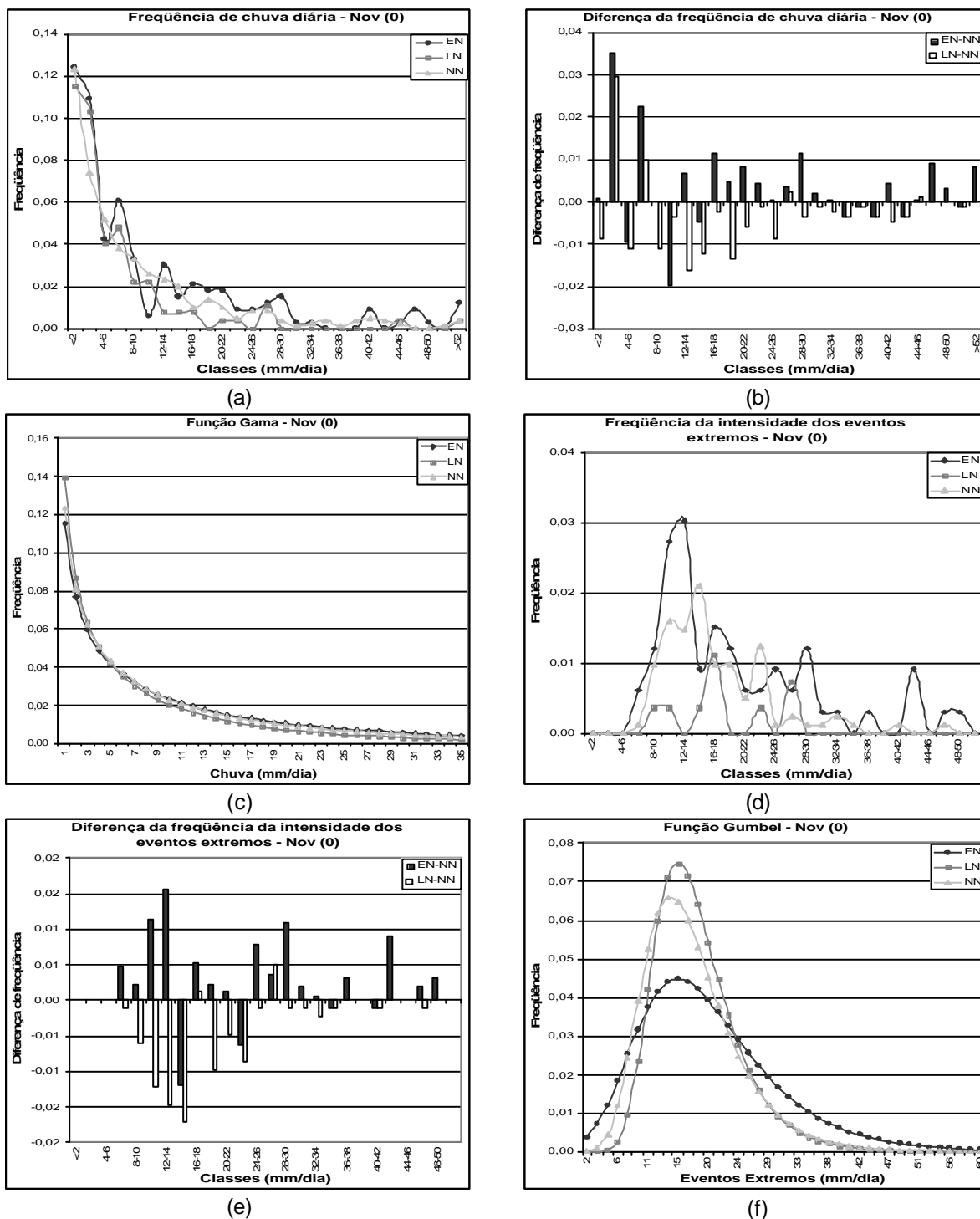


FIGURA 4.6 – QUADRÍCULA NO OESTE DO SUL, NOV(0): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS.

4.4.2. Estudo para estação

Os resultados da Fig. 4.7 mostram que na estação de estudo localizada dentro da quadrícula (c) no oeste do Sul do Brasil (Fig. 4.1), os anos EN apresentam crescimento da freqüência tanto de precipitações leves como de precipitações fortes de chuva, mas que os valores altos tem crescimento proporcionalmente maior em relação a anos normais. Durante episódios LN, para os pequenos valores de precipitação predomina o aumento de freqüência, enquanto a ocorrência dos maiores tende a diminuir, embora não de maneira tão clara quanto na distribuição de chuva para a correspondente quadrícula (Fig. 4.6). A intensidade mais provável dos eventos extremos não é muito diferente para as três categorias (~19,0 mm/dia), porém em anos EN há freqüências maiores de altos valores de intensidade do que em LN e normais, deixando claro o aumento da intensidade durante anos EN. Apesar de algumas diferenças, as características gerais das distribuições para as diferentes categorias de anos são semelhantes para a quadrícula e para a estação estudada.

A tabela 4.12 indica que as chuvas diárias nos episódios EN e LN são diferentes dos anos normais, de acordo com o teste K-S, mostrando que a chuva sobre essa estação sofre um grande impacto desses episódios.

TABELA 4.11 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A ESTAÇÃO DO OESTE DO SUL DO BRASIL, EM NOVEMBRO.

	GAMA		GUMBEL	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>x</i>	<i>b</i>
El Niño	<i>a</i> = 0,25	<i>b</i> = 111,91	<i>x</i> = 17,62	<i>b</i> = 10,11
La Niña	<i>a</i> = 0,18	<i>b</i> = 125,35	<i>x</i> = 17,64	<i>b</i> = 5,90
Normais	<i>a</i> = 0,11	<i>b</i> = 242,05	<i>x</i> = 16,48	<i>b</i> = 8,95

TABELA 4.12 – TESTE K-S PARA A ESTAÇÃO DO OESTE DO SUL, NOVEMBRO (0), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10.

Fórmulas:	2.2.1	2.2.2	Fórmulas:	2.2.1	2.2.2
EN-NN (chuva)	0,24	0,22	EN-NN (extremos)	0,25	0,26
LN-NN (chuva)	0,29	0,26	LN-NN (extremos)	0,19	0,35
EN-LN (chuva)	0,20	0,28	EN-LN (extremos)	0,18	0,36

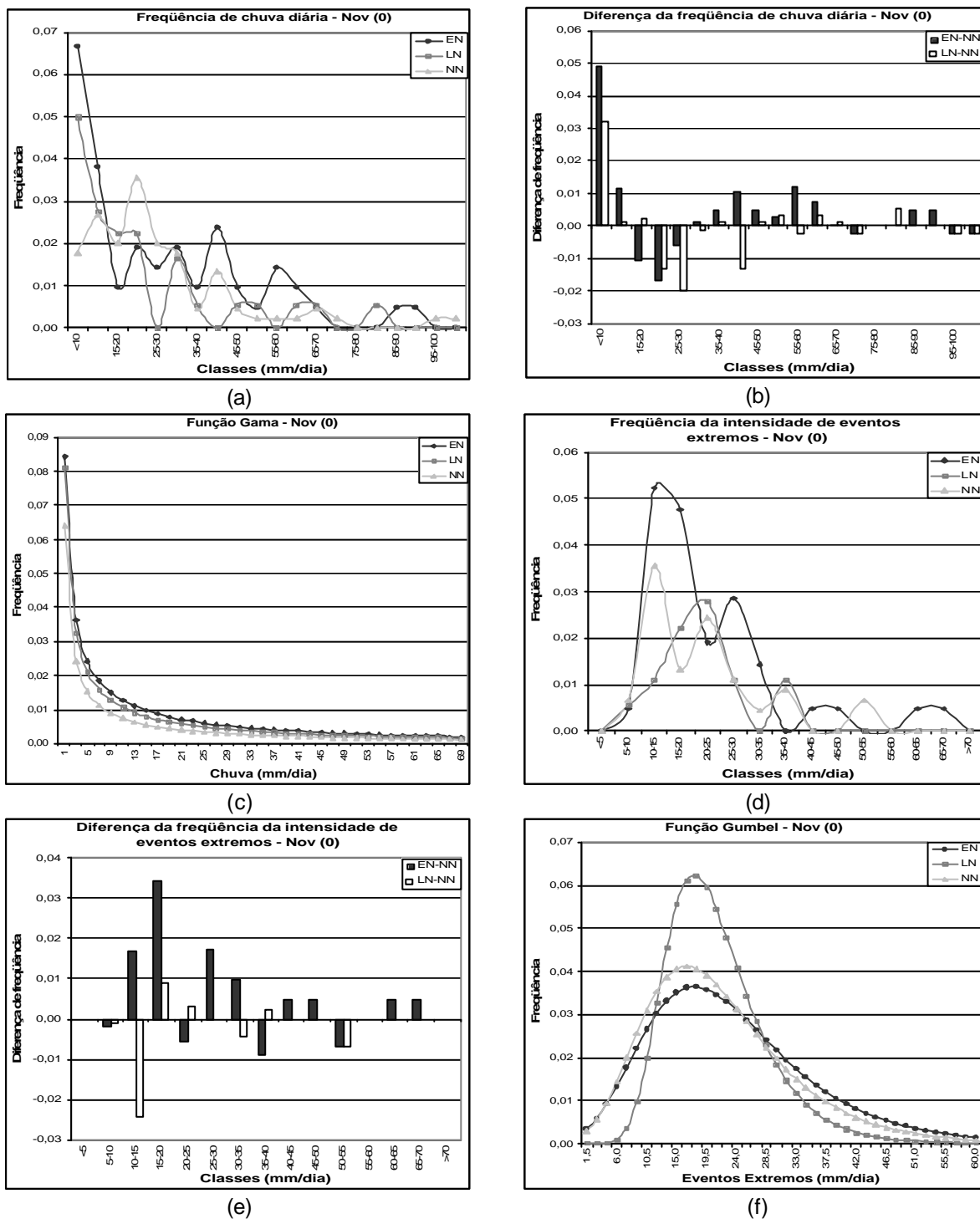


FIGURA 4.7 – ESTAÇÃO NO OESTE DO SUL, NOV(0): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS.

4.5. ABRIL – NORDESTE DO BRASIL

A Fig. 4.8 mostra a distribuição da chuva diária e dos eventos extremos na quadrícula (d) no Nordeste brasileiro (Fig. 4.1). Durante anos EN não há variações notáveis num determinado sentido, mas o aumento de chuvas mais fortes em relação aos anos normais é evidente em anos LN (Fig. 4.8a, b), o que é coerente com a Fig. 3.2 (centro).

A análise da distribuição de eventos extremos (Fig. 4.8d, e, f) mostra que as três categorias possuem valor mais provável em torno de 15mm/dia.

A tabela 4.14 mostra que o teste K-S indica que a distribuição de chuvas diárias em episódios LN é diferente de anos normais, e que as populações de anos EN e LN são diferentes. A distribuição de eventos extremos não tem diferença significativa nas três categorias de anos.

TABELA 4.13 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A QUADRÍCULA DO NORDESTE DO BRASIL, EM ABRIL.

	GAMA		GUMBEL	
	a	b	x	b
El Niño	0,45	10,71	11,96	5,20
La Niña	0,35	22,75	12,86	3,43
Normais	0,45	11,64	12,46	3,64

TABELA 4.14 –TESTE K-S PARA A QUADRÍCULA DO NORDESTE, ABRIL (+), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10.

Fórmulas:	2.2.1	2.2.2	Fórmulas:	2.2.1	2.2.2
EN-NN (chuva)	0,07	0,10	EN-NN (extremos)	0,20	0,31
LN-NN (chuva)	0,20	0,09	LN-NN (extremos)	0,15	0,21
EN-LN (chuva)	0,21	0,11	EN-LN (extremos)	0,22	0,31

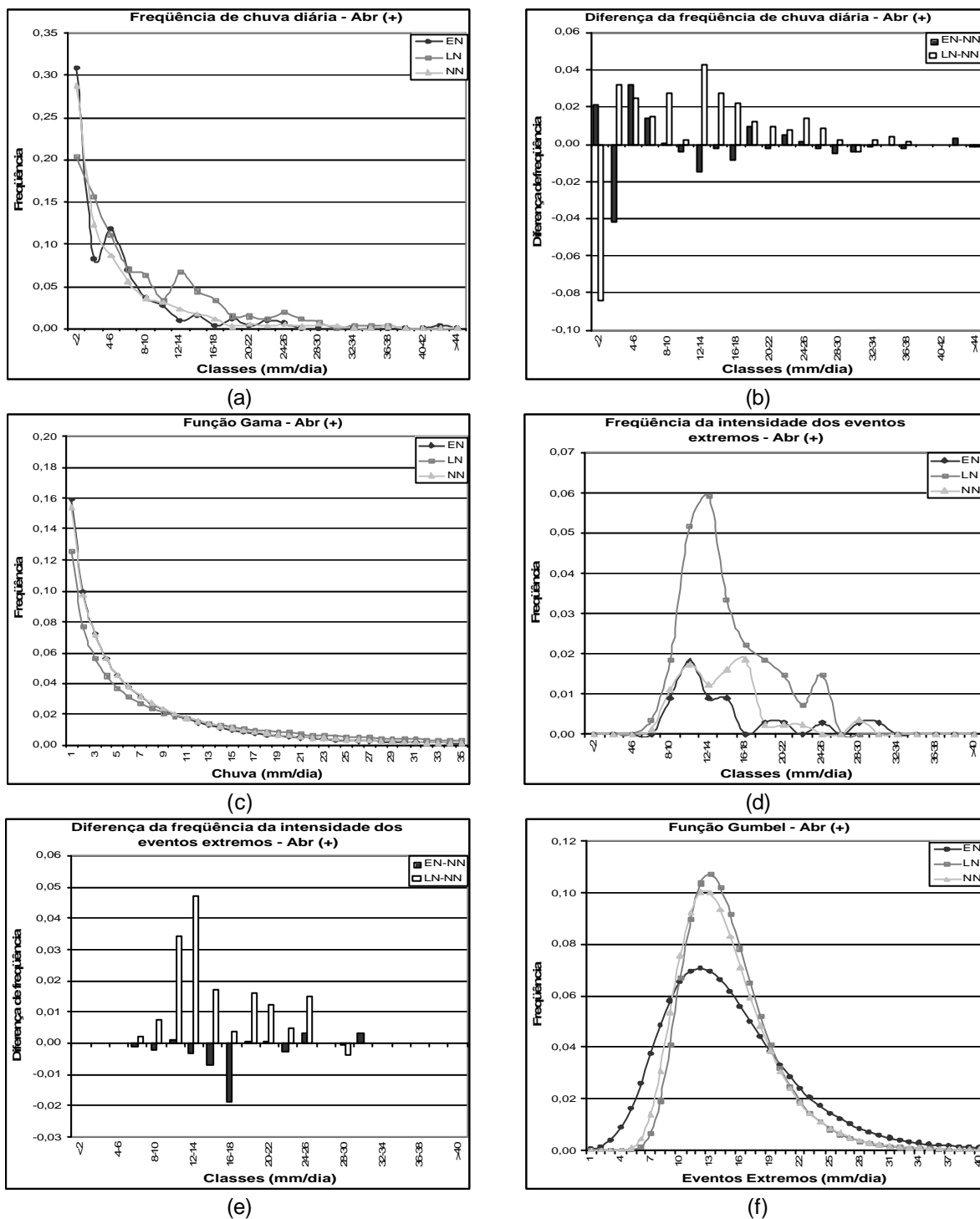


FIGURA 4.8 – QUADRÍCULA NO NORDESTE, ABR(+): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS.

4.6. ABRIL – NORTE DO BRASIL

4.6.1. Estudo para quadrícula

A Fig. 4.9 mostra a análise da chuva na quadrícula (e) no Norte do Brasil, em abril (Fig. 4.1). Durante episódios LN ocorrem lá altos valores de precipitação, acima de 100mm/dia. A precipitação leve diminui e a mais forte tende a aumentar, o que é coerente com o aumento de eventos extremos observado na Fig. 3.2 (centro).

Analisando a curva Gumbel (Fig. 4.9f) nota-se que a máxima frequência da intensidade ocorre próxima ao valor de 30mm/dia (média móvel de 3 dias) em todas as categorias, mas durante anos LN há mais ocorrências de eventos extremos mais fortes, o que também fica evidente da Fig. 4.9e. Portanto, durante LN a sua intensidade também aumenta em relação aos anos normais.

Apesar das diferenças significativas entre números de eventos extremos e sua intensidade média, não há diferenças significativas entre as populações de chuvas diárias e eventos extremos na região Norte do Brasil, entre as diversas categorias de anos, pela análise dos resultados K-S (Tabela 4.16).

TABELA 4.15 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A QUADRÍCULA DO NORTE DO BRASIL, EM ABRIL.

	GAMA		GUMBEL	
	a	b	x	b
El Niño	0,40	30,65	26,94	9,38
La Niña	0,40	39,11	30,53	9,34
Normais	0,45	29,79	28,36	6,09

TABELA 4.16 –TESTE K-S PARA A QUADRÍCULA DO NORTE, ABRIL (+), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10

Fórmulas:	2.2.1	2.2.2	Fórmulas:	2.2.1	2.2.2
EN-NN (chuva)	0,06	0,10	EN-NN (extremos)	0,20	0,36
LN-NN (chuva)	0,09	0,11	LN-NN (extremos)	0,19	0,29
EN-LN (chuva)	0,10	0,12	EN-LN (extremos)	0,26	0,39

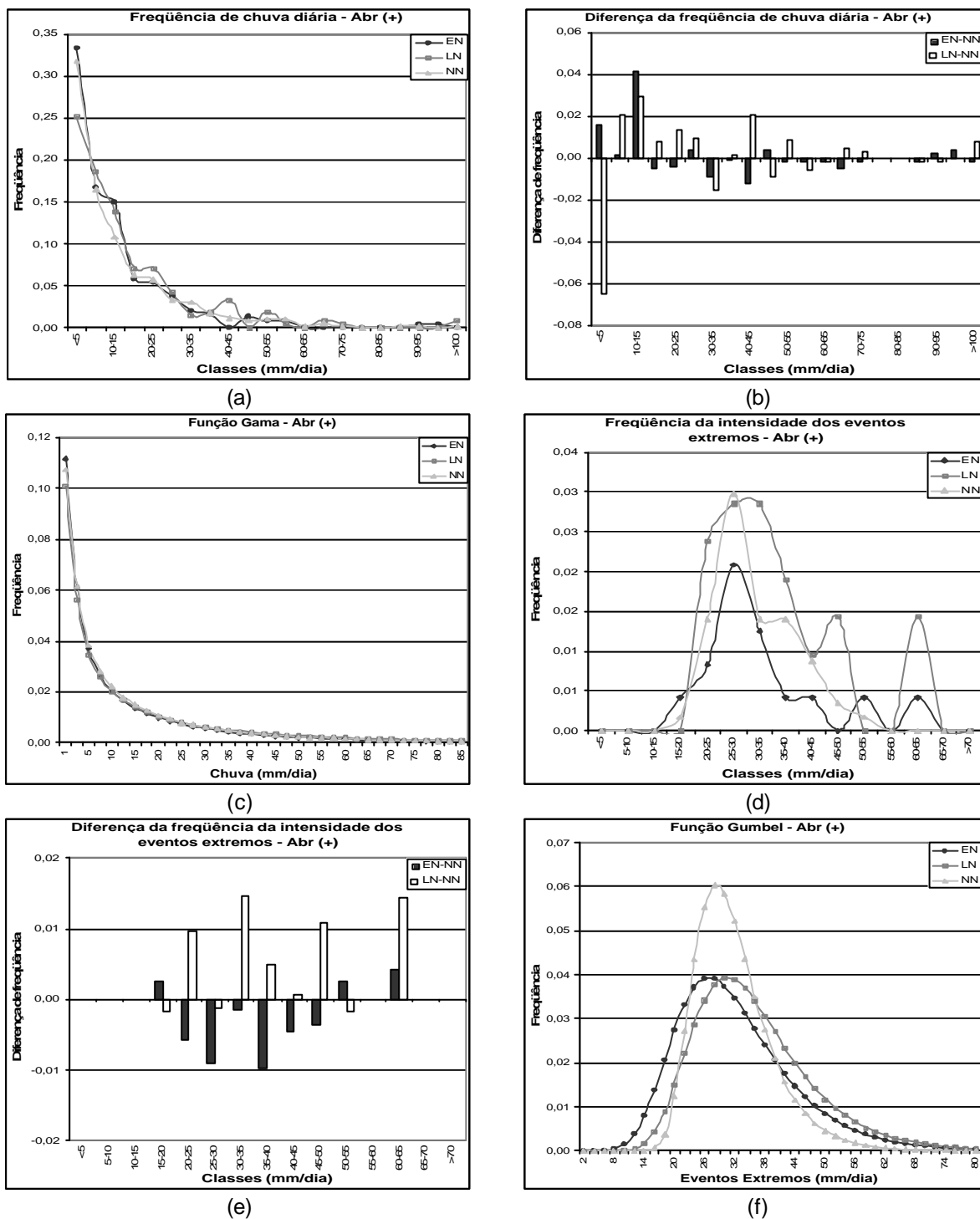


FIGURA 4.9 – QUADRÍCULA NO NORTE, ABR(+): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS.

4.6.2. Estudo para estação

As Fig. 4.10a, b mostram que tanto nos anos EN como LN há aumento de frequência de baixos valores de precipitação. Contudo, para os altos valores de precipitação, predomina a diminuição durante EN e aumento durante LN, coerentemente com os resultados para a quadrícula. A distribuição de eventos extremos mostra pouca diferença entre anos EN e normais e maior ocorrência de eventos extremos mais fortes durante anos LN (Fig. 4.10d, e, f), também de forma semelhante ao comportamento da chuva média na quadrícula.

Para essa estação, como para a quadrícula, as chuvas nas diferentes categorias de anos não provêm de diferentes populações, conforme o teste K-S.

TABELA 4.17 – PARÂMETROS DAS DISTRIBUIÇÕES GAMA E GUMBEL PARA A ESTAÇÃO DO NORTE DO BRASIL, EM ABRIL.

	GAMA		GUMBEL	
	a	b	x	b
El Niño	$a = 0,37$	$b = 37,83$	$x = 27,35$	$b = 8,53$
La Niña	$a = 0,40$	$b = 42,48$	$x = 30,77$	$b = 12,29$
Normais	$a = 0,39$	$b = 44,32$	$x = 30,72$	$b = 6,73$

TABELA 4.18 – TESTE K-S PARA A ESTAÇÃO DO NORTE, ABRIL (+), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10

Fórmulas:	2.2.1	2.2.2	Fórmulas:	2.2.1	2.2.2
EN-NN (chuva)	0,10	0,11	EN-NN (extremos)	0,24	0,31
LN-NN (chuva)	0,08	0,12	LN-NN (extremos)	0,17	0,29
EN-LN (chuva)	0,09	0,13	EN-LN (extremos)	0,23	0,36

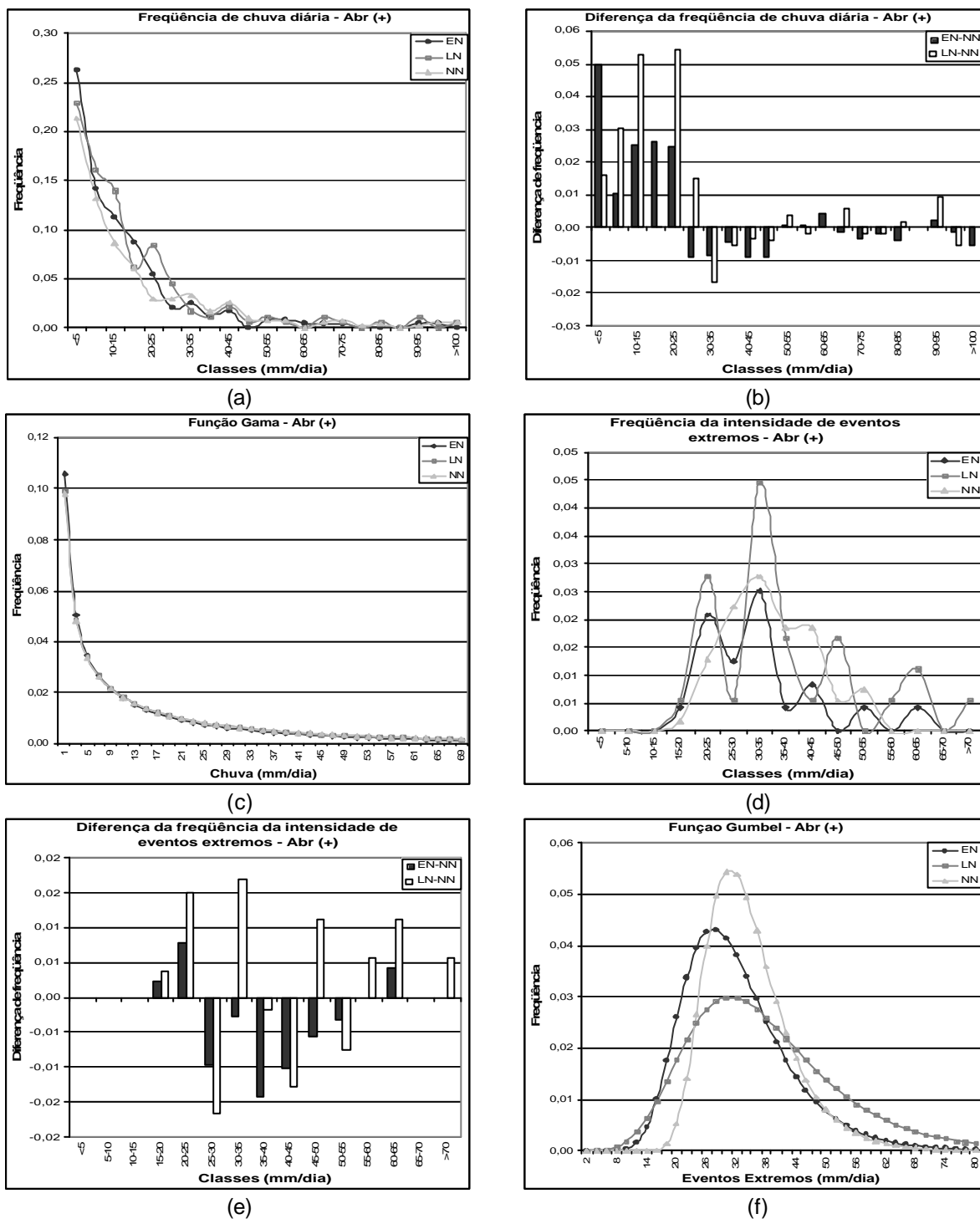
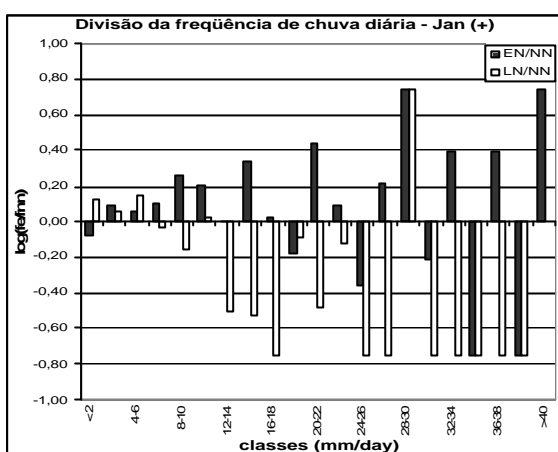


FIGURA 4.10 – ESTAÇÃO NO NORTE, ABR(+): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DA CHUVA DIÁRIA; (c) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS À CHUVA DIÁRIA; (d) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (e) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO; (f) FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TEÓRICAS AJUSTADAS AOS EXTREMOS.

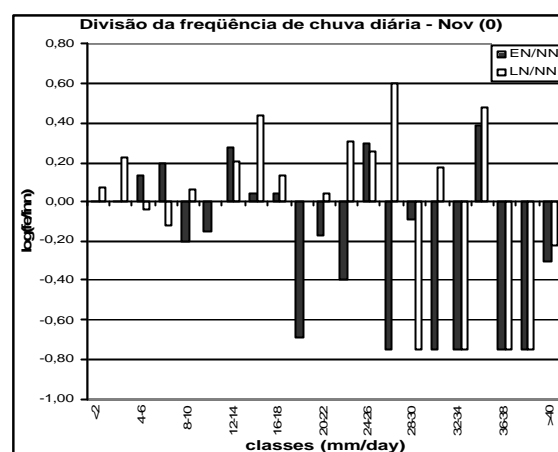
4.7. A SENSIBILIDADE DOS EXTREMOS DAS DISTRIBUIÇÕES

Os resultados das análises para quadrículas e estações mostram que os dados de quadrículas representam melhor as características dominantes numa região, uma vez que eliminam na média a variabilidade entre estações. Contudo, deve-se lembrar que tanto os valores mínimos como os máximos de chuva são menores na série de chuvas médias diárias em uma quadrícula. Há ainda uma característica importante a ressaltar na influência de episódios EN e LN sobre as distribuições de frequência de precipitações diárias: o impacto relativo maior sobre os extremos superiores das distribuições. Em outras palavras, os episódios EN e LN afetam relativamente mais os eventos extremos de precipitação que as outras classes. Isto pode ser visto mais claramente se, ao invés de serem calculadas as diferenças de frequência para cada classe (como nos painéis (b) das figuras anteriores) entre anos EN ou LN e anos normais, forem calculadas as razões entre as frequências e tomado o seu logaritmo (uma vez que esta razão pode ser muito grande).

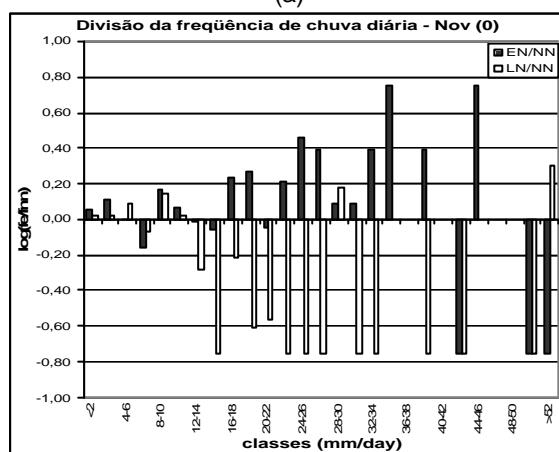
A Fig. 4.11 mostra que essas razões são, em geral, bem maiores para classes nos extremos superiores das distribuições, indicando que o maior impacto de episódios EN e LN reside lá. Tal resultado é relevante, porque o impacto mais dramático das variações climáticas ocorre através de sua influência sobre os eventos extremos. Nos Estados Unidos, Gershunov (1998) e Cayan, Redmond e Riddle (1999) também acharam impacto mais forte de eventos EN e LN sobre os extremos superiores das distribuições.



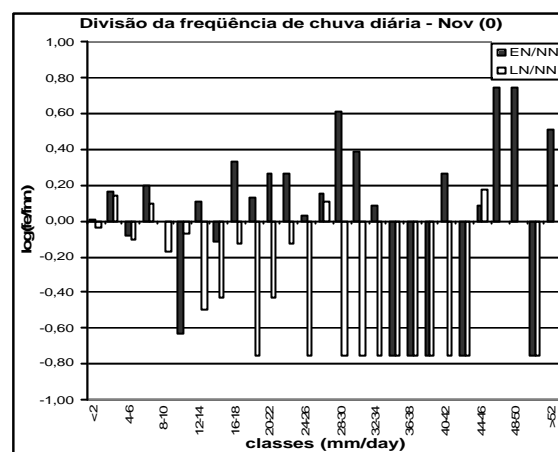
(a)



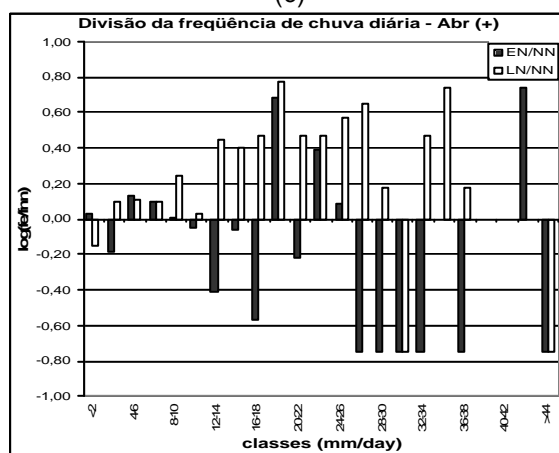
(b)



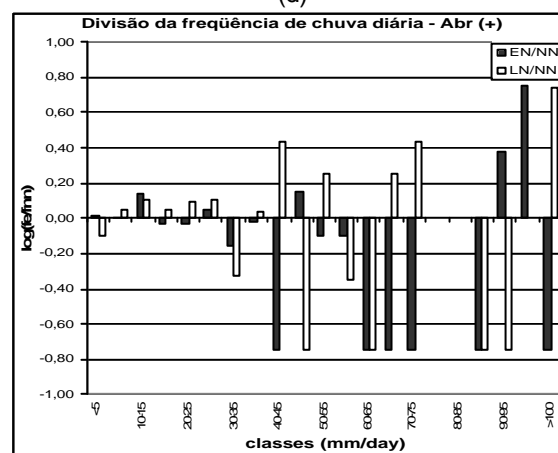
(c)



(d)



(e)



(f)

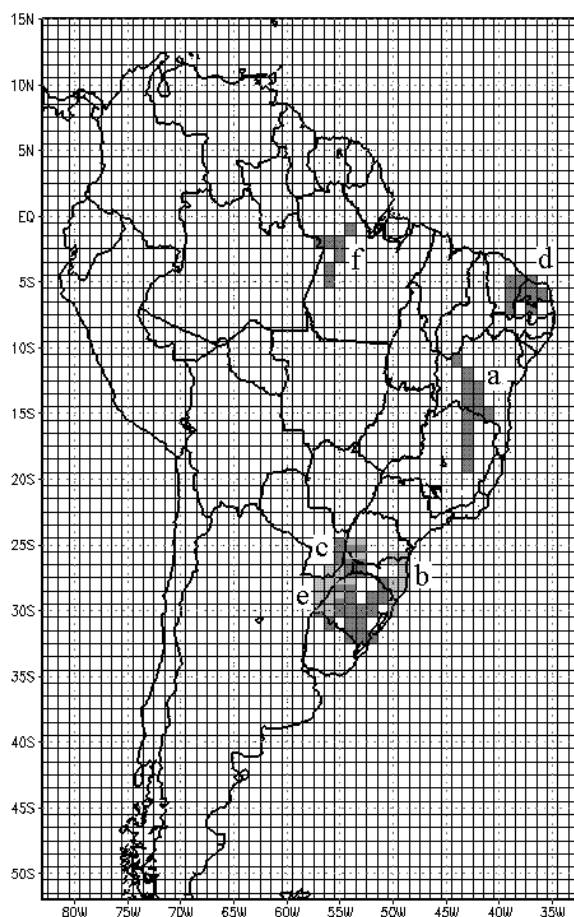
$\log(f_e/f_{nn})=0,75$ não há ocorrência de valores em anos normais
 $\log(f_e/f_{nn})=-0,75$ não há ocorrência de valores em anos EN ou LN

FIGURA 4.11 – LOGARITMO DA RAZÃO ENTRE AS FREQUÊNCIAS PARA ANOS EN E NORMAIS (BARRAS PRETAS) E ANOS LN E NORMAIS (BARRAS BRANÇAS) PARA (a) A QUADRÍCULA a NO CENTRO-LESTE DO BRASIL EM JANEIRO, (b) A QUADRÍCULA a NO CENTRO-LESTE DO BRASIL EM NOVEMBRO, (c) A QUADRÍCULA b NO LESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO, (d) A QUADRÍCULA c NO OESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO, (e) A QUADRÍCULA d NO NORDESTE DO BRASIL EM NOVEMBRO E (f) A QUADRÍCULA e NO NORTE DO BRASIL EM NOVEMBRO.

5. CAMPOS ATMOSFÉRICOS ASSOCIADOS COM EVENTOS EXTREMOS

5.1. REGIÕES DE ESTUDO

A Fig. 5.1 mostra as regiões escolhidas para o estudo de eventos extremos para os quais serão analisadas as anomalias de campos atmosféricos associadas e suas relações com as perturbações atmosféricas produzidas por EN e LN. Os campos examinados são: função corrente, precipitação, fluxo de umidade e sua divergência e a pressão ao nível do mar. Também serão determinadas as relações entre a frequência de eventos extremos nessas regiões (e chuva média) e a TSM.



São usados dois tons de cinza para indicar quadrículas de regiões adjacentes. Se uma quadrícula possuir os dois tons, ela pertence simultaneamente às duas regiões (c, e).

FIGURA 5.1 - REGIÃO DE ESTUDO DOS EVENTOS EXTREMOS EM (a) JANEIRO E NOVEMBRO; (b) e (c) NOVEMBRO; (d), (e) E (f) ABRIL

As quadrículas escolhidas possuem valores baixos ($<0,10$) de significância. Para cada região escolhida fez-se uma série média de precipitação, calculando então a média móvel de 3 dias e colocando o resultado no dia central. Distribuições Gama são assustadas a cada dia do ano, quando o percentil é maior que 90 esse dia é considerado um evento extremo. Assim têm-se as séries de eventos extremos para cada região de estudo.

5.2. JANEIRO E NOVEMBRO NA REGIÃO CENTRO-LESTE DO BRASIL

A diferença da frequência de eventos extremos entre anos LN e normais (Fig. 3.2) mostra que o número de eventos extremos aumenta significativamente no Centro-Leste do Brasil durante novembro (0) e diminui significativamente durante janeiro (+). O oposto ocorre durante EN, em relação aos normais, embora com menos intensidade (Fig. 3.1). Para estudar as anomalias de circulação associadas com este comportamento, foi escolhida a região (a) da Fig. 5.1.

5.2.1. Novembro na região Centro-Leste

O mapa de correlação entre a chuva média para novembro nesta área e TSM (Fig. 5.2a) mostra padrões de forte e extensa correlação (manchas cinzas) no Pacífico e no Atlântico. No Pacífico, é reproduzido o padrão de anomalias de TSM associado com episódio LN, com anomalia negativa no Pacífico equatorial central e leste e positiva no Pacífico Sul subtropical, indicando a sua influência remota sobre a chuva no Centro-Leste do Brasil na primavera, com chuva abaixo (acima) do normal para episódios EN (LN). As correlações no Atlântico, junto à costa sudeste do Brasil, mostram que chuva excessiva (deficiente) na região Centro-Leste está associada com TSM mais fria (quente) por causa do aumento (diminuição) de nebulosidade e conseqüente redução (aumento) da radiação absorvida na superfície do mar. O mapa de correlação entre o número de eventos extremos nesta área em novembro e TSM (Fig. 5.2b) mostra padrões de correlação semelhantes aos da chuva média, porém mais fracas no Pacífico equatorial, sendo fortalecidas as correlações com a TSM subtropical. Isto é coerente com o impacto maior de fontes anômalas de calor nos subtrópicos desta região sobre a circulação no Sudeste do Brasil, de acordo com as funções de influência em Grimm (2003). No Atlântico, a correlação é mais forte na parte nordeste do Atlântico Sul, para a série de eventos extremos do que

para a chuva média mensal, provavelmente devido à maior intensidade do anticiclone do Atlântico Sul associado a eventos extremos, o que produz resfriamento maior da TSM naquela região. O fortalecimento deste anticiclone pode ter relação com a produção de eventos extremos no Centro-Leste do Brasil.

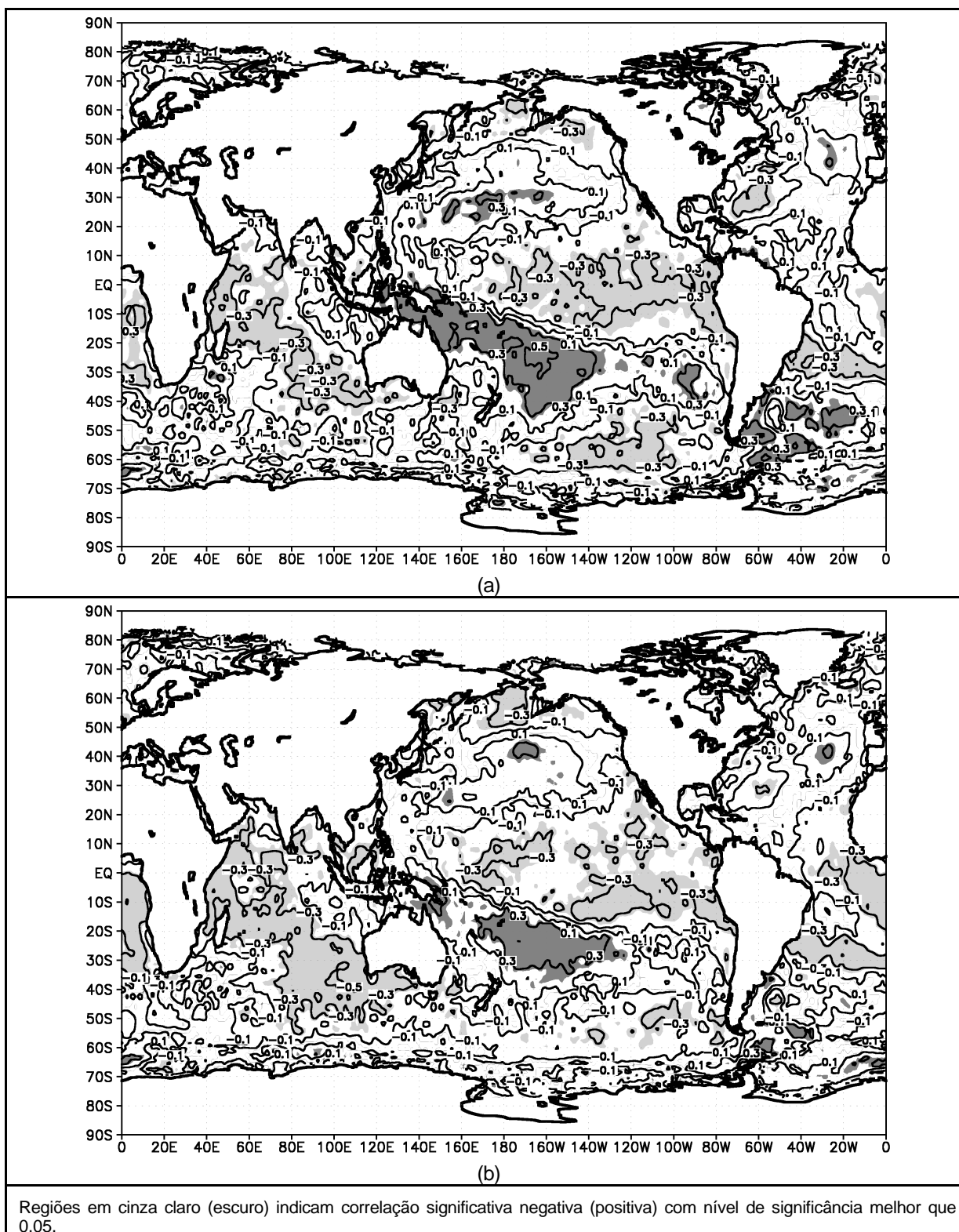


FIGURA 5.2 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM NOVEMBRO: (a) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E CHUVA MÉDIA DE NOVEMBRO NA REGIÃO; (b) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E A SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO.

A Fig. 5.3 mostra as anomalias médias mensais de campos atmosféricos durante novembro (0) de episódios EN. A função corrente em 850 hPa durante EN apresenta fraca anomalia sobre a região de estudo, mas é visível a circulação anticiclônica em baixos níveis e ciclônica em altos níveis, associadas com a subsidência que ocorre em episódios EN no Centro-Norte do Brasil. Uma anomalia ciclônica é positiva nos mapas de função corrente e tem circulação horária no mapa de fluxo de umidade; uma anomalia anticiclônica é negativa e tem circulação oposta. Uma anomalia anticiclônica domina o Sudeste em altos níveis. Contudo, a anomalia mais consistente da função corrente em todos os níveis é a perturbação ciclônica no sudoeste da América do Sul, típica de episódios ENOS. O fluxo de umidade apresenta divergência sobre o Norte e Centro-Leste do Brasil, explicando as anomalias negativas de chuva nestas regiões.

Na Fig. 5.4 são apresentadas as anomalias médias mensais de campos atmosféricos durante novembro (0) de anos LN. A anomalia de função corrente mais forte é a perturbação anticiclônica no sudoeste da América do Sul, oposta à perturbação produzida por EN. A anomalia é muito fraca sobre o Centro-Leste, mas a perturbação ciclônica em baixos níveis e anticiclônica em altos níveis é coerente com anomalias positivas de chuva nesta região (embora não significativas). O fluxo de umidade apresenta convergência sobre esta região, explicando o excesso de chuva. O mapa de precipitação mostra um aumento da chuva durante LN nesta região. O mapa de pressão mostra anomalias próximas de zero na região de estudo. É conveniente lembrar que, embora novembro (0) seja o mês de maior impacto de episódios EN no Centro-Leste, é outubro (0) o mês de maior impacto de episódios LN e, portanto, alguns campos anômalos importantes para ocorrência de chuva no Centro-Leste podem não aparecer significativos durante novembro (0) de LN.

Para caracterizar os campos atmosféricos anômalos durante eventos extremos em novembro na região (a) do Centro-Leste indicada na Fig. 5.1, usaram-se os eventos extremos quantificados na Tabela 5.1. Estes números já deixam claro que durante novembro (0) de anos LN o número de eventos extremos cresceu, em relação aos normais, enquanto durante anos EN decresceu, ao comparar com os normais.

TABELA 5.1 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM NOVEMBRO: NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS.

Anos EN (11 anos)	Anos LN (9 anos)	Anos NORMAIS (27 anos)
27	56	74

A Fig. 5.5 mostra os campos atmosféricos anômalos durante a ocorrência de eventos extremos no Centro-Leste em novembro (0) de anos EN.

Os mapas de função corrente em 850 hPa e de fluxo de umidade mostram um padrão ciclônico significativo sobre a região de estudo. A função corrente em 200 hPa tem um padrão anticiclônico sobre a mesma região, com padrão ciclônico a sudoeste. O anticiclone em altos níveis é consistente com precipitação anômala em região tropical. O fluxo de umidade apresenta significativa convergência sobre o Centro-Leste do Brasil e a região de estudo. A análise dos mapas de precipitação e de pressão mostra que há anomalias positivas na precipitação e negativas de pressão. Todos os campos anômalos para EN têm significância sobre a região de estudo.

É possível perceber que as anomalias dos campos atmosféricos durante eventos extremos em episódios EN (Fig. 5.5) são muito diferentes das anomalias médias durante novembro (0) de EN (Fig. 5.3). Portanto, as perturbações produzidas por esses episódios não favorecem a ocorrência de eventos extremos na região de estudo, explicando assim a diminuição de eventos extremos, durante EN.

Os campos atmosféricos anômalos associados com eventos extremos durante novembro (0) de anos LN, apresentados na Fig. 5.6, tem similaridade com aqueles já apresentados para anos EN (Fig. 5.5) na vizinhança da região de estudo, embora diferentes de forma geral sobre o domínio mostrado. Há um padrão ciclônico sobre a região de estudo em baixos níveis e um anticiclônico em altos níveis, com anomalias ciclônicas a sudoeste desta região. A pressão ao nível do mar é mais baixa que o normal e há convergência de umidade na região. Todos os padrões apresentam significância.

Da mesma forma, a Fig. 5.7, que mostra as anomalias atmosféricas associadas com eventos extremos durante novembro de anos normais, apresenta o mesmo tipo de padrões anômalos nas proximidades da região de estudo. Isto demonstra que os padrões atmosféricos anômalos necessários para produzir eventos extremos nesta região em novembro são semelhantes, não importando a categoria do ano. O que determina se os eventos extremos serão mais ou menos

freqüentes que em anos normais é a semelhança entre os campos anômalos médios durante eventos extremos nesta região e as anomalias mensais médias em novembro de anos EN ou LN. Comparando a Fig. 5.7, que mostra as condições em eventos extremos de anos normais, com as Fig. 5.3 e 5.4 que mostram, respectivamente, as perturbações atmosféricas durante episódios EN e LN, percebe-se claramente que as perturbações associadas com episódios LN são muito mais semelhantes às associadas com eventos extremos do que as perturbações associadas com episódios EN, principalmente em altos níveis. Na realidade, as perturbações durante EN são geralmente opostas. Portanto, as perturbações produzidas durante LN naturalmente favorecem a ocorrência de eventos extremos em novembro (0) na região analisada. Isto explica sua maior ocorrência durante episódios LN e menor ocorrência durante episódios EN.

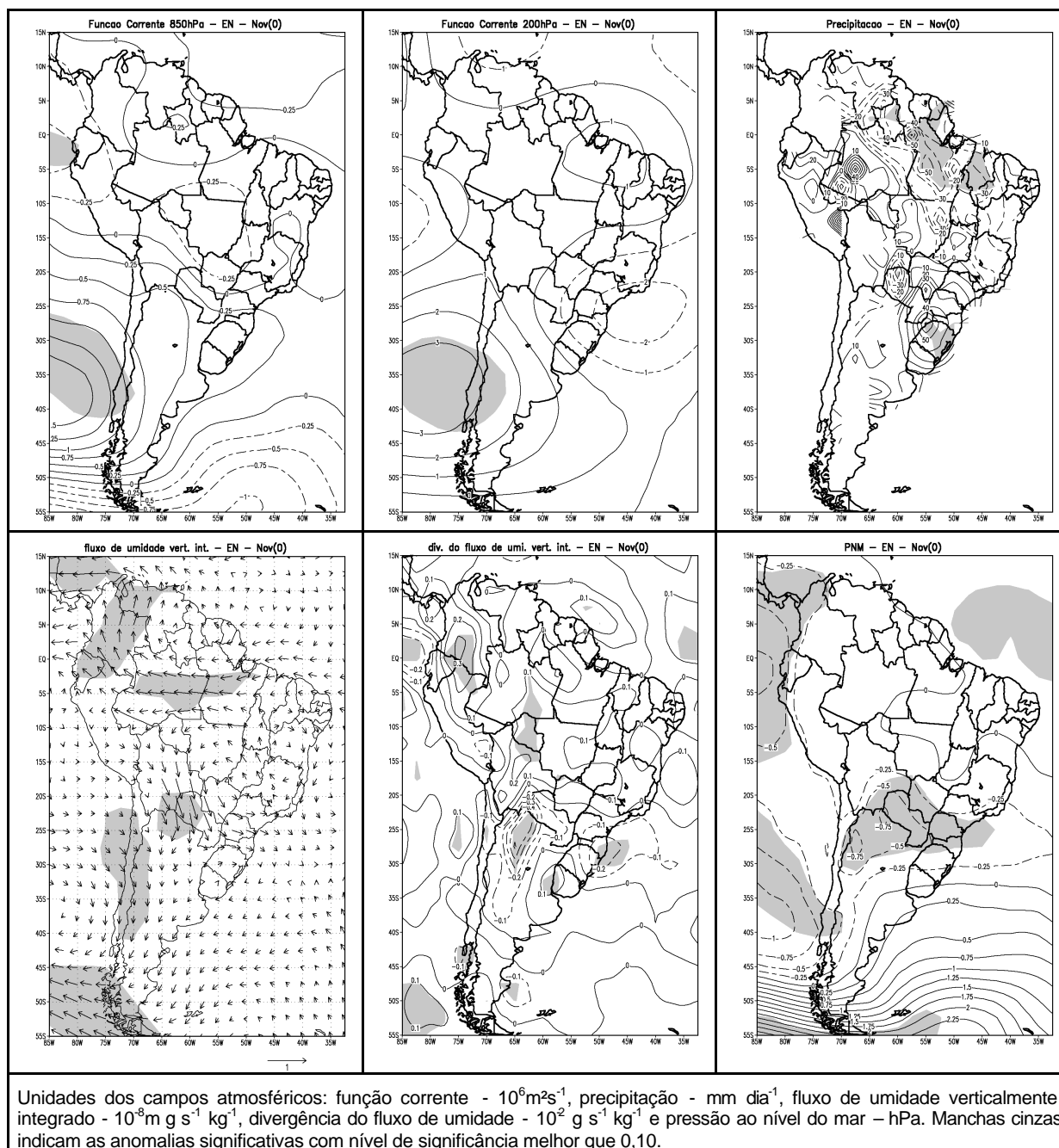


FIGURA 5.3 – NOVEMBRO (0) DE ANOS EL NIÑO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS MENSIS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREITA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR.

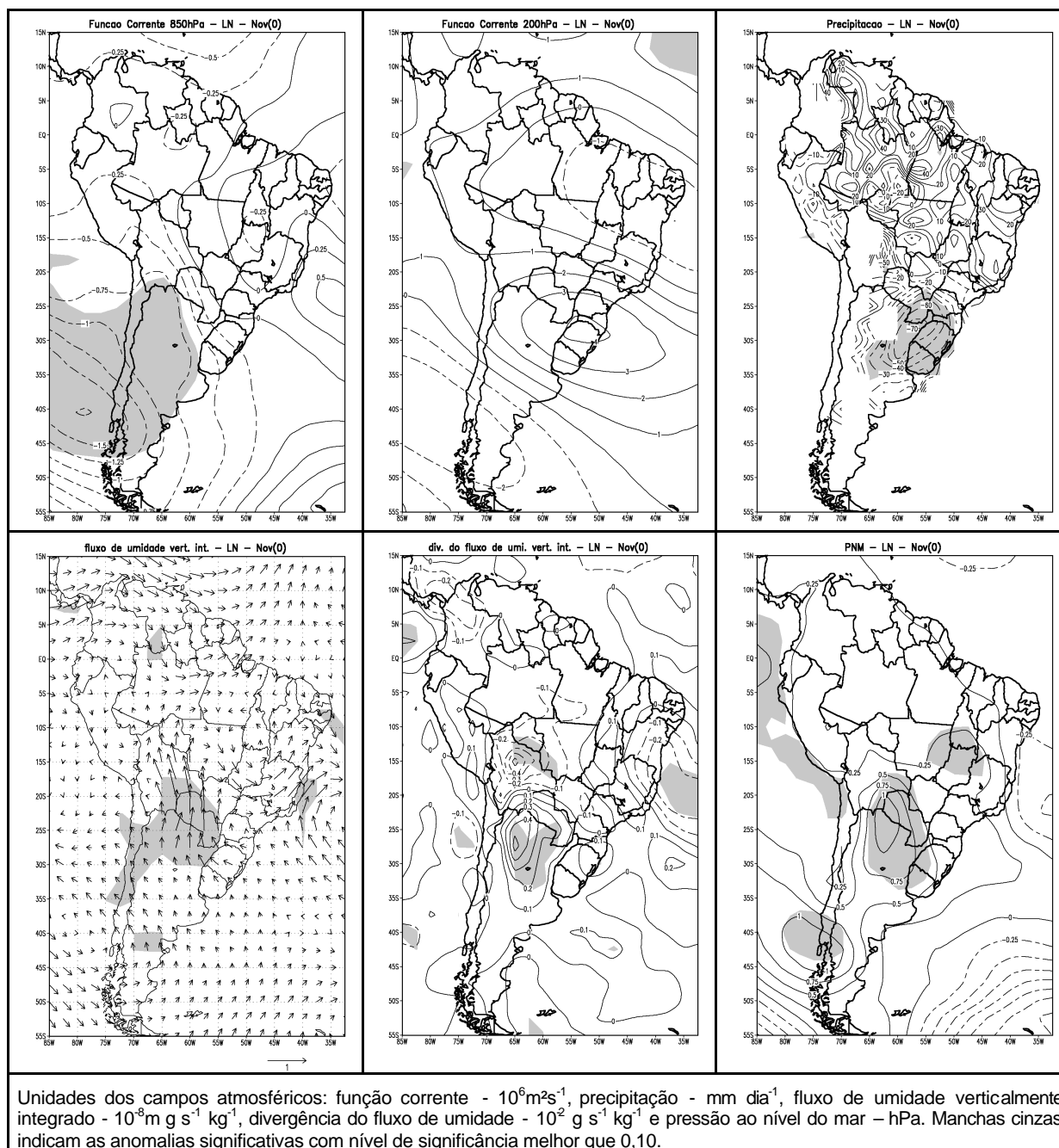


FIGURA 5.4 – NOVEMBRO (0) DE ANOS LA NIÑA: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS MENSIS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR.

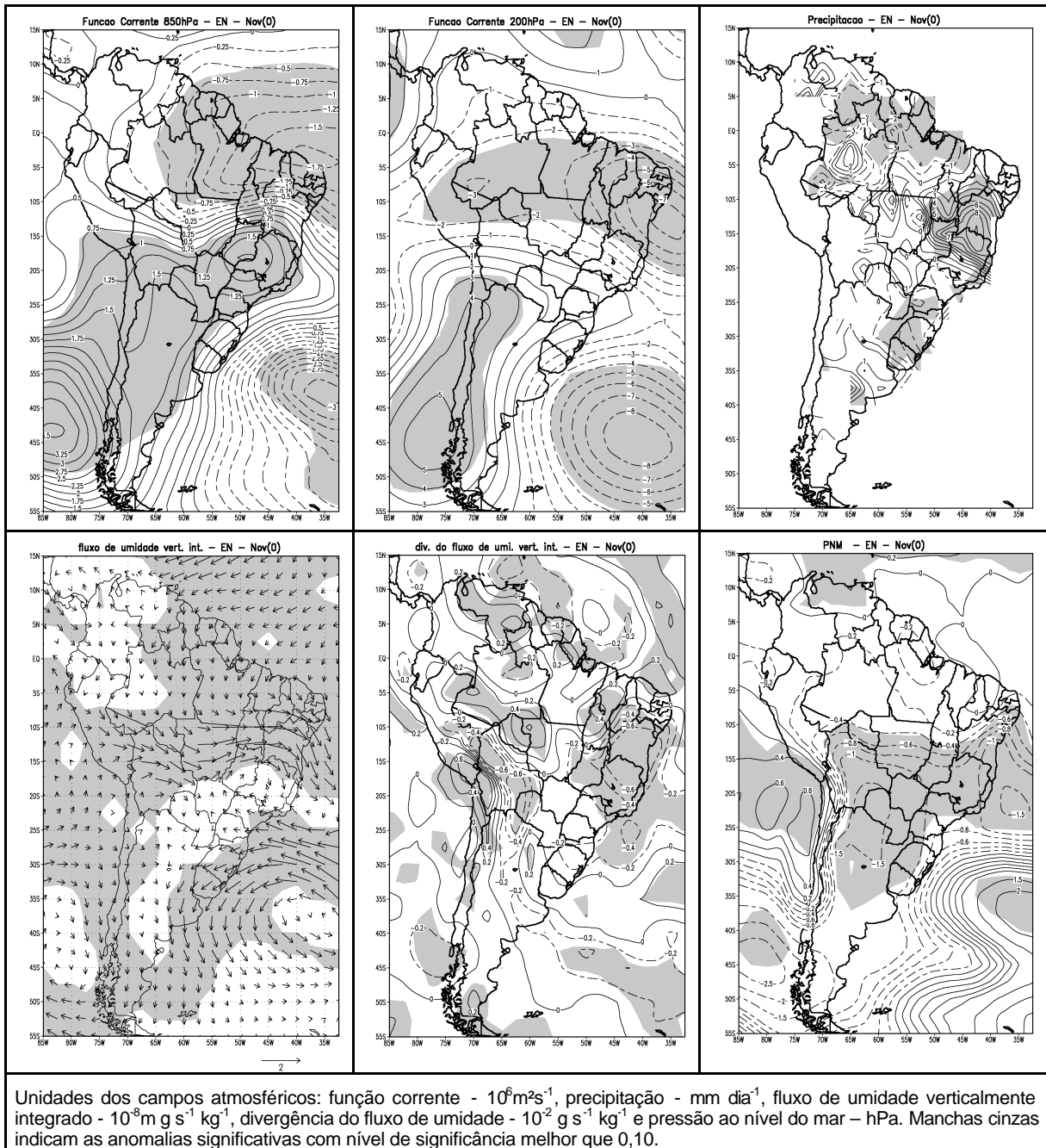


FIGURA 5.5 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPa E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPa, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFERIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS EL NIÑO.

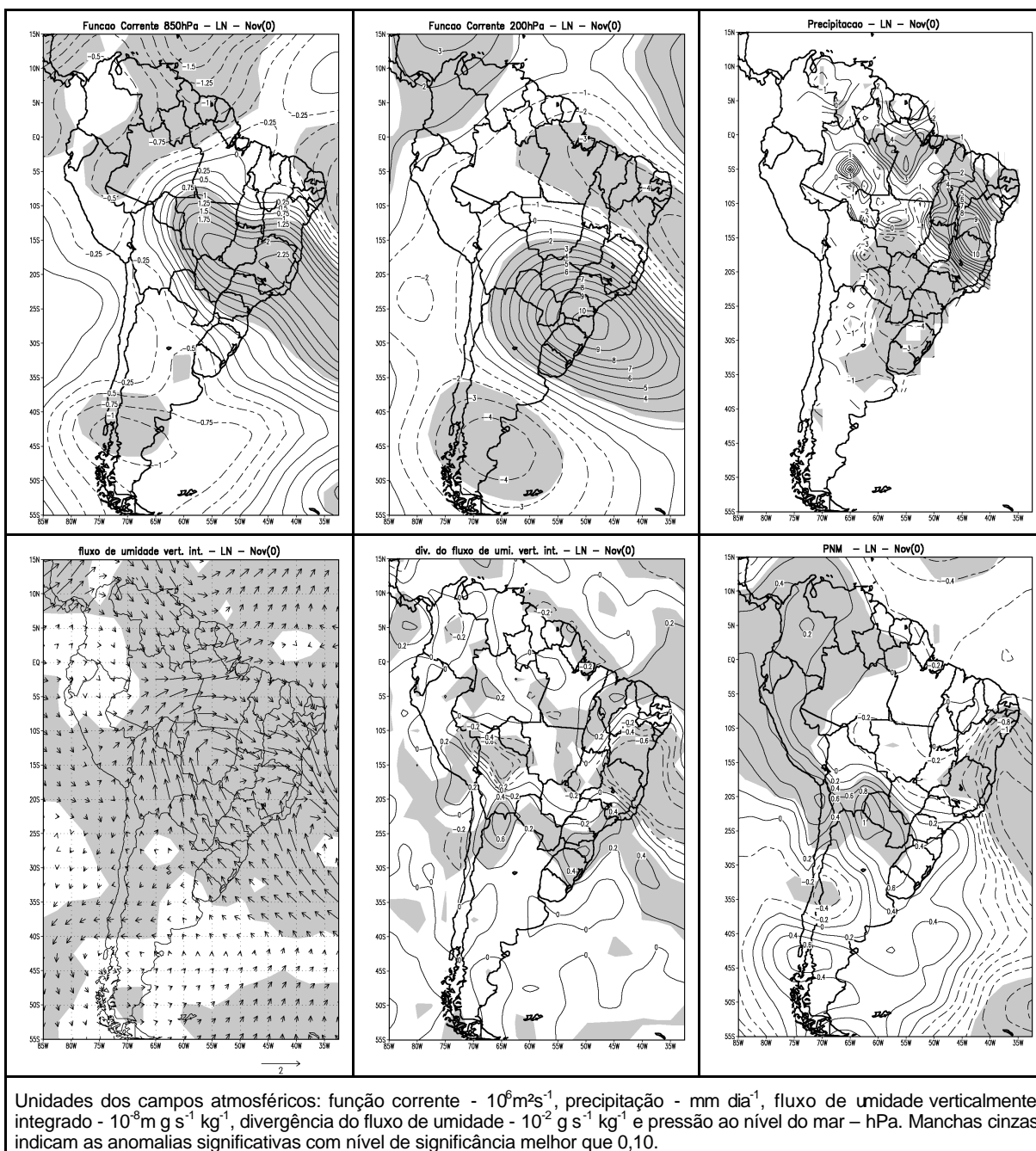


FIGURA 5.6 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPa E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPa, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFERIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS LA NIÑA.

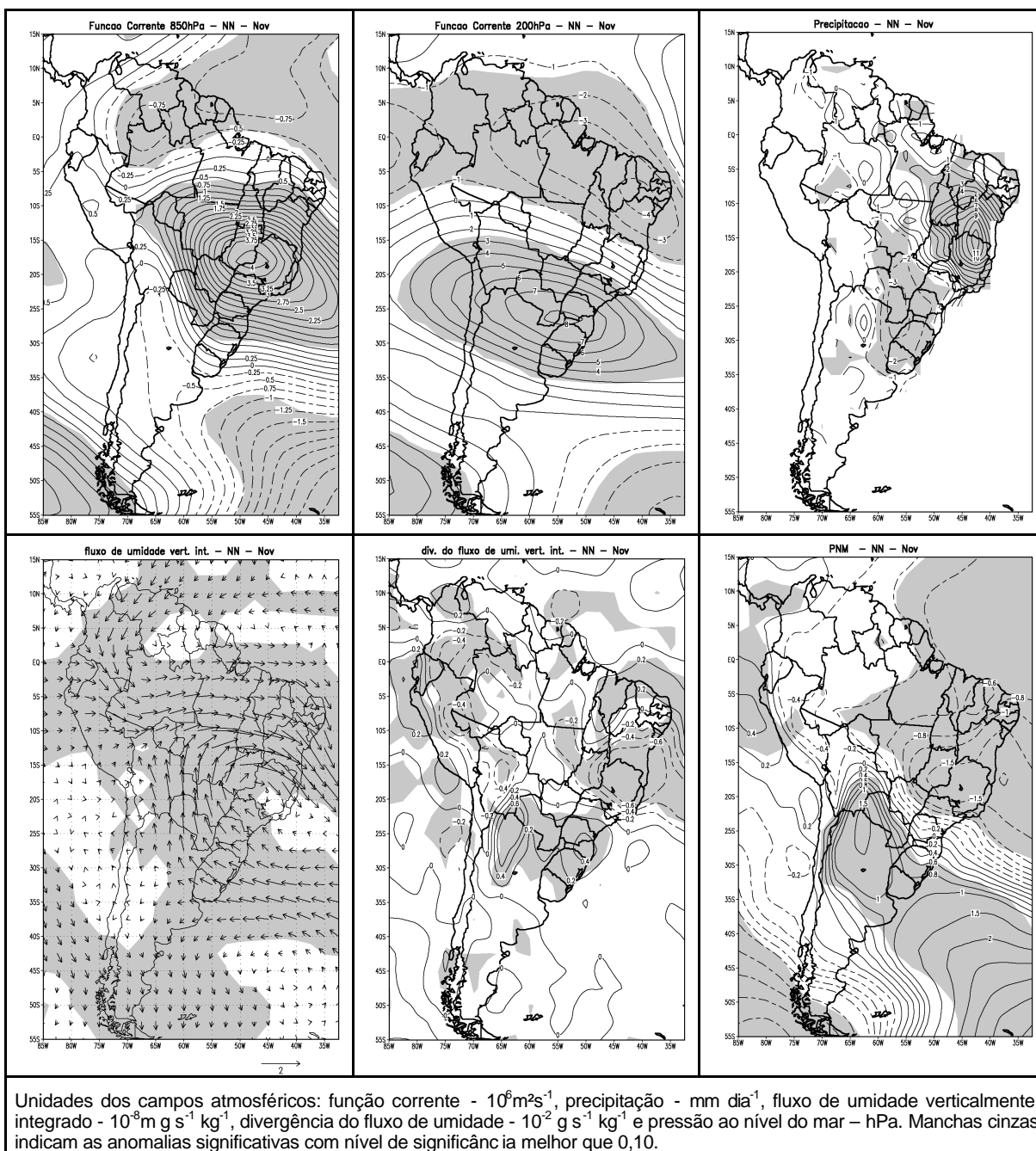


FIGURA 5.7 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPa E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPa, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFERIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS NORMAIS.

5.2.2. Janeiro na região Centro-Leste

A região no Centro-Leste do Brasil cujos eventos extremos em novembro foram analisados para as 3 categorias de anos será agora analisada quanto aos eventos extremos em janeiro. Na análise do capítulo 3 (Fig. 3.1 e 3.2) verificou-se que, enquanto em novembro os eventos extremos ali aumentavam durante LN e diminuía durante EN, em janeiro ocorre o contrário.

A correlação significativa da TSM com a chuva mensal de janeiro nesta região (Fig. 5.1a) não ocupa áreas tão extensas no Oceano Pacífico e Índico como em novembro. Há um padrão de correlações significativas no Pacífico Central tropical e subtropical que lembra o padrão associado com episódios EN e LN, indicando que há aumento (diminuição) de chuva no Centro-Leste do Brasil em janeiro (+) de episódios EN (LN) (Fig. 5.8a), mas que esta conexão é menos forte que em novembro. A correlação significativa negativa no Atlântico, junto à costa sudeste do Brasil, indica que, como em novembro, mais (menos) chuva no Centro-Leste do Brasil implica em TSM mais baixas (altas). Estes resultados concordam com Grimm (2003, 2004). No mapa de correlação da TSM com o número de eventos extremos em janeiro (Fig. 5.8b) aparecem mais fracas as correlações na região afetada por episódios EN e LN no Pacífico, embora ainda estejam presentes, o que indica uma influência ainda existente destes episódios sobre a frequência de eventos extremos, mas indica também que esta influência é mais importante para totais mensais de chuva. As correlações mais fracas em janeiro indicam que influências remotas são menos importantes que em novembro, o que concorda com as conclusões de Grimm (2003, 2004) e Grimm, Pal e Giorgi (2007). As correlações no Atlântico aparecem um pouco mais fortes e extensas no último mapa, o que é coerente com a utilização de eventos extremos, aos quais nebulosidade maior e mais extensa está associada.

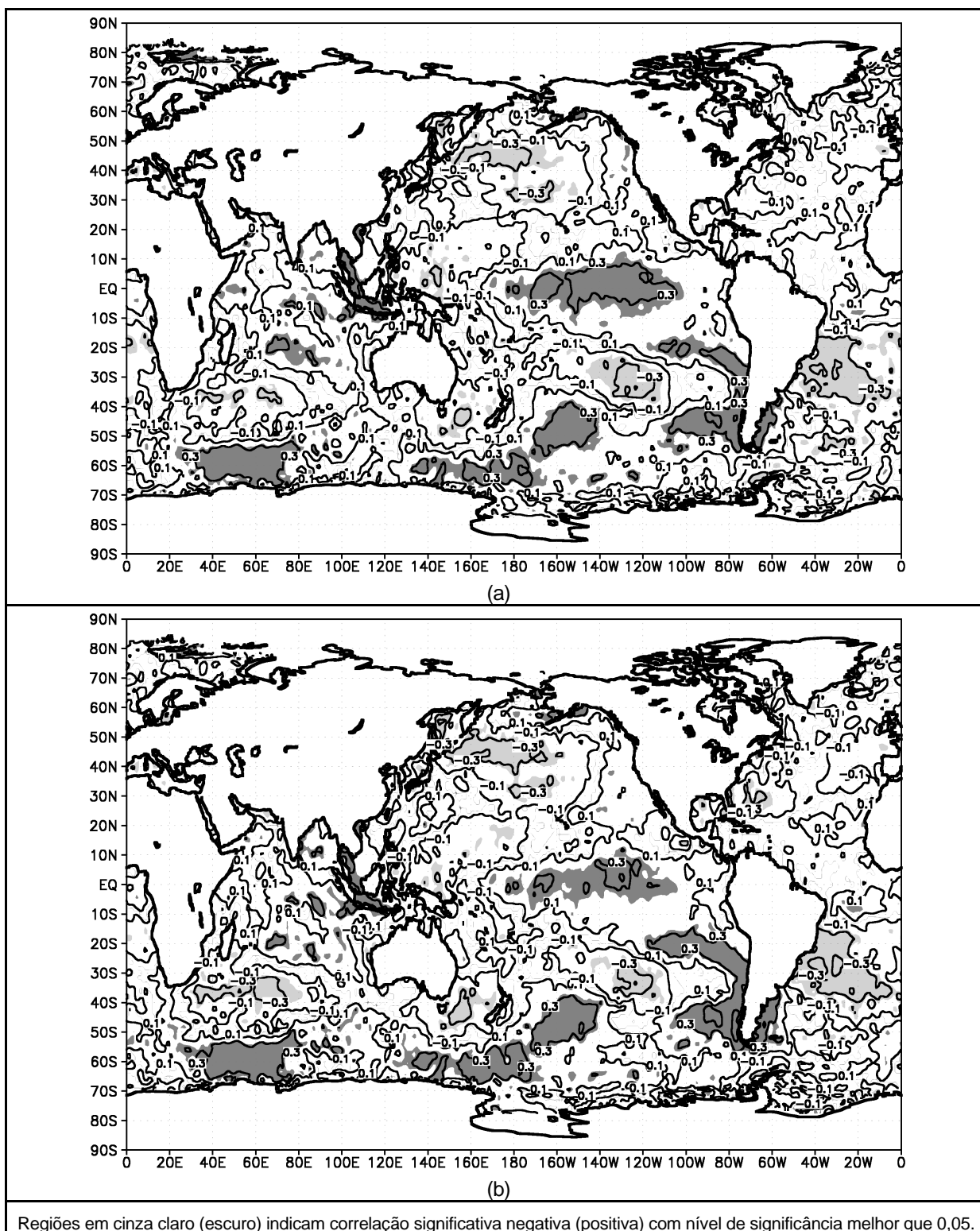


FIGURA 5.8 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM JANEIRO: (a) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E CHUVA MÉDIA DE NOVEMBRO NA REGIÃO; (b) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E A SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO.

Para caracterizar os campos atmosféricos anômalos durante eventos extremos em janeiro na área (a) da região Centro-Leste indicada na Fig. 5.1, usaram-se os eventos extremos quantificados na Tabela 5.2. Estes números já indicam que durante janeiro (+) de anos LN o número de eventos extremos diminuiu muito, enquanto durante anos EN cresceu.

TABELA 5.2 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM JANEIRO: NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS.

Anos EN (11 anos)	Anos LN (9 anos)	Anos NORMAIS (27 anos)
72	10	113

Anomalias médias mensais para janeiro (+) de anos EN são apresentadas na Fig. 5.9. Em 850 hPa, anomalias anticiclônicas dominam o norte da América do Sul e o Centro-Oeste do Brasil, de ambos os lados do equador, sendo o sinal mais consistente ao norte. Em altos níveis sobre estas regiões há anomalias ciclônicas. Este padrão é coerente com a subsidência anômala e chuva abaixo do normal sobre estas regiões durante EN. Contudo, na região de estudo há anomalias ciclônicas em baixos níveis e anticiclônicas sobre elas, indicando convecção anômala tropical e tendência a mais chuva, o que é confirmado no mapa de anomalias de precipitação, embora sem significância. Ocorre fraca convergência anômala de umidade na região de estudo, também sem significância. Estas características estão coerentes com os resultados da Fig. 3.1, que mostram um aumento de eventos extremos nessa região em janeiro (+) de anos EN.

A Fig. 5.10 mostra as anomalias médias mensais para janeiro (+) de anos LN. No norte da América do Sul prevalecem anomalias ciclônicas em 850 hPa e anticiclônicas em altos níveis, coerentes com movimento ascendente anômalo e mais chuva nessa região durante anos LN. Já sobre o Centro-Leste do Brasil (incluindo a região de estudo), há forte e consistente anomalia anticiclônica em baixos níveis e ciclônica acima, o que indica anomalia negativa de precipitação, o que é confirmado pelo mapa de anomalias de chuva. Os mapas de fluxo de umidade e sua divergência mostram divergência de umidade sobre a região estudada. A pressão ao nível do mar é mais alta do que o normal. Estes padrões são desfavoráveis à ocorrência de precipitação e, portanto, de eventos extremos nesta região. Os resultados da análise do capítulo 3 (Fig. 3.2) são coerentes com este

quadro, pois mostram uma diminuição significativa de eventos extremos em janeiro (+) de episódios LN no Centro-Leste.

Os campos atmosféricos anômalos associados com eventos extremos na região de estudo em janeiro das diversas categorias de anos (Fig. 5.11, 5.12 e 5.13) mostram semelhanças nas vizinhanças desta região, apesar de em anos EN e LN haverem grandes diferenças no resto do domínio. Em baixos níveis (850 hPa) há uma anomalia ciclônica sobre o Sudeste do Brasil, que leva umidade para o Centro-Leste, produzindo convergência de umidade nesta região. Em altos níveis sobre a região de estudo há um anticiclone anômalo, enquanto ao nível do mar a pressão é mais baixa que o normal.

Portanto, as condições necessárias para muita chuva na região são sempre as mesmas. A comparação destas condições (bem representadas na Fig. 5.13, para anos normais) com as anomalias médias de anos EN (Fig. 5.9) e LN (Fig. 5.10), indica que elas estão mais presentes e, portanto, são mais favorecidas, em anos EN, enquanto em anos LN as anomalias médias são opostas às condições para eventos extremos (Fig. 5.13). Enquanto há certa semelhança entre os campos de eventos extremos em EN e os campos anômalos médios durante anos EN (Fig. 5.11 e 5.9, respectivamente), há quase completa oposição entre os campos anômalos de eventos extremos em LN e as anomalias médias durante anos LN (Fig. 5.12 e 5.10, respectivamente). Isto significa que para haver um evento extremo durante LN é necessário que o sistema sinótico associado seja suficientemente forte para vencer as condições prevalecentes durante LN. Isto explica a diminuição significativa de eventos extremos durante janeiro de LN: os padrões anômalos durante episódios LN não favorecem a ocorrência de eventos extremos.

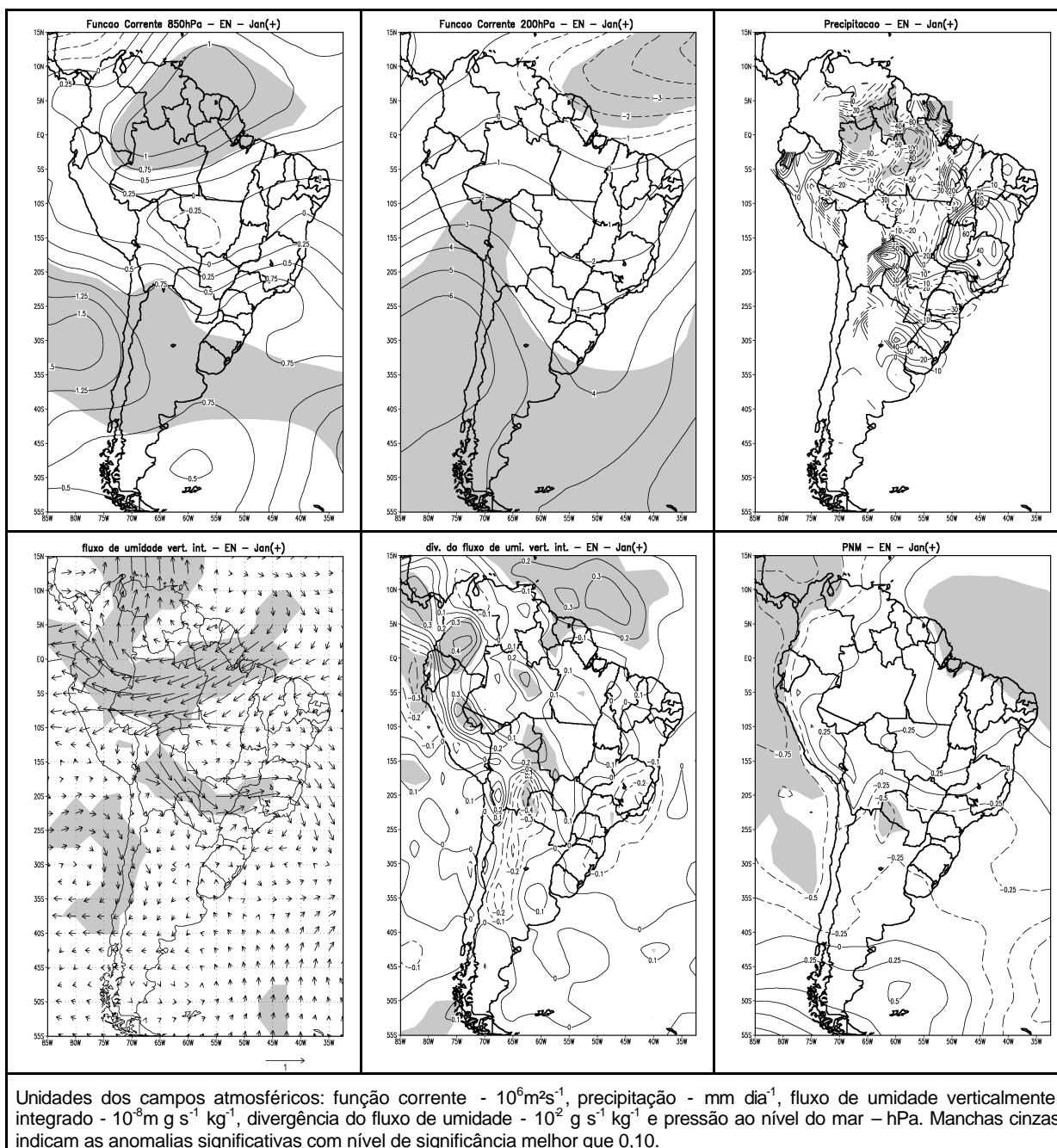
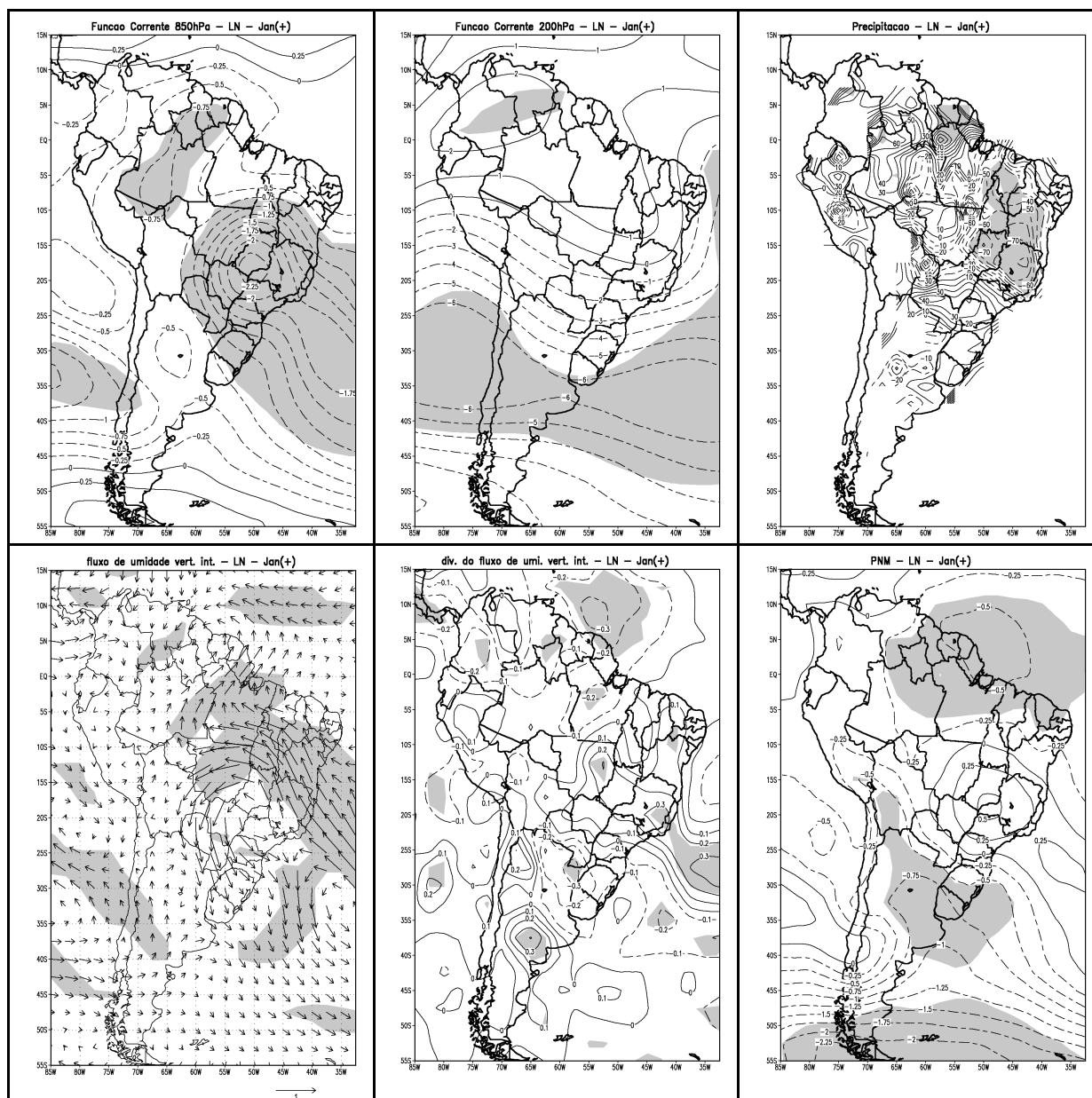
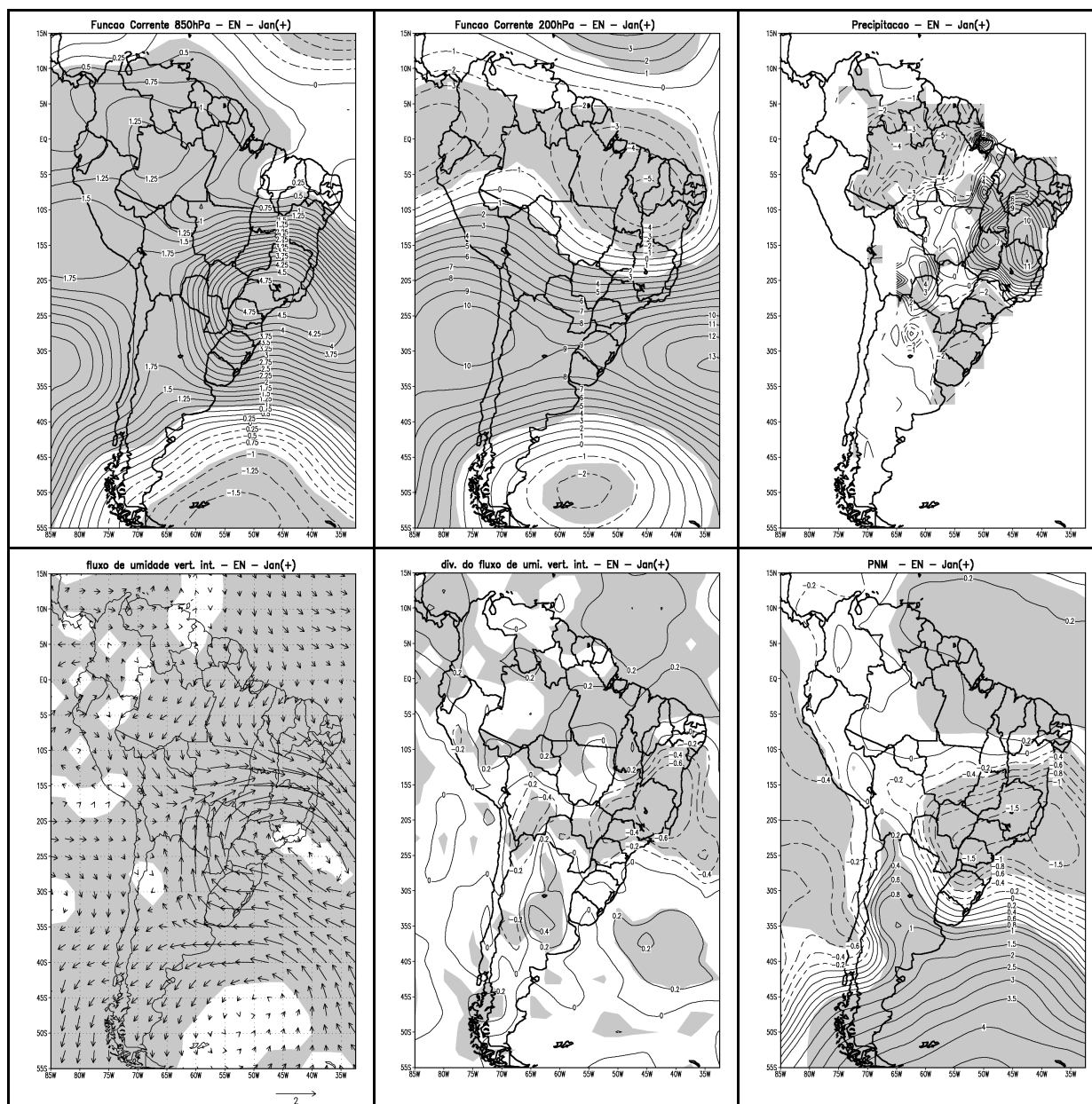


FIGURA 5.9 – JANEIRO (0) DE ANOS EL NIÑO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS MENSAIS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREITA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR.



Unidades dos campos atmosféricos: função corrente - $10^6 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$, precipitação - mm dia^{-1} , fluxo de umidade verticalmente integrado - $10^8 \text{g s}^{-1} \text{kg}^{-1}$, divergência do fluxo de umidade - $10^2 \text{g s}^{-1} \text{kg}^{-1}$ e pressão ao nível do mar - hPa. Manchas cinzas indicam as anomalias significativas com nível de significância melhor que 0,10.

FIGURA 5.10 – JANEIRO (0) DE ANOS LA NIÑA: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS MENSAIS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREITA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR.



Unidades dos campos atmosféricos: função corrente - $10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, precipitação - mm dia^{-1} , fluxo de umidade verticalmente integrado - $10^9 \text{ g s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$, divergência do fluxo de umidade - $10^{-2} \text{ g s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ e pressão ao nível do mar - hPa. Manchas cinzas indicam as anomalias significativas com nível de significância melhor que 0,10.

FIGURA 5.11 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM CENTRO-LESTE DO BRASIL EM JANEIRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPa E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPa, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS EL NIÑO.

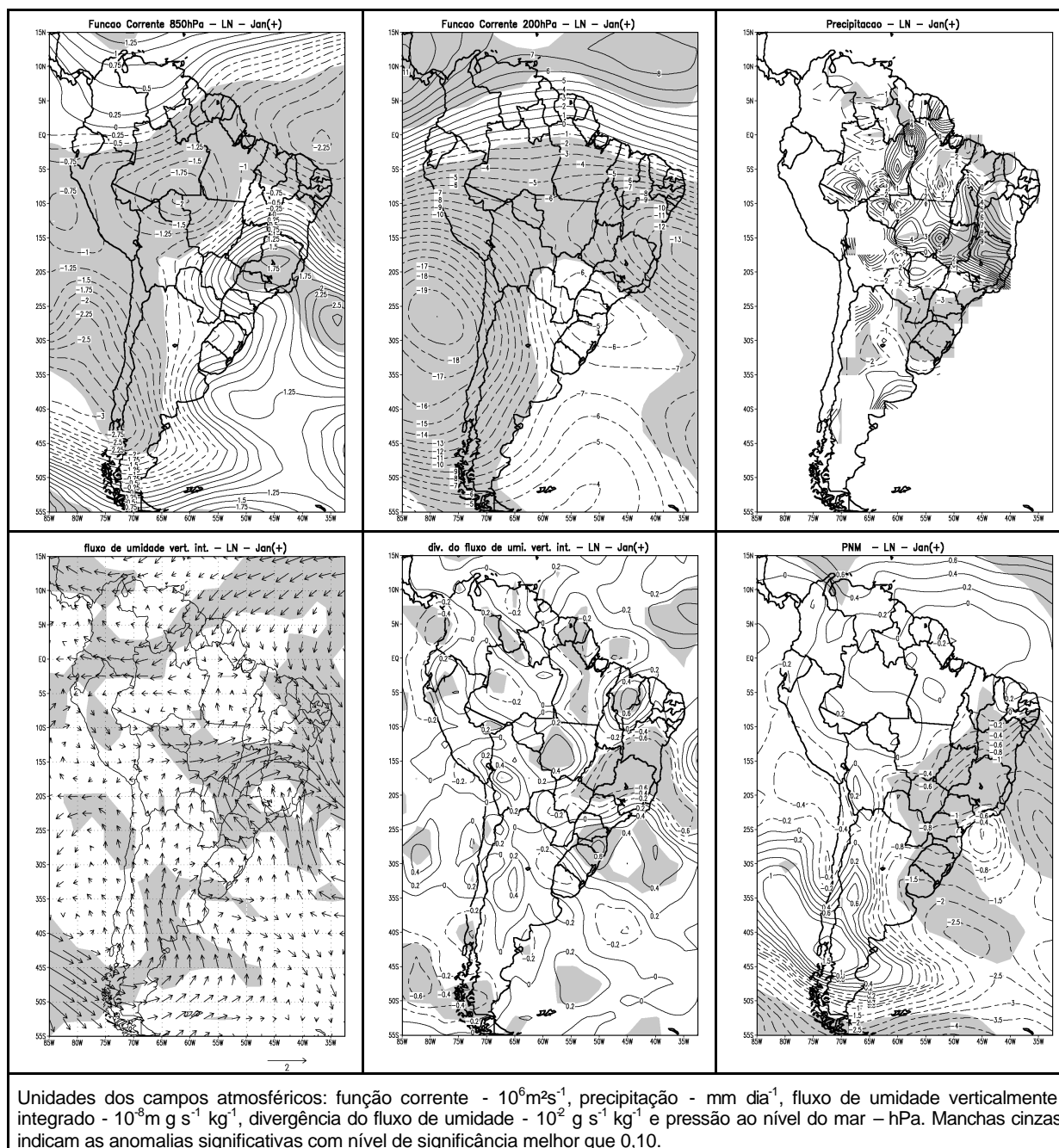


FIGURA 5.12 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM JANEIRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPa E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPa, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS LA NIÑA.

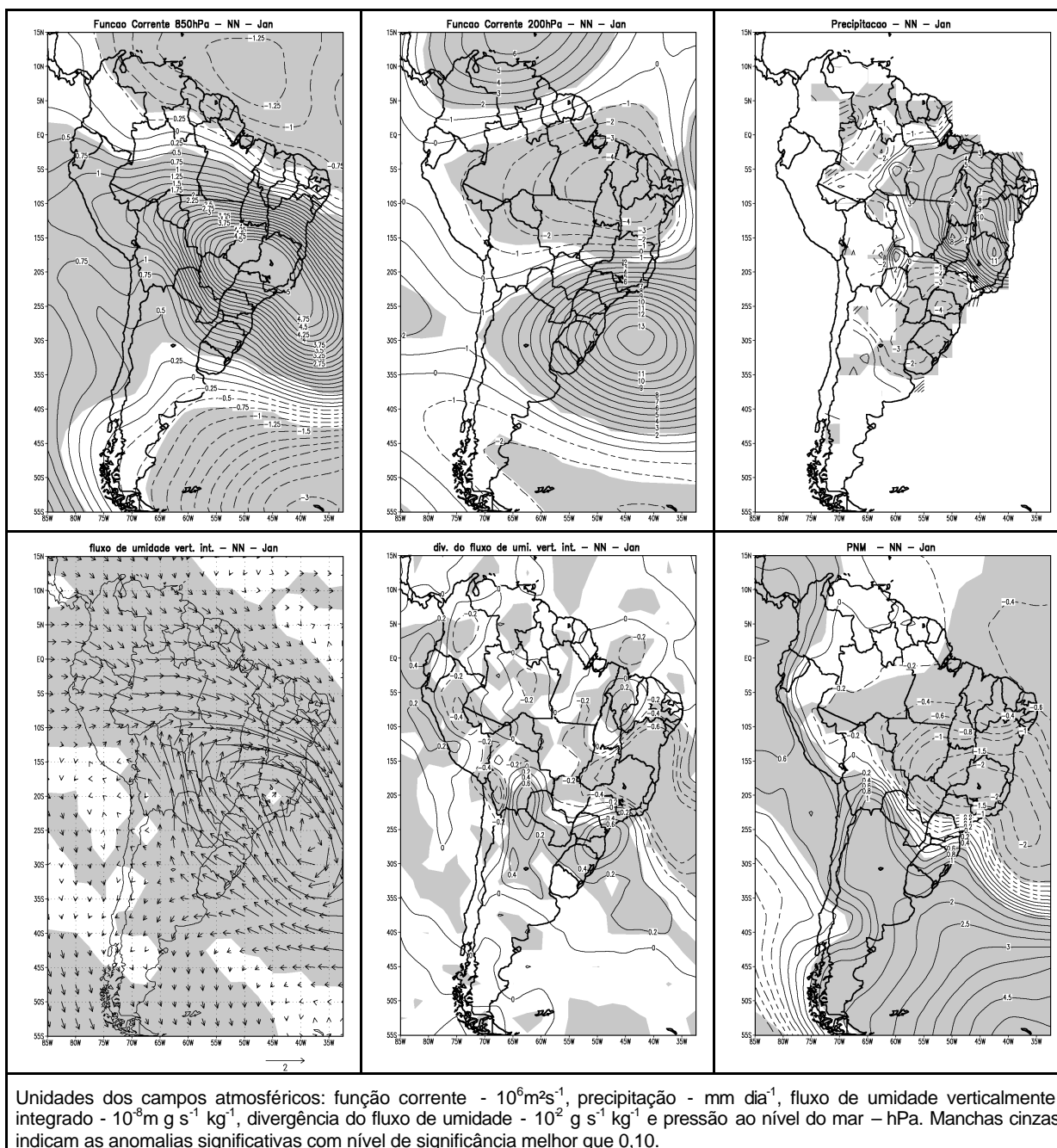


FIGURA 5.13 – REGIÃO a, CENTRO-LESTE DO BRASIL EM JANEIRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPa E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPa, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS NORMAIS.

5.3. NOVEMBRO NA REGIÃO LESTE DO SUL DO BRASIL.

No leste da Região Sul do Brasil, a frequência de eventos extremos na área (b) (Fig. 5.1) também é opostamente afetada por episódios EN e LN em novembro, embora com mais consistência durante anos EN.

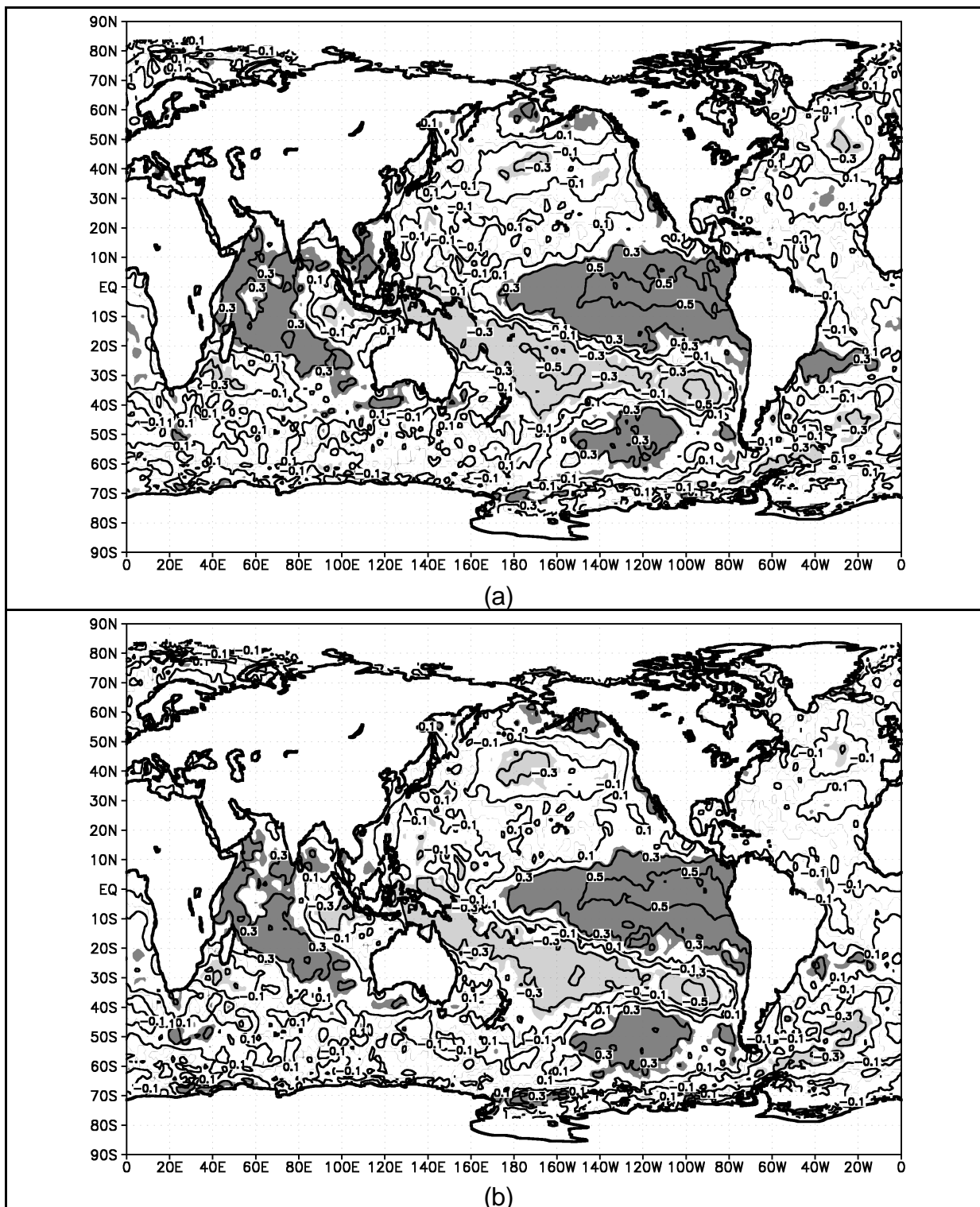
A correlação entre TSM e chuva mensal nesta área (Fig. 5.14a) apresenta um padrão típico de TSM associado com ENOS, o que mostra a associação entre a variação da precipitação mensal com os episódios ENOS. Notam-se também regiões de correlação no Índico e no Atlântico. A correlação com a frequência de eventos extremos (Fig. 5.14b) é muito parecida com a correlação com a chuva média, ou seja, os eventos extremos nessa região são também bastante influenciados pelos episódios ENOS. Há apenas um fortalecimento da correlação no Pacífico extratropical norte, região muito influenciada pela variabilidade interdecadal do Pacífico, o que significa que os eventos extremos na região em estudo têm esta modulação interdecadal.

Para caracterizar os campos atmosféricos anômalos durante eventos extremos em novembro na área (b) no leste da Região Sul indicada na Fig. 5.1, usaram-se os eventos extremos quantificados na Tabela 5.3. Estes números indicam que durante novembro (0) de anos LN o número de eventos extremos diminuiu, enquanto durante anos EN cresceu muito.

TABELA 5.3 – REGIÃO b, LESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS.

EN (11 anos)	LN (9 anos)	NORMAIS (27 anos)
68	21	78

As Fig. 5.3 e 5.4 já mostraram as condições atmosféricas anômalas observadas durante novembro (0) de anos EN e LN, para comparação com os campos anômalos observados durante eventos extremos na região em foco.



Regiões em cinza claro (escuro) indicam correlação significativa negativa (positiva) com nível de significância melhor que 0,05.

FIGURA 5.14 – REGIÃO b, LESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: (a) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E CHUVA MÉDIA DE NOVEMBRO NA REGIÃO; (b) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E A SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO.

Durante episódios EN (Fig. 5.3), anomalias ciclônicas predominam sobre o sudoeste da AS, enquanto anticiclônicas prevalecem nos sub-trópicos a leste. Anomalias opostas são características de episódios LN (Fig. 5.4), embora um pouco deslocadas para sudoeste. Em baixos níveis, as anomalias associadas com EN fortalecem o jato de baixos níveis a leste dos Andes, enquanto as associadas com LN tendem a enfraquecer este jato. Estas anomalias fortalecem o fluxo de umidade para dentro (fora) do Sul do Brasil, com convergência (divergência) de fluxo de umidade nesta região durante episódios EN (LN).

As anomalias médias de função corrente, precipitação, fluxo de umidade e sua divergência e a pressão ao nível do mar durante eventos extremos no litoral da região Sul não apresentam significativas diferenças na vizinhança desta região, para anos EN, LN e normais (Fig. 5.15, 5.16 e 5.17). Há anomalias ciclônicas em baixos níveis (função corrente em 850 hPa) e em altos níveis anomalias ciclônica a sudoeste e anti-ciclônica a nordeste da região de estudo, com fortalecimento do jato subtropical sobre a região. O fluxo de umidade apresenta convergência na região, embora a máxima convergência esteja situada a nordeste. A pressão ao nível do mar apresenta-se abaixo do normal na costa sul e sudeste do Brasil. Portanto, os aspectos gerais destes campos anômalos são similares, não importando se os eventos ocorrem durante episódios EN, LN ou normais. Eles mostram os ingredientes essenciais para precipitação fortalecida: convergência de umidade e situação favorável para levantamento de ar até o nível de condensação.

A comparação das composições para os eventos extremos em anos normais na Fig. 5.17 com as anomalias mensais nas Fig. 5.3 e 5.4 mostra porque a frequência de eventos extremos se altera significativamente entre episódios EN e LN no litoral do Sul do Brasil. Os padrões anômalos nas vizinhanças desta região durante eventos extremos são muito semelhantes às anomalias mensais associadas com episódios EN, mas muito diferentes e até opostas às anomalias mensais observadas durante anos LN. O grande aumento na frequência de eventos extremos é, portanto, devido a condições muito favoráveis de grande escala, enquanto a redução é causada por condições de grande escala que não favorecem precipitação forte e persistente. É interessante lembrar que as composições da Fig. 5.15 foram baseadas em 68 eventos extremos ocorridos na região focalizada durante 11

episódios EN, enquanto as composições da Fig. 5.16 foram obtidas de 21 eventos extremos ocorridos durante 9 episódios LN, o que mostra claramente a grande diferença entre a frequência de eventos extremos durante estas fases opostas de ENOS.

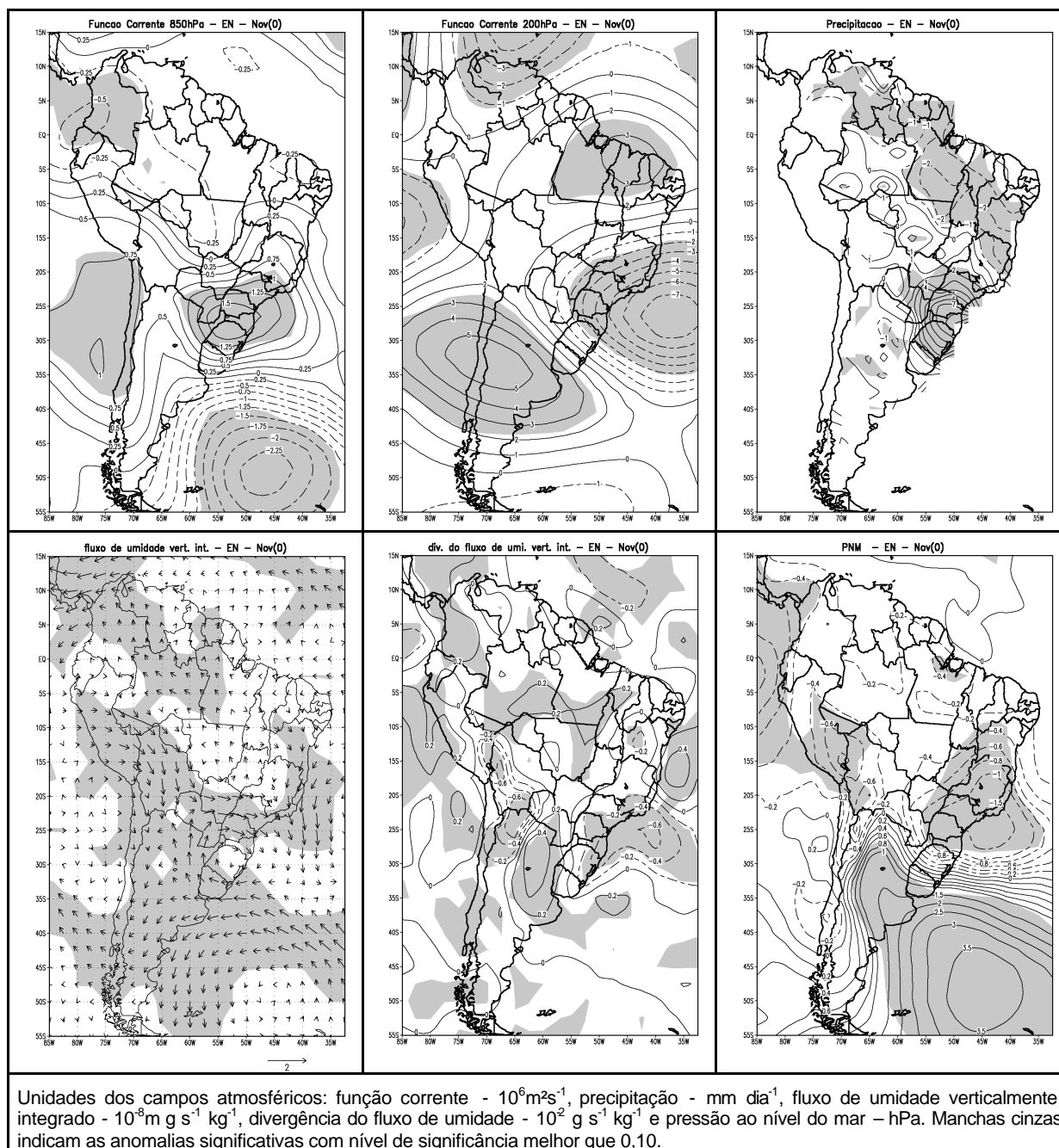


FIGURA 5.15 – REGIÃO b, LESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPa E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPa, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS EL NIÑO.

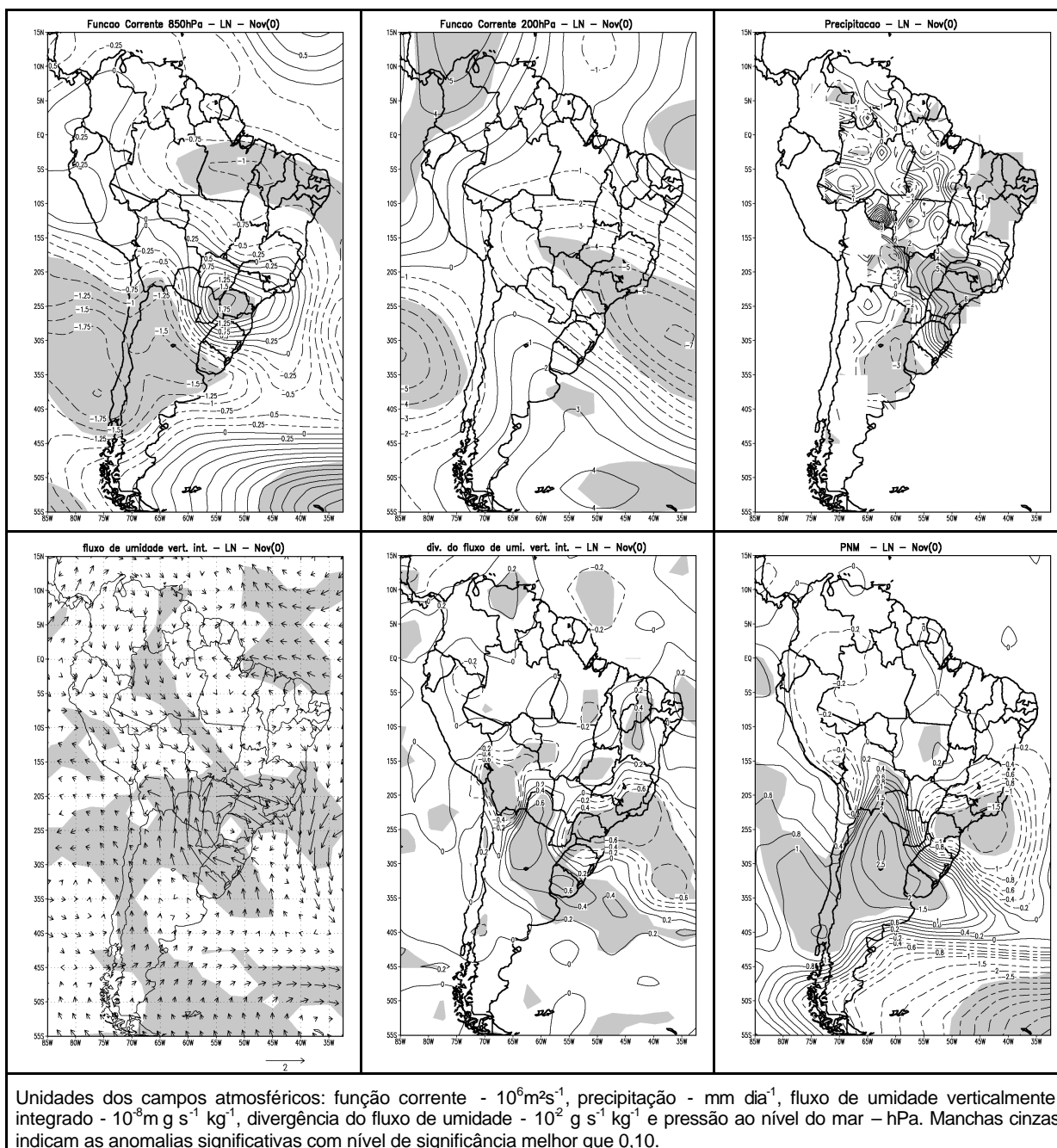


FIGURA 5.16 – REGIÃO b, LESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPa E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPa, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS LA NIÑA.

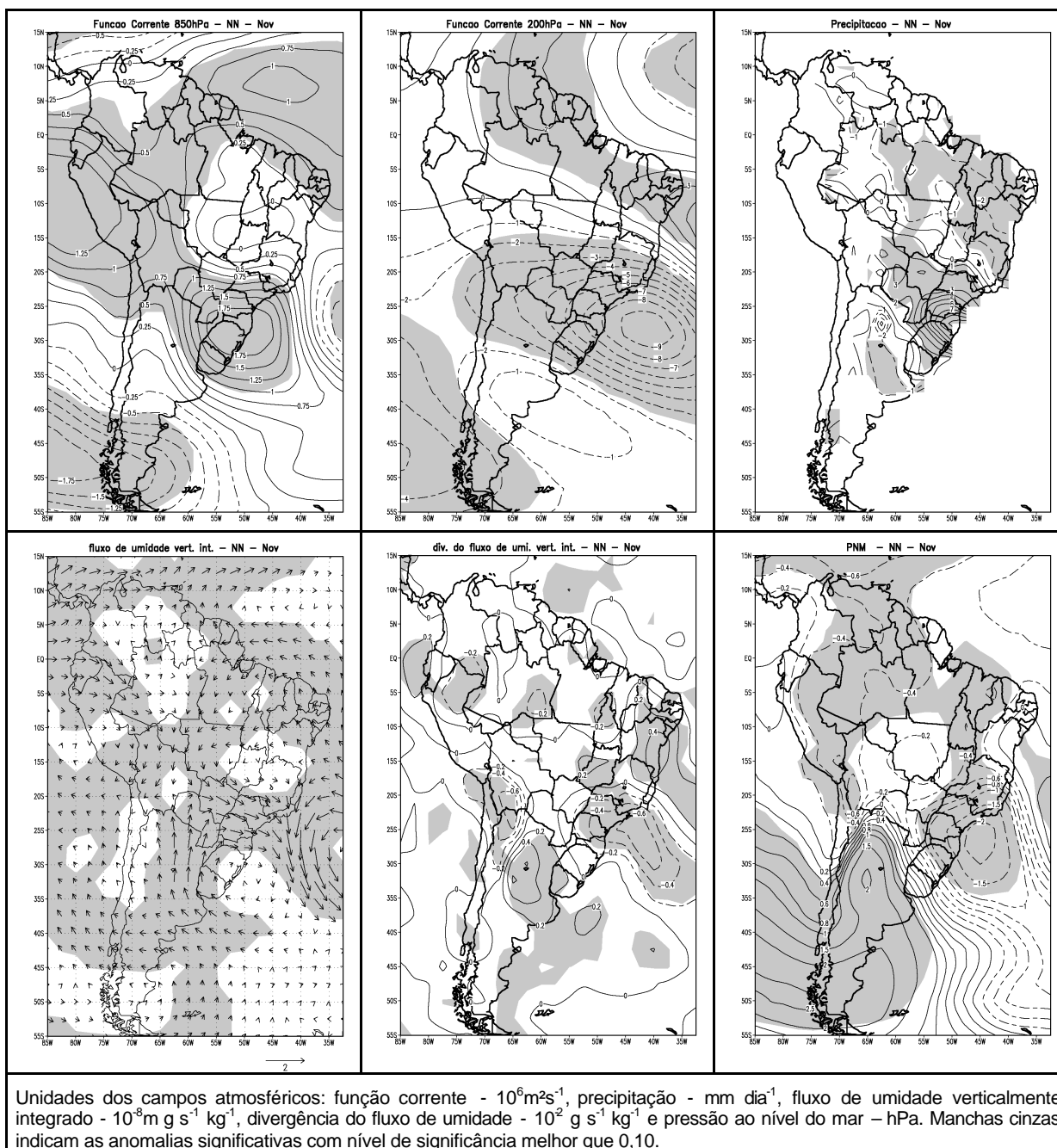


FIGURA 5.17 – REGIÃO b, LESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS NORMAIS.

5.4. NOVEMBRO NA REGIÃO OESTE DO SUL DO BRASIL.

Em novembro (0) a região (c) do Sul do Brasil (Fig. 5.1) é aquela em que provavelmente há a maior simetria no impacto de episódios EN e LN sobre os eventos extremos, além de serem muito consistentes.

No geral, a correlação entre a temperatura TSM e a chuva mensal (Fig. 5.18a) é similar à correlação entre TSM e a frequência de eventos extremos (Fig. 5.18b), indicando predominante influência de episódios ENOS, devido ao padrão desta correlação no Oceano Pacífico. Há, entretanto, algumas diferenças no Atlântico Norte e no Pacífico Norte. Como nestas regiões há influência forte da Variabilidade Multidecadal do Atlântico e da Variabilidade Interdecadal do Pacífico (ENFIELD e MESTAZ-NUÑEZ, 1999), estas diferenças podem indicar a modulação interdecadal da frequência de eventos extremos de precipitação na região de estudo.

Comparando as Fig. 5.14 e 5.18, é possível verificar que os padrões de correlação com TSM são muito parecidos, ou seja, o que causa chuva ou evento extremo no leste da região Sul, também tem influência no oeste da mesma região. Contudo, isso não significa que as chuvas estejam ocorrendo no mesmo dia.

Para caracterizar os campos atmosféricos anômalos durante eventos extremos em novembro no oeste da Região Sul, indicada na Fig. 5.1c, usaram-se os eventos extremos quantificados na Tabela 5.4. Estes números indicam que durante novembro (0) de anos LN o número de eventos extremos diminuiu muito, enquanto durante anos EN cresceu muito. A diferença é mais marcante que no leste da Região Sul (Tabela 5.3).

TABELA 5.4 – REGIÃO c, OESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS.

EN (11 anos)	LN (9 anos)	NORMAIS (27 anos)
69	11	68

A análise das anomalias mensais dos campos atmosféricos para a região Sul do Brasil em novembro (0) de episódios ENOS já foi feita no item anterior (Fig. 5.3 e 5.4).

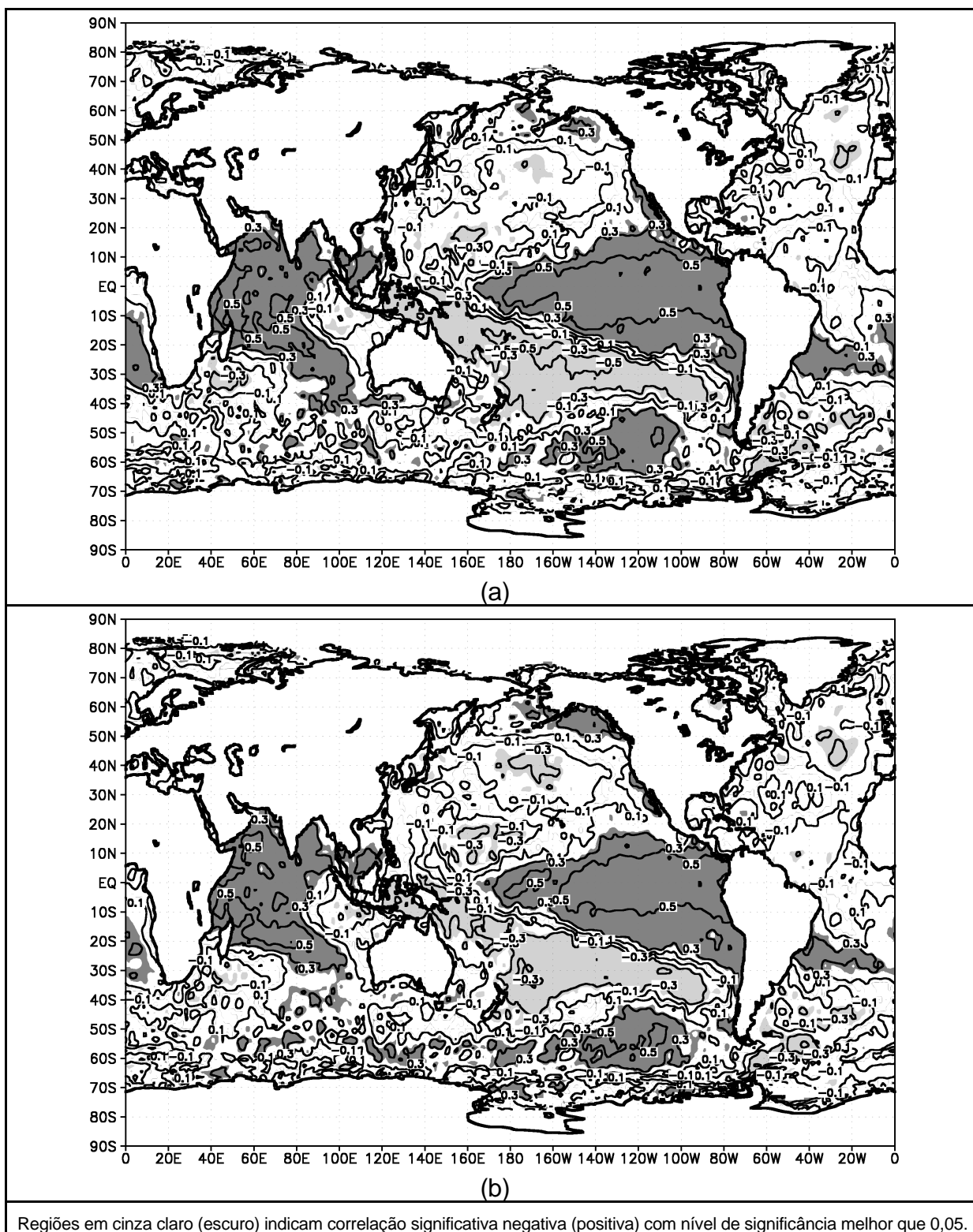


FIGURA 5.18 – REGIÃO c, OESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: (a) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E CHUVA MÉDIA DE NOVEMBRO NA REGIÃO; (b) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E A SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO.

Os campos da anomalia durante eventos extremos no oeste da região Sul do Brasil são muito parecidos nos anos EN, LN e normais (Fig. 5.19, 5.20 e 5.21), nas proximidades da região de estudo. Em baixos níveis há circulação anômala ciclônica na região, a qual, combinada com a circulação anticiclônica a nordeste, fortalece o jato de baixos níveis a leste dos Andes, trazendo muita umidade do norte da América do Sul para a região, onde ocorre significativa convergência de umidade. Em altos níveis, o jato subtropical fortalece-se sobre a região devido à anomalia ciclônica à sudoeste e anticiclônica a nordeste da região de estudo. A pressão ao nível do mar sofre queda significativa na região. Estes padrões anômalos são significativos e levam ao aumento da chuva na região.

É interessante notar que os padrões anômalos associados a eventos extremos no oeste (Fig. 5.19, 5.20 e 5.21) e no leste da Região Sul (Fig. 5.15, 5.16 e 5.17) diferem basicamente por um deslocamento de sudoeste para nordeste, o que indica que freqüentemente o mesmo sistema que ocasionou eventos extremos no oeste pode causar eventos extremos no leste após alguns dias, apenas pelo seu deslocamento. O fluxo de umidade para a região oeste provém do Norte do Brasil enquanto para a região leste provem mais do Brasil Central– Atlântico Sul.

Ao comparar as composições de eventos extremos em anos normais (Fig. 5.21), que não contem anos EN e LN, com as anomalias médias mensais em episódios EN e LN, das Fig. 5.3 e 5.4, é fácil perceber por que há aumento de eventos extremos durante EN e uma diminuição durante LN. Os campos anômalos médios de EN são muito parecidos com os que ocorrem durante os eventos extremos, ou seja, episódios EN favorecem a ocorrência de eventos extremos porque as perturbações produzidas por estes episódios são parecidas com aquelas que produzem eventos extremos na região em estudo. Já os campos anômalos mensais para LN são opostos aos de eventos extremos, dificultando a ocorrência de eventos extremos durante estes episódios. Poucos sistemas sinóticos conseguem sobrepor-se às perturbações produzidas por episódios LN na região.

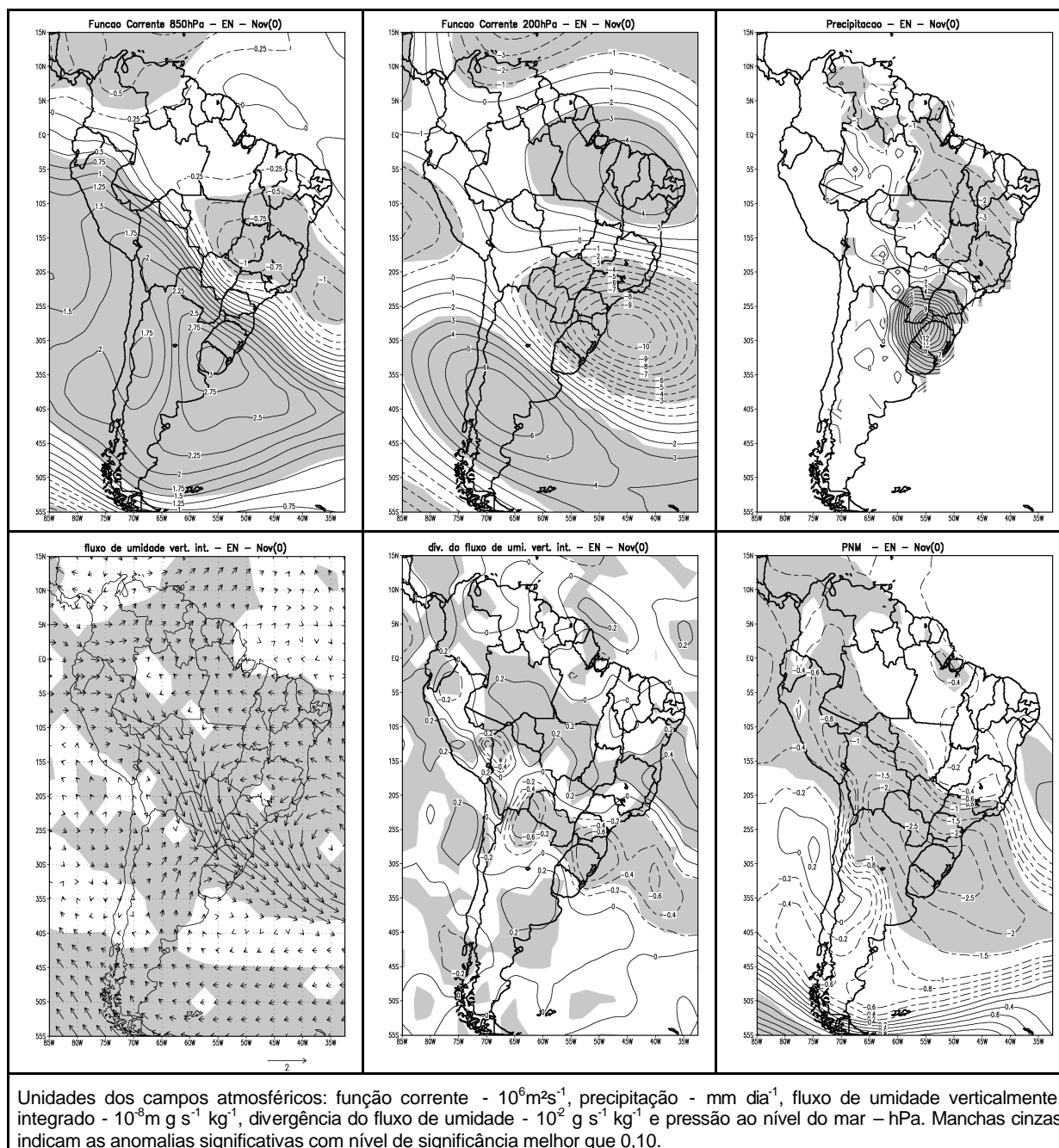


FIGURA 5.19 – REGIÃO c, OESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPa E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPa, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS EL NIÑO.

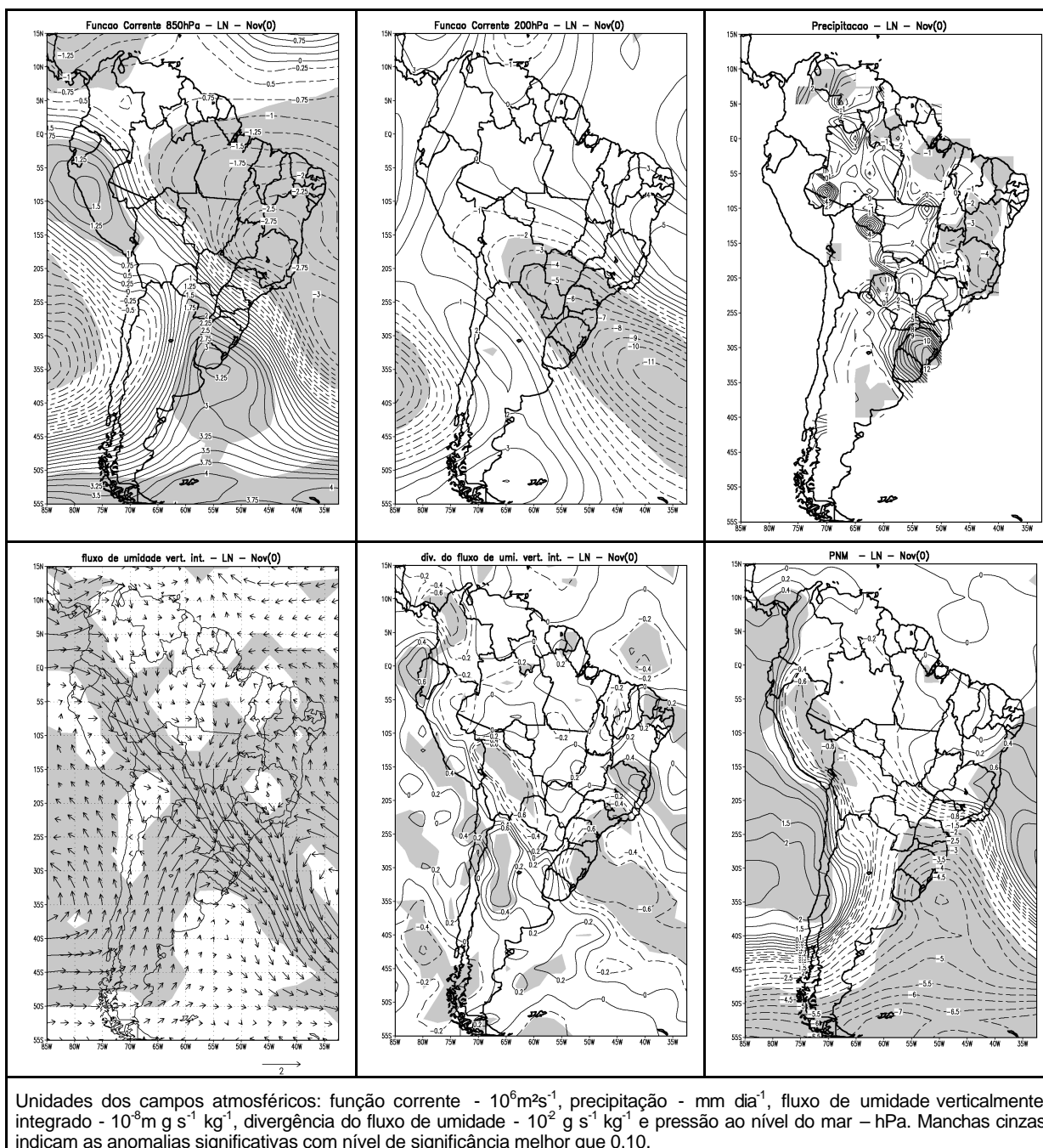


FIGURA 5.20 – REGIÃO c, OESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS LA NIÑA.

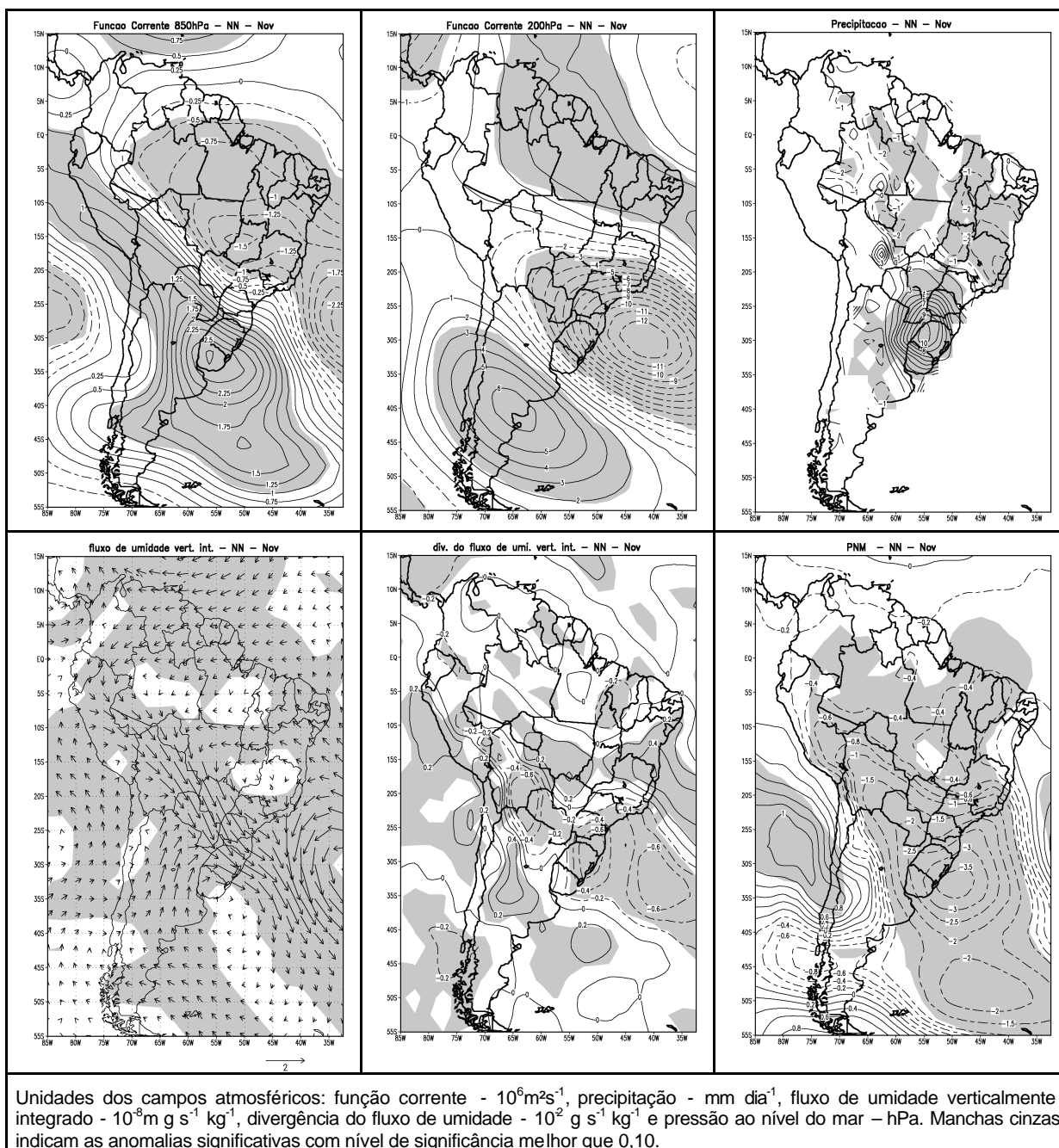


FIGURA 5.21 – REGIÃO c, OESTE DO SUL DO BRASIL EM NOVEMBRO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS NORMAIS.

5.5. ABRIL NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL.

Há impacto consistente de episódios ENOS na frequência de eventos extremos em parte do Nordeste do Brasil, na área (d) da Fig. 5.1. Em março (+) de episódios EN há diminuição significativa destes eventos, enquanto em abril (+) de episódios LN há aumento significativo (Fig. 3.1 e 3.2). Como é mais importante estudar as condições associadas com o aumento da chuva forte, foi selecionado o mês de abril (+).

O mapa de correlação entre a TSM e a chuva média mensal na região em estudo (Fig. 5.22a) mostra valores significativos no Pacífico e no Atlântico. Os padrões no Pacífico reproduzem os padrões de anomalias de TSM durante os episódios ENOS, o que indica uma influência remota destes episódios sobre a chuva da região estudada, ocorrendo chuva acima (abaixo) do normal quando ocorre um resfriamento (aquecimento) do Pacífico equatorial central-leste em episódio LN (EN). Próximo à região de estudo há um padrão positivo no Atlântico equatorial sul e um padrão negativo no Atlântico Norte. Portanto, quando há gradiente de TSM dirigido para o sul, através do equador, há acréscimo na chuva da região. Os padrões no Pacífico Norte e Atlântico Norte indicam a influência da Variabilidade Interdecadal do Pacífico e Multidecadal do Atlântico (ENFIELD e MESTAS-NUÑEZ, 1999). O mapa de correlação entre a TSM e a frequência de eventos extremos (Fig. 5.22b) mostra padrões semelhantes, embora com pequeno aumento do gradiente no Atlântico.

Para caracterizar os campos atmosféricos anômalos durante eventos extremos em abril (+) no Nordeste do Brasil (Fig. 5.1d), usaram-se os eventos extremos quantificados na Tabela 5.5. Estes números indicam que durante abril (+) de anos LN o número de eventos extremos cresceu muito, enquanto durante anos EN não se alterou significativamente.

TABELA 5.5 – REGIÃO d, NORDESTE DO BRASIL EM ABRIL: NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS.

EN (11 anos)	LN (9 anos)	NORMAIS (27 anos)
37	67	67

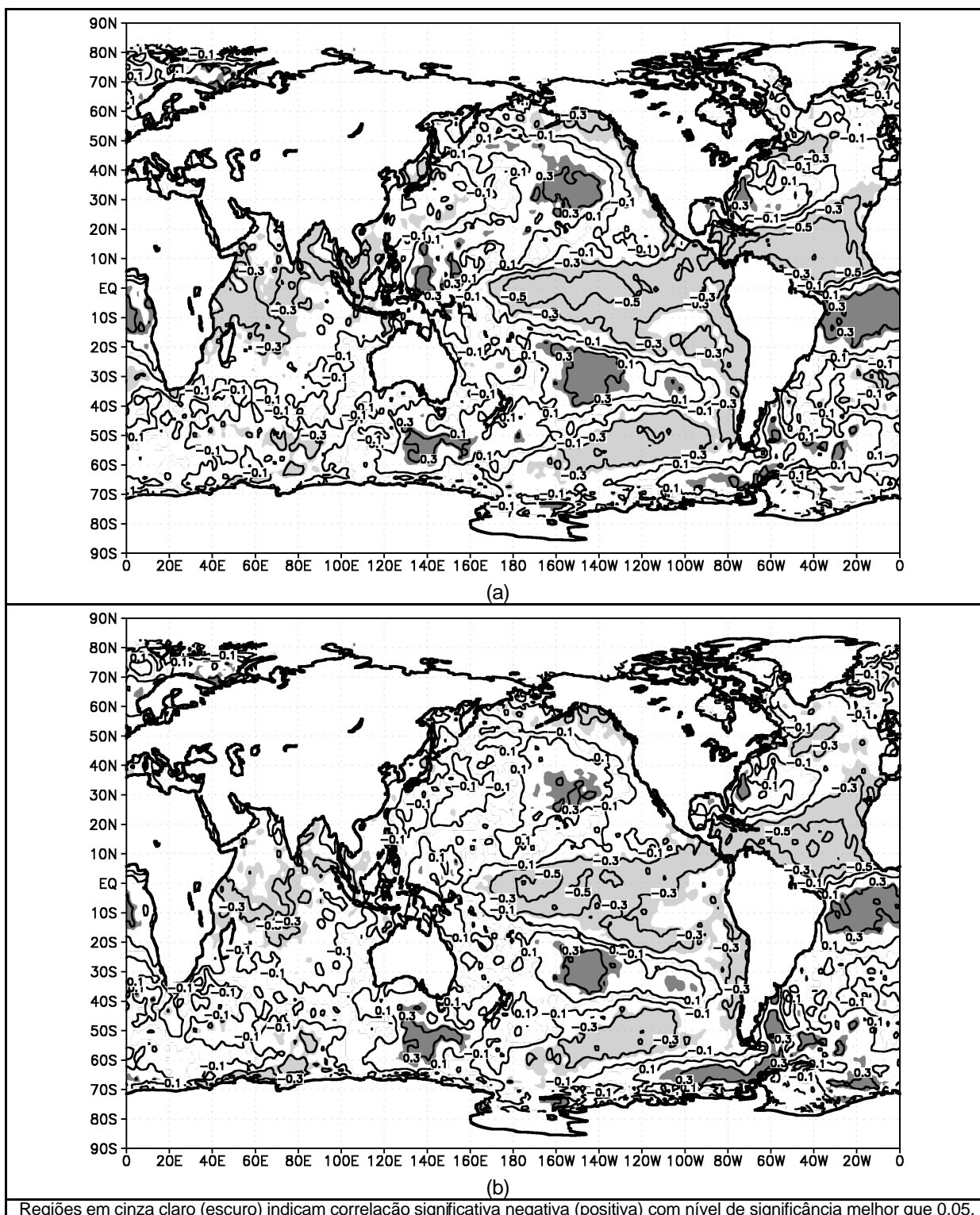


FIGURA 5.22 – REGIÃO d, NORDESTE DO BRASIL EM ABRIL: (a) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E CHUVA MÉDIA DE NOVEMBRO NA REGIÃO; (b) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E A SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO.

As Fig. 5.23 e 5.24 mostram os campos atmosféricos anômalos para o mês de abril (+) em anos EN e LN. Durante episódios EN (Fig. 5.23) aparecem anomalias anticiclônicas em baixos níveis sobre o Nordeste e Atlântico equatorial, em ambos os lados do equador, enquanto em altos níveis as anomalias são ciclônicas. Estes padrões são associados com subsidência anômala e deficiência de chuvas. Isto está associado a divergência anômala em baixos níveis junto ao equador, o que aparece no mapa de fluxo de umidade e na divergência de umidade. O oposto ocorre em episódios LN (Fig. 5.24) e, neste caso, parte das anomalias aparece como significativa. Como resultado, há convergência em baixos níveis sobre o Nordeste e mais precipitação.

As Fig. 5.25, 5.26 e 5.27 mostram os campos atmosféricos anômalos durante a ocorrência de eventos extremos em anos EN, LN e normais, respectivamente. Há muitas diferenças sobre o domínio mostrado, mas os ingredientes são os mesmos sobre a região de estudo: circulação ciclônica em baixos níveis, anticiclônica em altos níveis, com convergência em baixos níveis sobre o Nordeste e Atlântico equatorial sul, com vento cruzando o equador de norte para sul, e vento do Atlântico subtropical sul para o Atlântico equatorial sul, mostrando o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para sul do equador. Há também gradiente de pressão cruzando o equador no Atlântico, com sentido oposto ao do gradiente de TSM (Fig. 5.22a, b). Estes aspectos produzem convergência de vento e umidade sobre o Nordeste e Atlântico equatorial sul, produzindo lá mais chuva.

Ao comparar as anomalias durante eventos extremos de anos normais (Fig. 5.27) com as anomalias médias mensais durante episódios EN e LN (Fig. 5.23 e 5.24), nota-se uma grande semelhança com as anomalias de LN (Fig. 5.24) e é por isso que ocorre um aumento dos eventos extremos durante LN: as perturbações produzidas por estes episódios são favoráveis a ocorrência de eventos extremos de chuva. Já a Fig. 5.23 tem padrões opostos aos da Fig. 5.27 e por isso há uma diminuição dos eventos extremos durante EN.

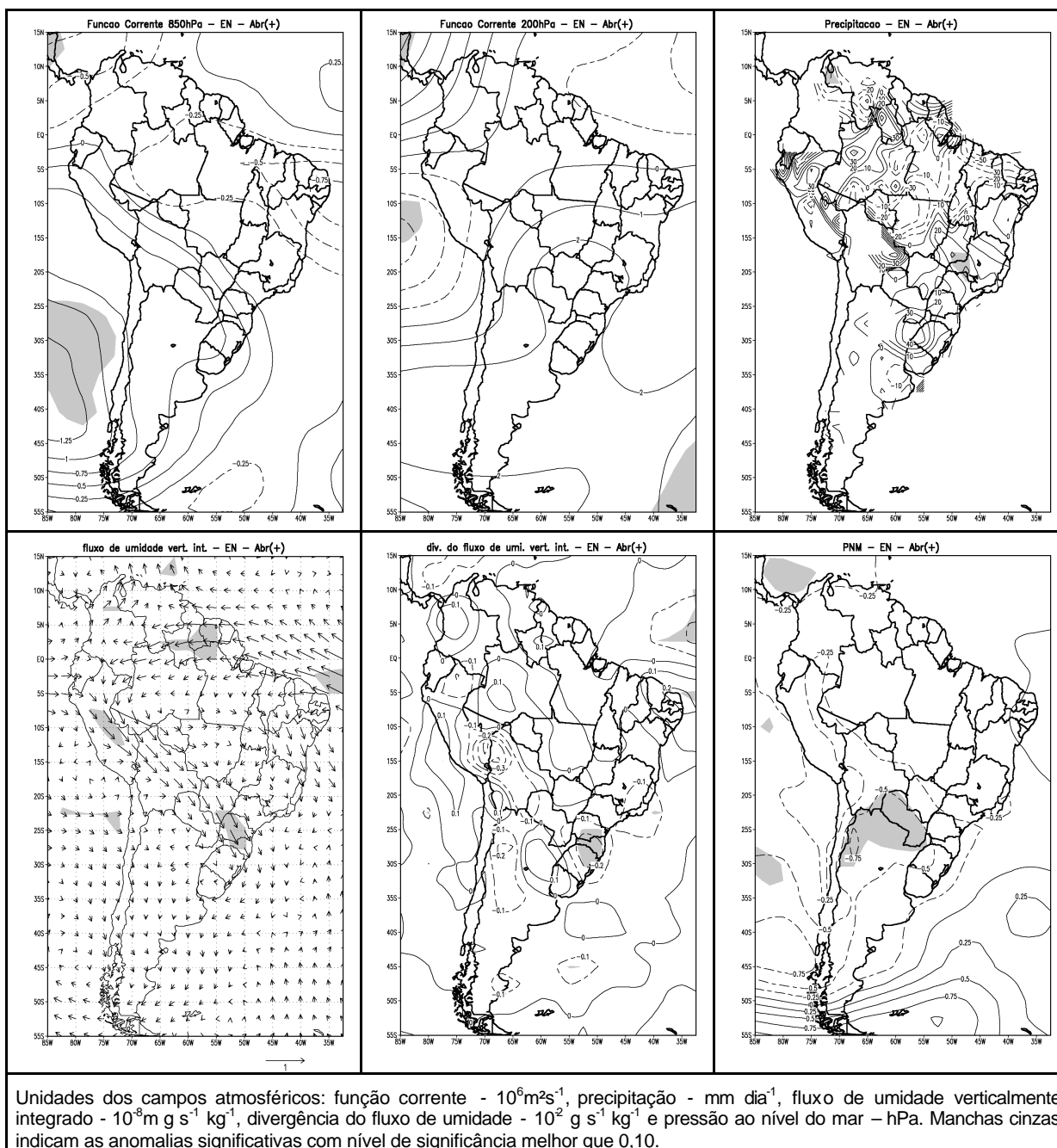


FIGURA 5.23 – ABRIL (+) DE ANOS EL NIÑO: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS MENSAIS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREITA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR.

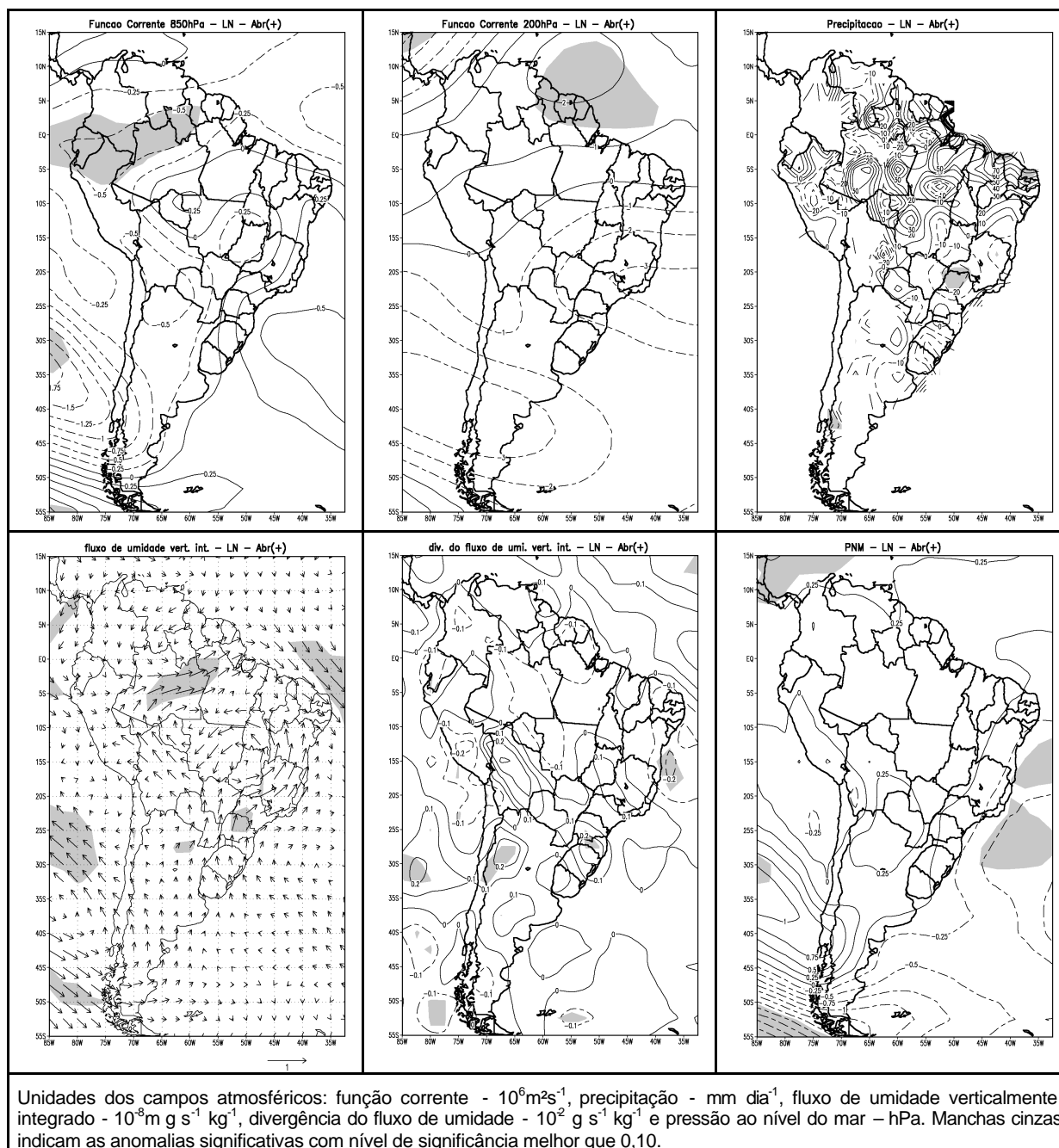


FIGURA 5.24 – ABRIL (+) DE ANOS LA NIÑA: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS MENSAIS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR.

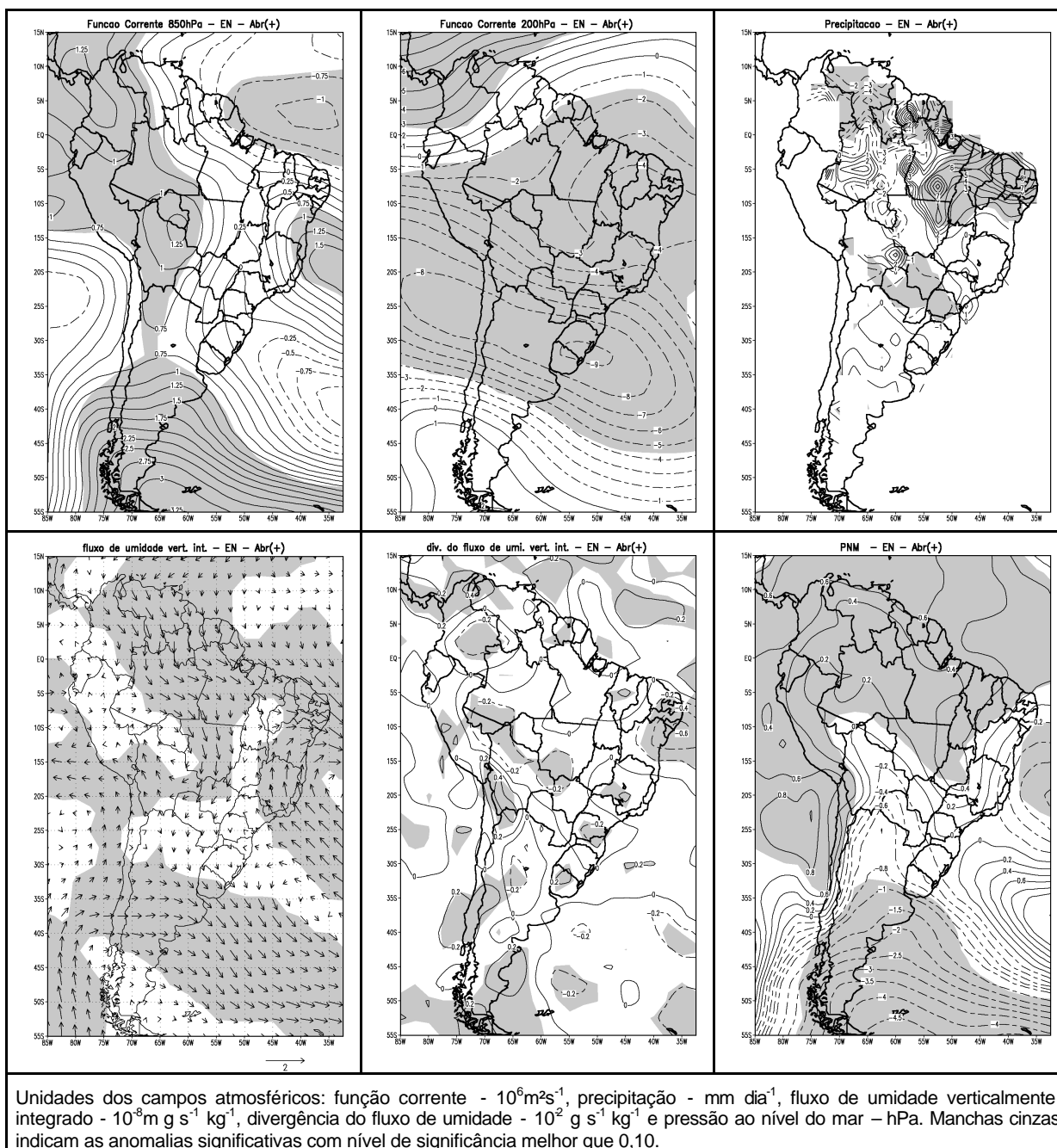


FIGURA 5.25 – REGIÃO d, NORDESTE DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS EL NIÑO.

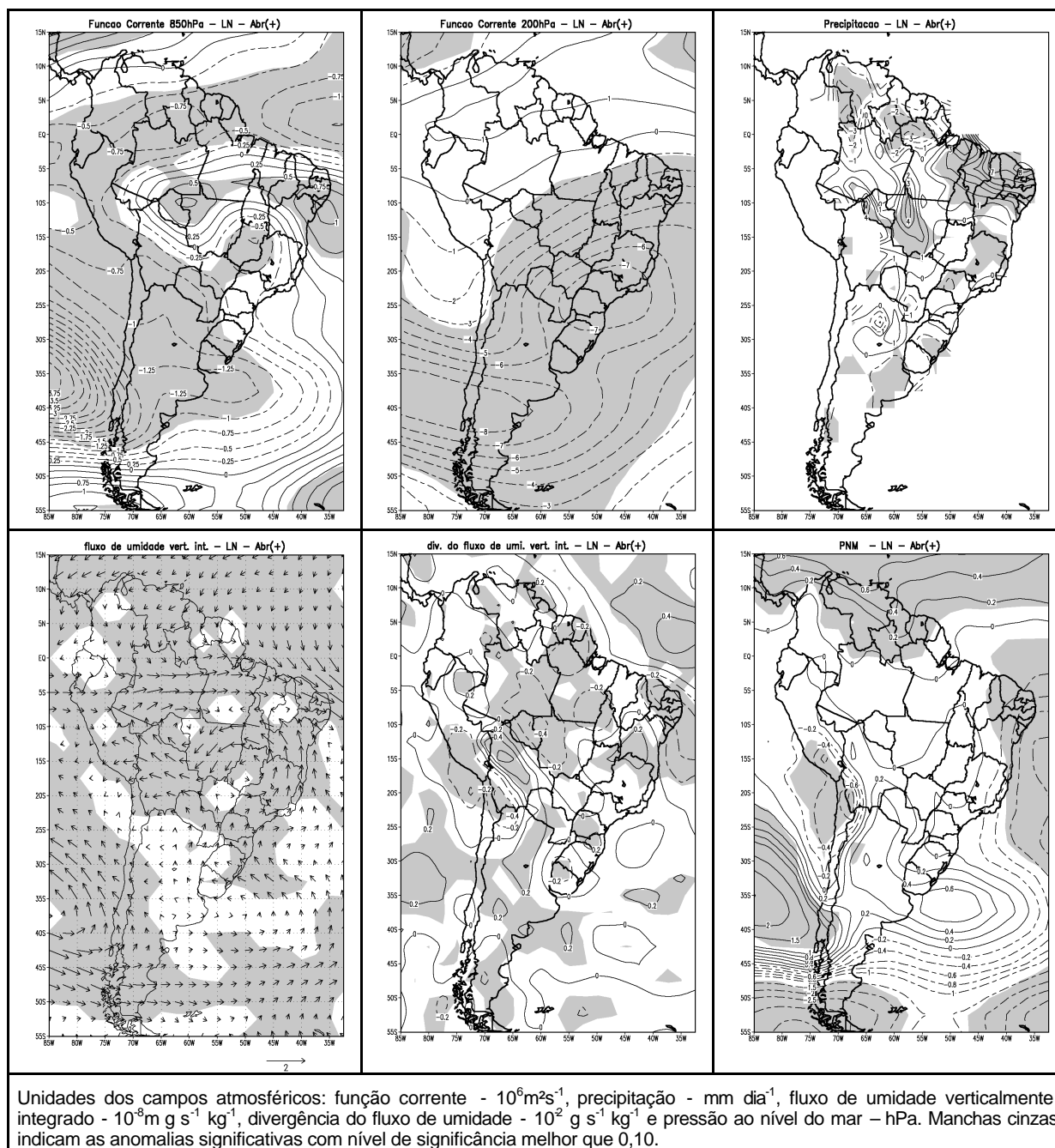


FIGURA 5.26 – REGIÃO d, NORDESTE DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFEIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFEIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS LA NIÑA.

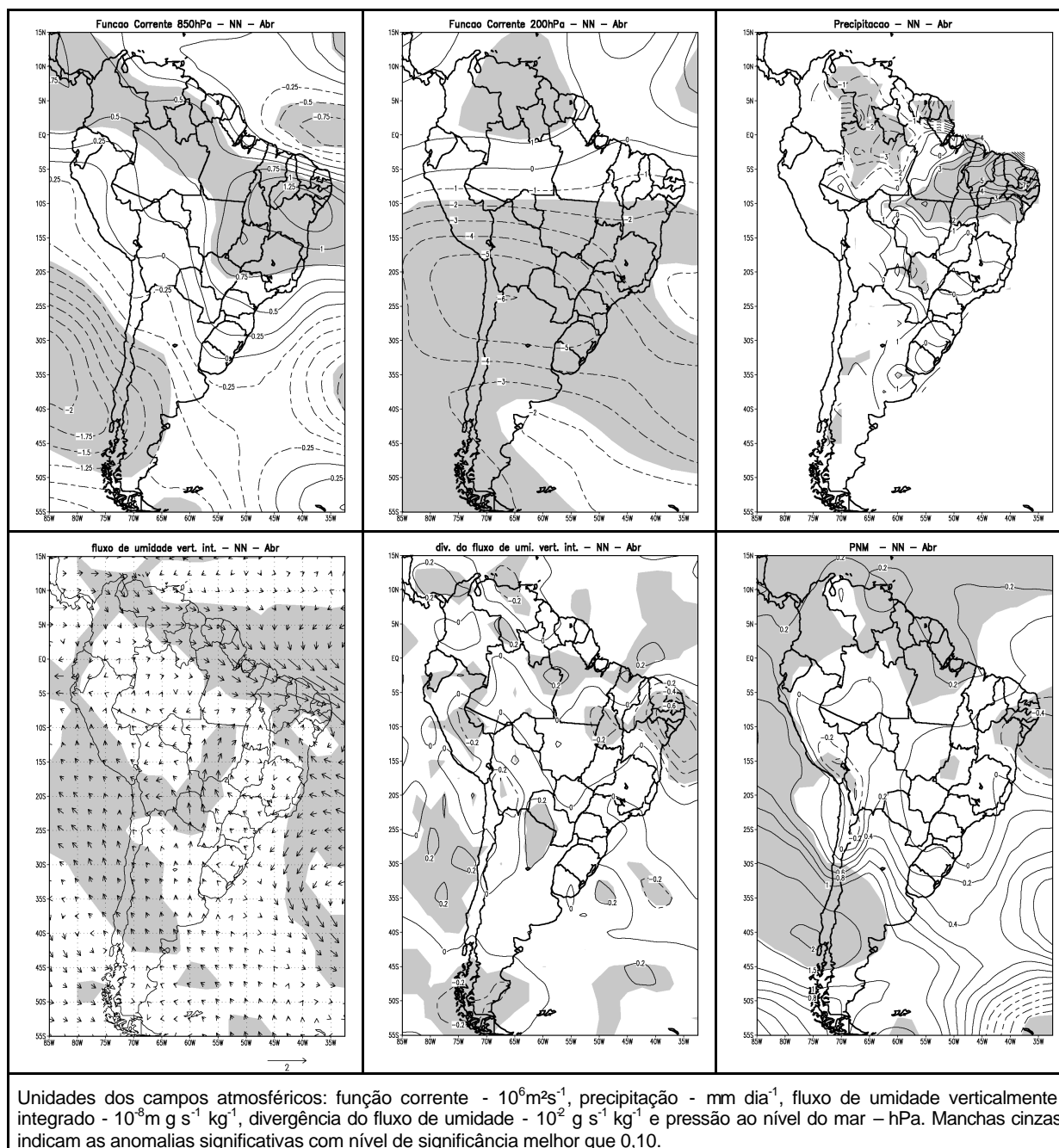


FIGURA 5.27 – REGIÃO d, NORDESTE DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREITA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS NORMAIS.

5.6. ABRIL NA REGIÃO SUL DO BRASIL.

O estudo de eventos extremos na área (e) da Região Sul durante abril (Fig. 5.1) é importante devido à ocorrência de várias enchentes na Bacia do Prata em maio (+) de episódios EN. Essas enchentes podem ocorrer devido às fortes chuvas que ocorrem durante abril (+) e maio (+) de EN, pois existe uma defasagem entre as chuvas e as vazões máximas (CAMILLONI; BARROS, 2000). Como o máximo sinal na frequência de eventos extremos sobre a Bacia do Paraná ocorre em abril (+) de anos EN (Fig. 3.1), esta foi a época selecionada para estudo. Não existe sinal consistente em abril (+) de episódios LN nesta região.

A correlação entre a TSM e a chuva média mensal na região (Fig. 5.28a), mostra um padrão no Pacífico, indicando que o aumento da chuva mensal está relacionado com a ocorrência dos episódios ENOS. Há também fortes padrões no Atlântico e no Índico. Todos esses padrões são de coeficientes positivos, o que significa que o aumento da TSM nessas regiões ocorre conjuntamente com o aumento da chuva mensal. O mesmo ocorre para os eventos extremos, pois os padrões de correlação entre a TSM e a frequência de eventos extremos são semelhantes. A alteração da TSM no Atlântico, ao longo de toda a costa do Brasil, pode estar relacionada com a diminuição da pressão ao nível do mar ao longo desta região. Sinais no Atlântico Norte e Pacífico Norte indicam modulação interdecadal da chuva.

Para caracterizar os campos atmosféricos anômalos durante eventos extremos em abril (+) no Sul do Brasil (quadricula (e) da Fig. 5.1), usaram-se os eventos extremos quantificados na Tabela 5.6. Estes números indicam que durante abril (+) de anos EN o número de eventos extremos cresceu muito, enquanto durante anos LN não se alterou significativamente.

TABELA 5.6 – REGIÃO e, SUL DO BRASIL EM ABRIL: NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS.

EN (11 anos)	LN (9 anos)	NORMAIS (27 anos)
62	32	75

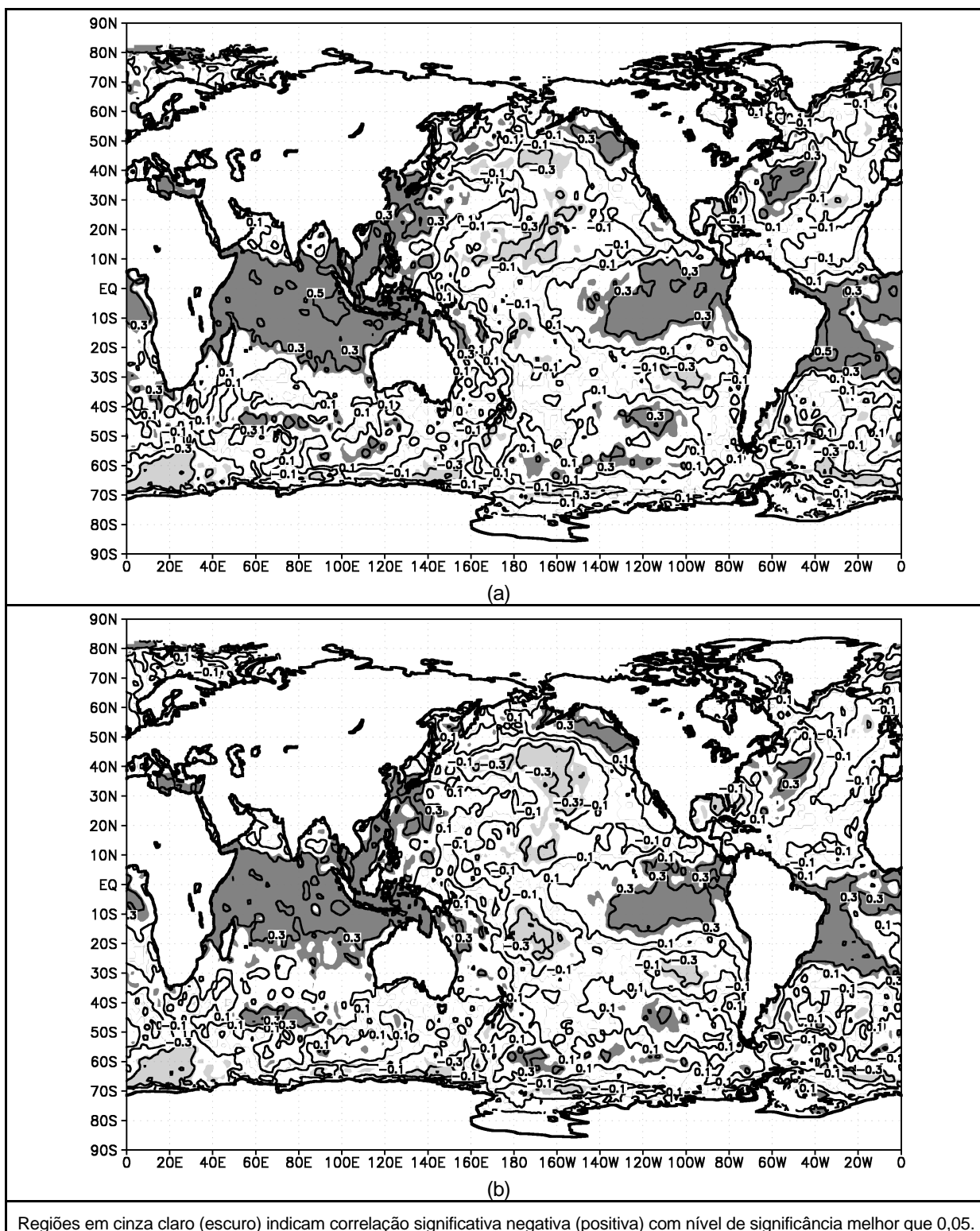


FIGURA 5.28 – REGIÃO e, SUL DO BRASIL EM ABRIL: (a) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E CHUVA MÉDIA DE NOVEMBRO NA REGIÃO; (b) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E A SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO.

A análise das composições de anomalias mensais para abril (+) de anos EN e LN foi feita anteriormente para a Região Nordeste. Como agora o foco de estudo é a Região Sul do Brasil, nordeste da Argentina e sudeste do Paraguai, é necessário fazer a análise para esta região.

A Fig. 5.23, retratando as anomalias produzidas em abril (+) de anos EN, mostra um padrão anômalo ciclônico na função corrente em 850 hPa a sudoeste da América do Sul, que se estende até o Atlântico. Este padrão, associado com anomalia anticiclônica no Nordeste, produz um escoamento meridional anômalo do norte da América do Sul para o Sul do Brasil, trazendo umidade que converge na região (único padrão significativo) e anomalias positivas de precipitação. A pressão ao nível do mar tem anomalia negativa no sudoeste da América do Sul, estendendo-se até o Atlântico.

Já a Fig. 5.24, retratando as anomalias produzidas em abril (+) de anos LN, mostra anomalias de sinal contrário sobre a região de estudo, embora mais fracas, conduzindo a anomalias negativas de precipitação.

Os campos de anomalias para eventos extremos em abril (+) durante EN, LN e normais (Fig. 5.29, 5.30 e 5.31) são parecidos na região de estudo: baixa pressão ao nível do mar, anomalia ciclônica em baixos níveis, com centro a sudoeste da região, anomalia anticiclônica em altos níveis, com centro ciclônico a sudoeste, deslocado para oeste em relação ao centro de baixos níveis. Graças a este padrão, há forte fluxo de umidade do norte convergindo sobre a região. A intensidade da precipitação sofre um acréscimo durante eventos extremos e a pressão um decréscimo. As anomalias durante eventos extremos de anos normais (Fig. 5.31) são muito mais parecidas com a situação de EN na região de estudo (Fig. 5.23) do que com a situação de LN e, por isto, há grande favorecimento de eventos extremos durante episódios EN.

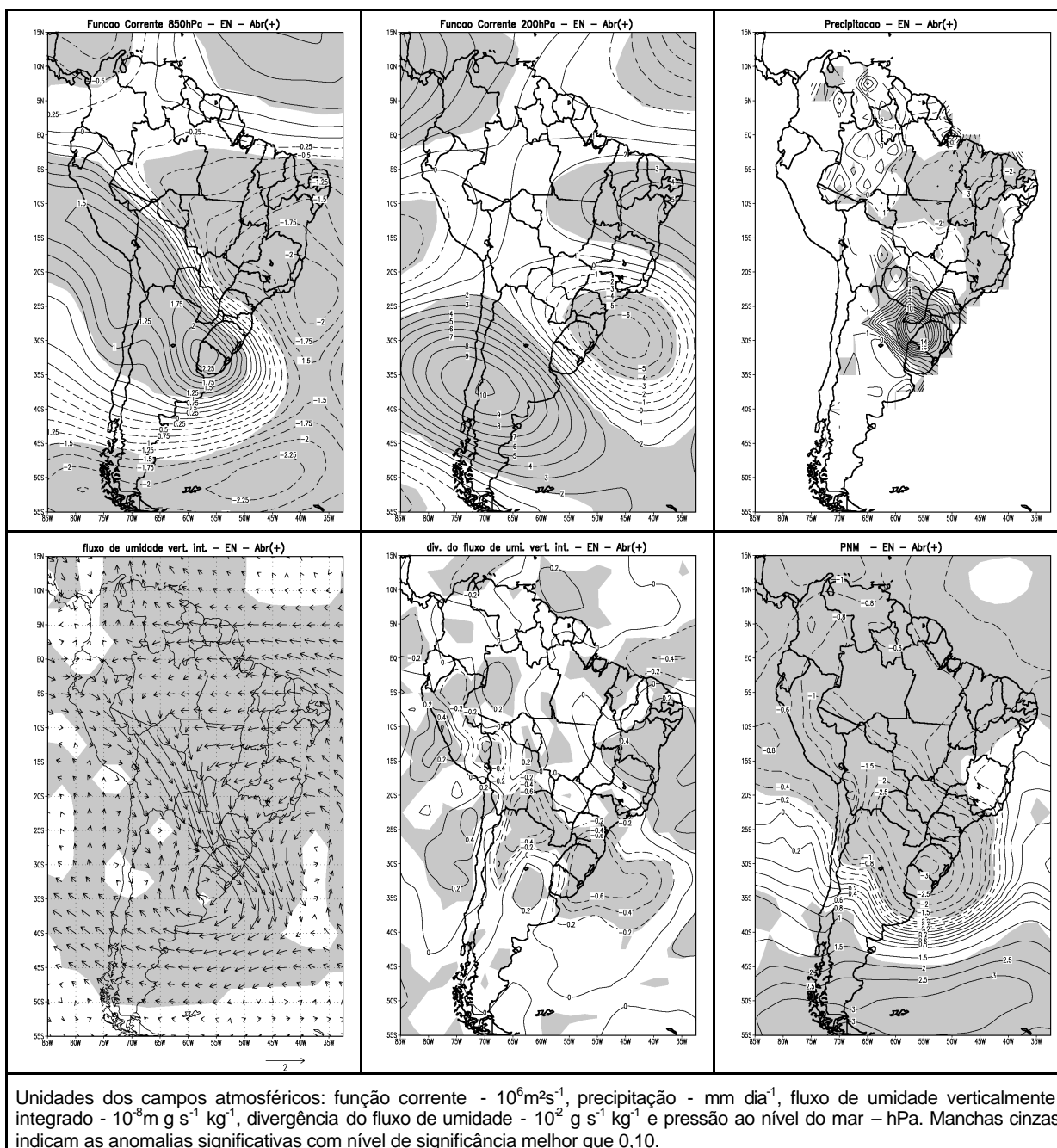


FIGURA 5.29 – REGIÃO e, SUL DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREITA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS EL NIÑO.

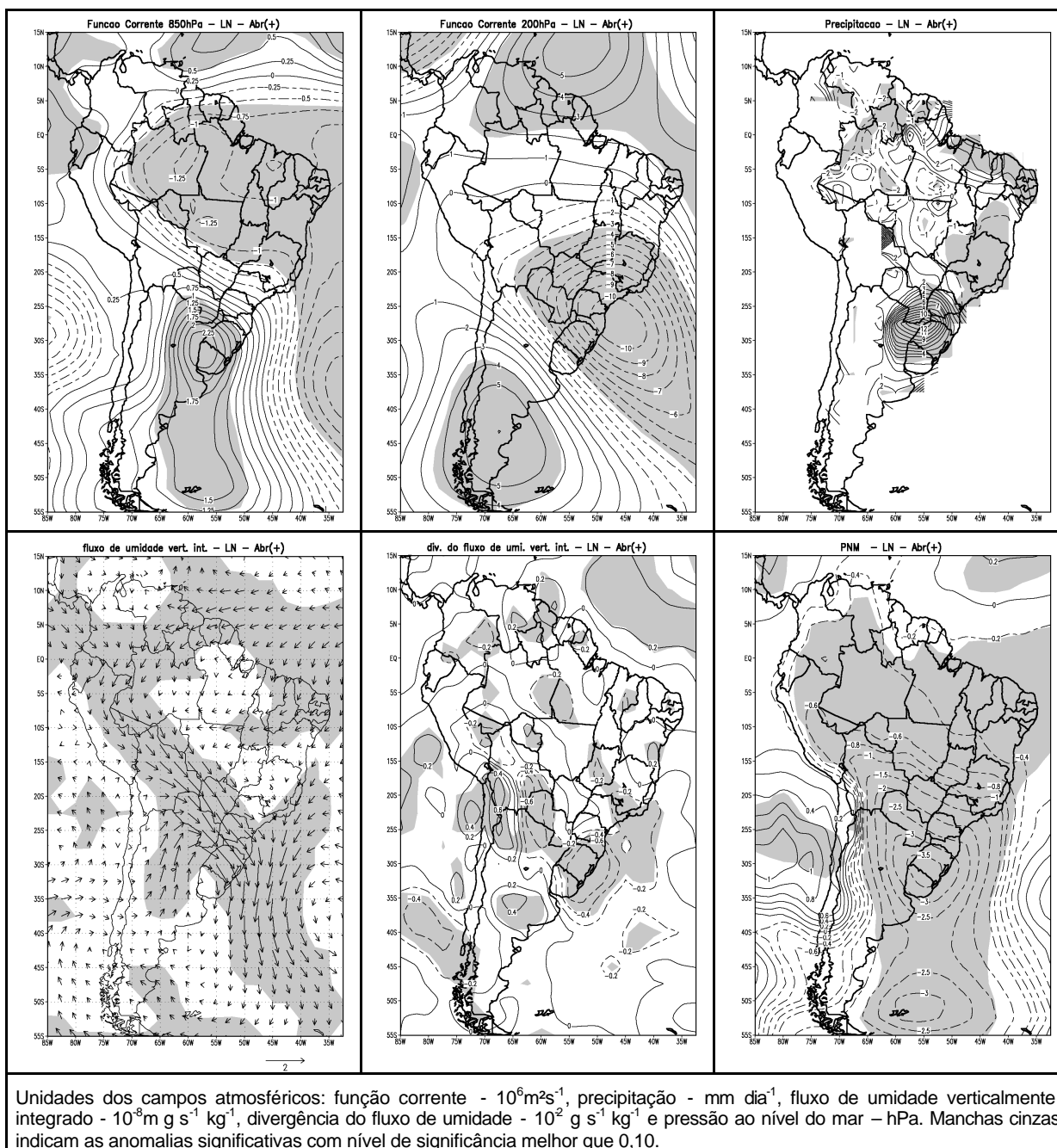


FIGURA 5.30 – REGIÃO e, SUL DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREITA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS LA NIÑA.

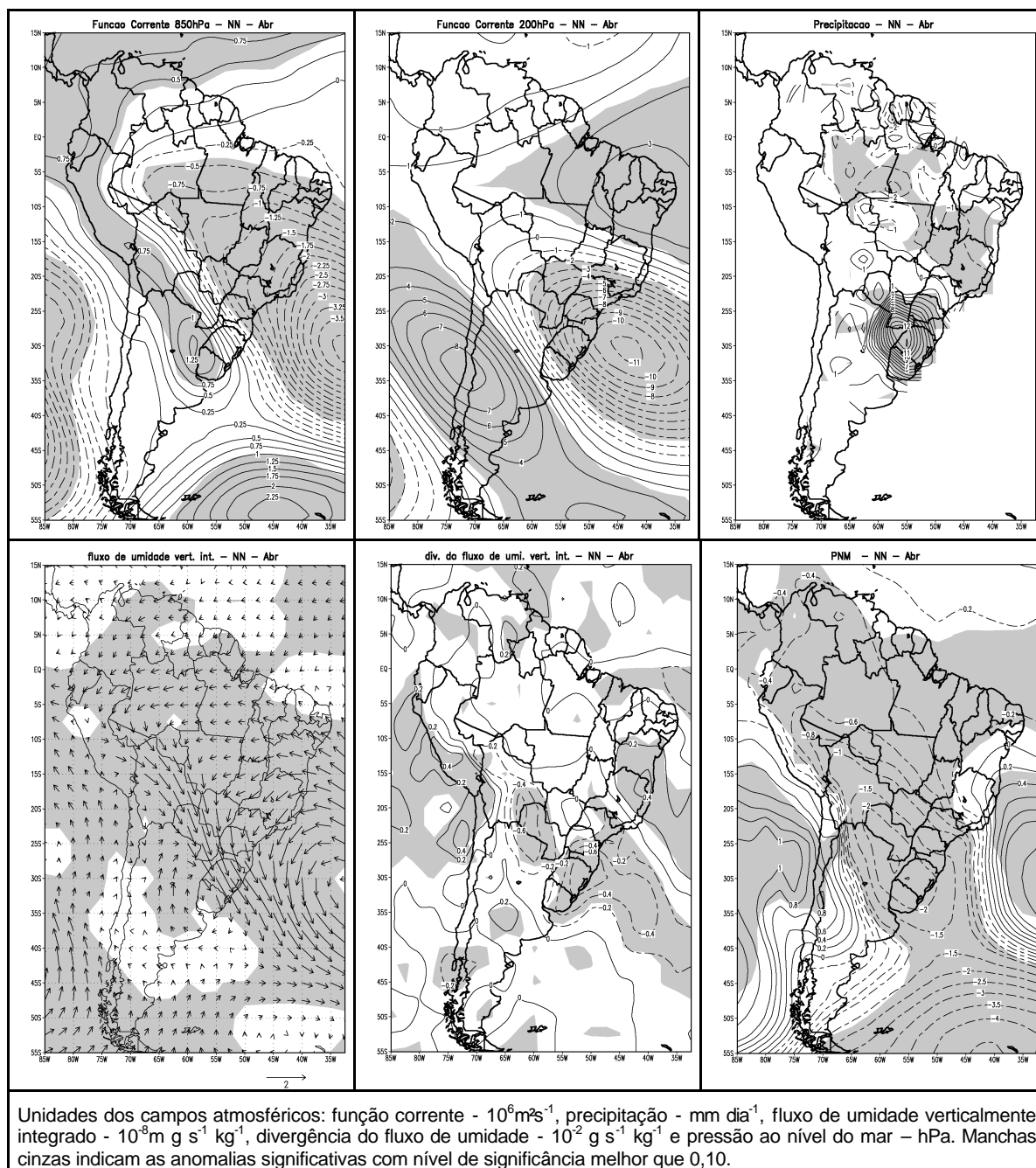


FIGURA 5.31 – REGIÃO e, SUL DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREITA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS NORMAIS.

5.7. ABRIL NA REGIÃO NORTE DO BRASIL.

O estudo da diferença de eventos extremos entre anos LN e normais (Fig. 3.2) mostra um grande aumento de eventos extremos durante LN na região amazônica. São realizados muitos estudos nessa região devido à sua biodiversidade e a sua importância econômica para o Brasil, e por isso foi também escolhida a região (f) (Fig. 5.1) para se fazer um estudo dos eventos extremos.

O mapa de correlação da TSM com a chuva média mensal na região estudada (Fig. 5.32a) mostra padrões de correlação significativos em todo o Pacífico. A correlação entre a TSM e série de números de eventos extremos, na mesma região, mostra fortes padrões em todo Pacífico, no Atlântico e no Índico. Pode-se perceber que os padrões de correlação no Pacífico são os mesmos pra chuva média e eventos extremos, porém diferentes em extensão. Os padrões do Pacífico estão associados às variações interdecadais. Para eventos extremos há um padrão de anomalias significativas de TSM associados no Atlântico Sul, mas não está evidente uma relação de causa e efeito. Há também correlação negativa mais forte no Pacífico Leste, indicando episódios LN mais fortes e mais extensos nesta região, o que é coerente com maior convecção sobre a Amazônia.

Para caracterizar os campos atmosféricos anômalos durante eventos extremos em abril (+) no Norte do Brasil (quadrícula (f) da Fig. 5.1), usaram-se os eventos extremos quantificados na Tabela 5.7. Estes números indicam que durante abril (+) de anos LN o número de eventos extremos cresceu muito.

TABELA 5.7 – REGIÃO f, NORTE DO BRASIL EM ABRIL: NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS.

EN (10 anos)	LN (9 anos)	NORMAIS (24 anos)
19	41	62

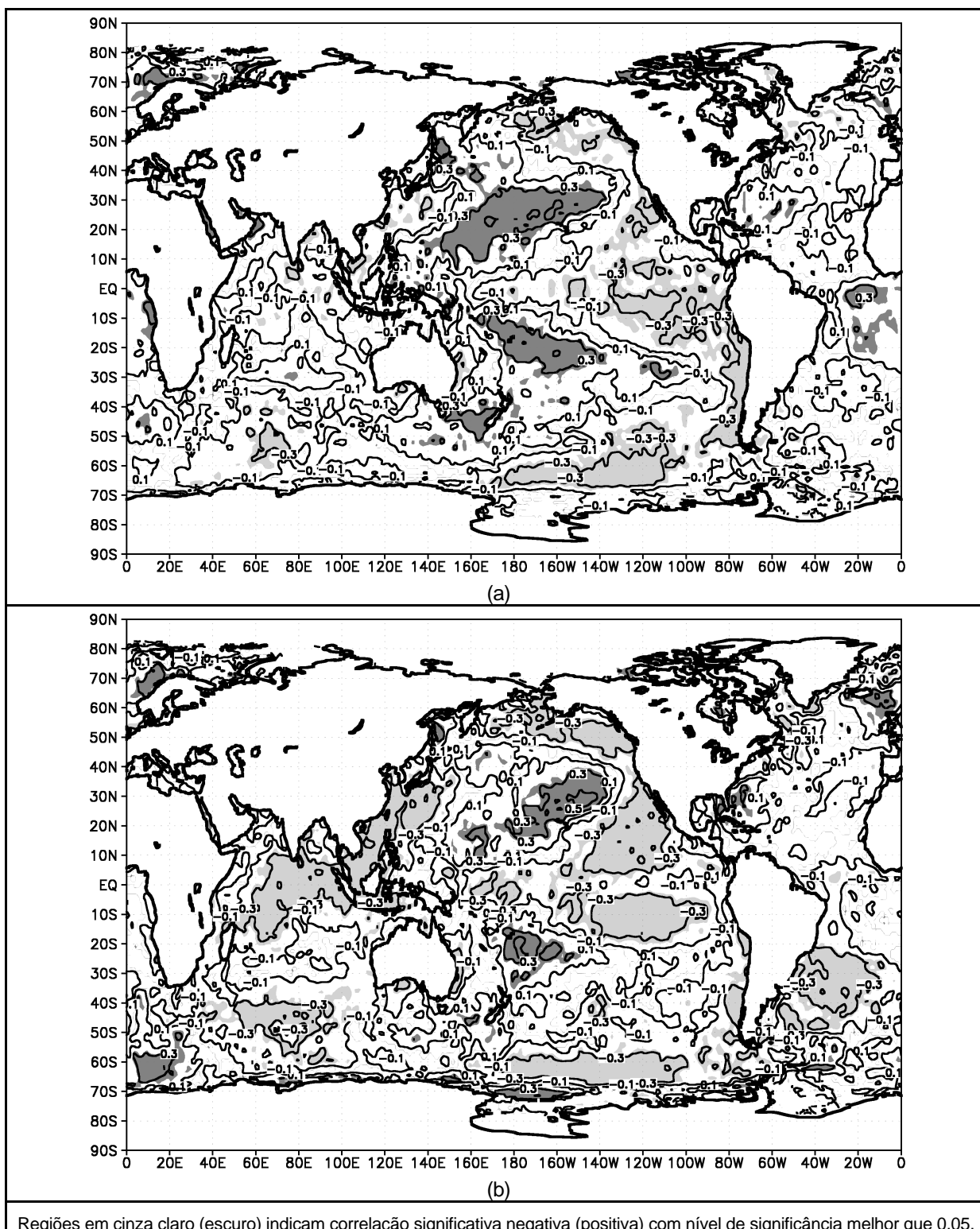


FIGURA 5.32 – REGIÃO f, NORTE DO BRASIL EM ABRIL: (a) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E CHUVA MÉDIA DE NOVEMBRO NA REGIÃO; (b) COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE TSM E A SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO.

Os campos atmosféricos anômalos mensais de abril (+) para EN e LN são apresentados nas Fig. 5.23 e 5.24. Algumas análises já foram feitas na seção 5.5 desse capítulo. Ao analisar especificamente a região de estudo nota-se que durante episódios EN há anomalias anticiclônicas em baixos níveis e ciclônicas em altos níveis. As anomalias anticiclônicas em baixos níveis são mais fortes sobre o Atlântico equatorial, ladeando o equador, mas estendem-se sobre o norte do Brasil e alcançam as anomalias ciclônicas no noroeste da América do Sul. Basicamente, há um par de anticiclones ladeando o equador sobre o Atlântico e norte do Brasil e um par de ciclones a oeste, sobre o noroeste da América do Sul. Tal padrão está associado à divergência em baixos níveis sobre a região de estudo, há fraca divergência de fluxo de umidade e anomalia negativa de precipitação. As anomalias de pressão são próximas de zero. Para os anos LN têm-se anomalias ciclônicas em baixos níveis e anticiclônicas em altos níveis, estendendo-se do Atlântico sobre a América do Sul. Há convergência no fluxo de umidade e anomalia positiva de precipitação.

As Fig. 5.33, 5.34 e 5.35 contém as anomalias médias ocorridas durante eventos extremos em anos EN, LN e normais, respectivamente. Em todas as categorias de anos há o par de anomalias ciclônicas em baixos níveis, ladeando o equador no Atlântico, e também anomalia ciclônica ao sul do equador, a oeste da região de estudo. No centro do Brasil a anomalia ciclônica desaparece ou é substituída por anticiclônica. Os demais padrões sobre o continente e adjacências são bastante diferentes. O maior aumento de convergência de umidade na região focalizada ocorre em anos LN.

As características das anomalias durante eventos extremos são mais parecidas com as ocorridas durante anos de LN, principalmente as anomalias ciclônicas de baixos níveis sobre o Atlântico equatorial e parte do continente, razão pela qual aumentam os eventos extremos durante essa categoria. Já durante EN os campos anômalos são opostos sobre o Atlântico e precipitação extrema é restrita a uma área bem menor. Tanto em anos normais como em episódios EN a anomalia anticiclônica em baixos níveis no extremo noroeste da América do Sul estende-se para sul através do equador como anomalia ciclônica até a região de estudo, enquanto durante episódios LN o noroeste da América do Sul também é coberto por anomalia ciclônica.

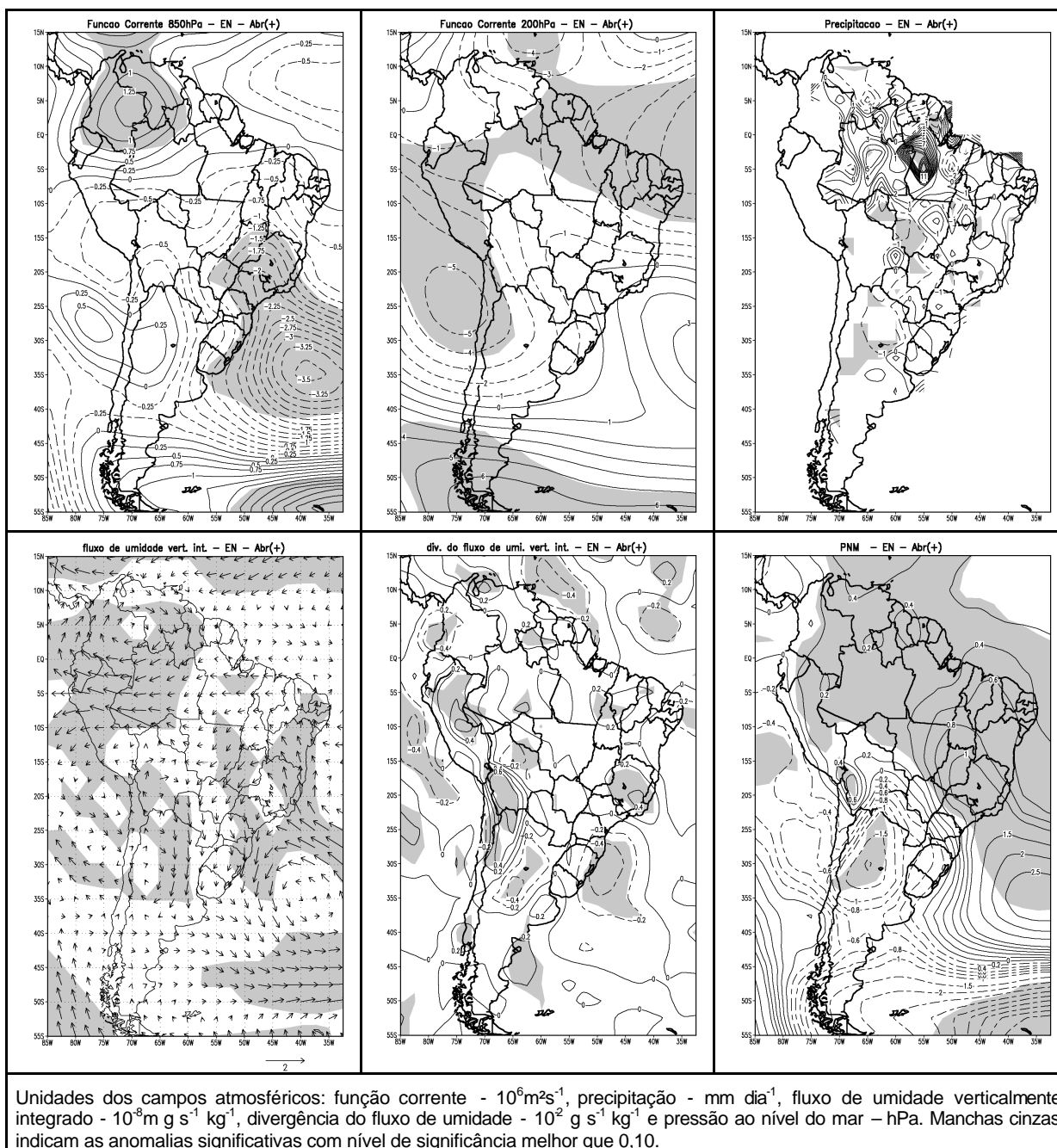


FIGURA 5.33 – REGIÃO f, NORTE DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS EL NIÑO.

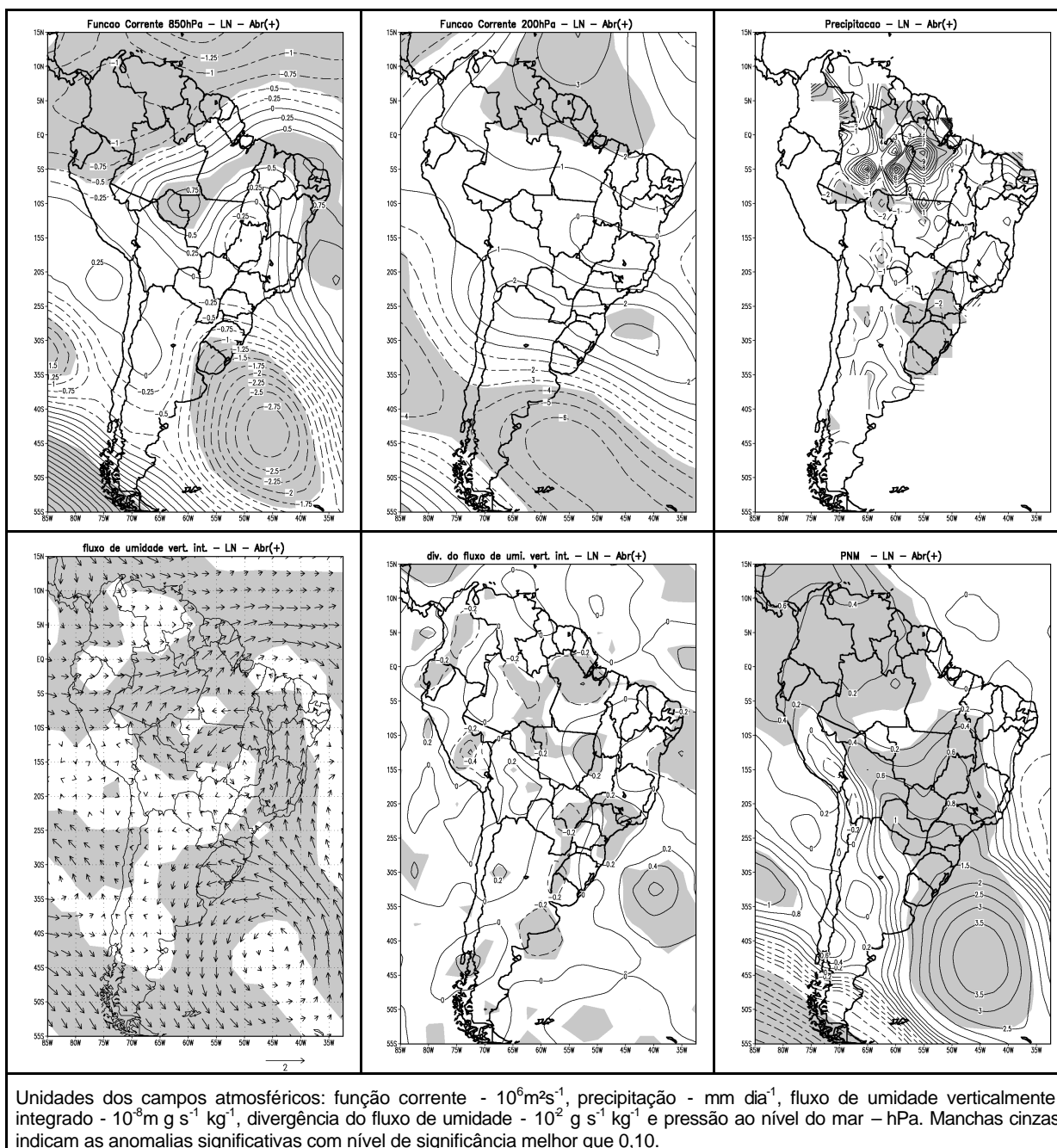


FIGURA 5.34 – REGIÃO f, NORTE DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREITA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS LA NIÑA.

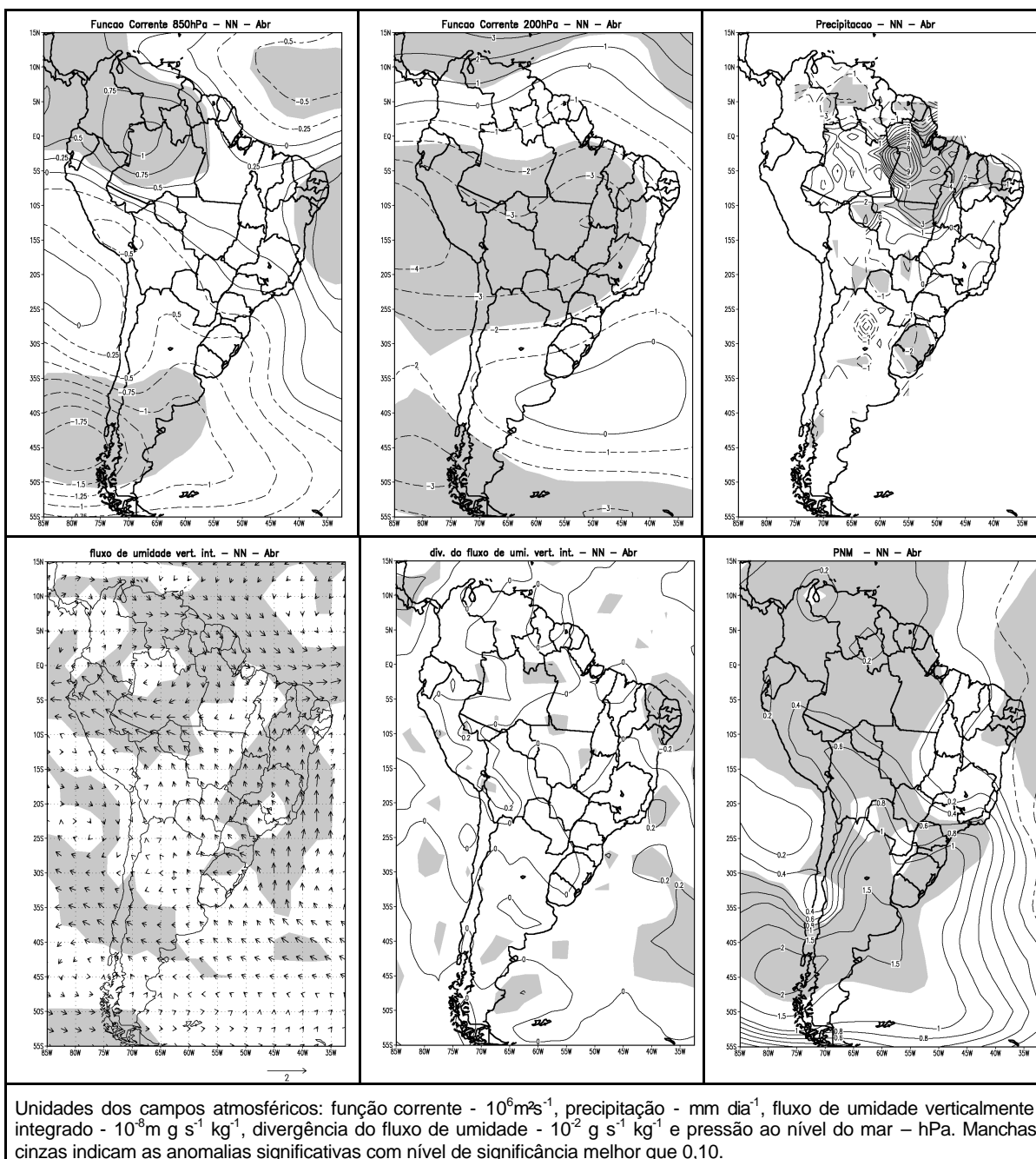


FIGURA 5.35 – REGIÃO f, NORTE DO BRASIL EM ABRIL: COMPOSIÇÃO DAS ANOMALIAS DE (SUPERIOR ESQUERDA) FUNÇÃO CORRENTE EM 850HPA E (SUPERIOR CENTRO) EM 200HPA, (SUPERIOR DIREIRA) DE PRECIPITAÇÃO, (INFEIOR ESQUERDA) DO FLUXO DE UMIDADE VERTICALMENTE INTEGRADO E (INFERIOR CENTRO) DA SUA DIVERGÊNCIA, (INFERIOR DIREITA) DA PRESSÃO AO NÍVEL DO MAR, PARA OS EVENTOS EXTREMOS, NA REGIÃO DE ESTUDO INDICADA, DE ANOS NORMAIS.

TABELA 5.8 – NÚMERO DE EVENTOS EXTREMOS PARA TODAS AS REGIÕES.

Região	Anos EN (11 anos)	Anos LN (9 anos)	Anos NORMAIS (27 anos)
Novembro (Centro-leste)	27	56	74
Janeiro (Centro-leste)	72	10	113
Novembro (leste do Sul)	68	21	78
Novembro (oeste do Sul)	69	11	68
Abril (Nordeste)	37	67	67
Abril (Sul)	62	32	75
Abril (Norte)	19 (10 anos)	41	62 (24 anos)

6. EVENTOS EXTREMOS DE VAZÃO

Na Fig. 6.1a estão indicadas as bacias hidrográficas do Brasil. A Fig. 6.1b mostra a localização das estações de vazão utilizadas neste estudo. Como os dados foram obtidos do ONS, só há estações de vazão onde há usinas hidrelétricas, pois esse é o interesse dessa instituição. É possível notar que a grande concentração de estações está no Sul e Sudeste do Brasil.

O setor elétrico tem adotado o termo vazão natural para identificar a vazão que ocorreria em uma seção do rio, se não houvesse as ações antrópicas na sua bacia contribuinte, tais como regularizações de vazões realizadas por reservatórios, desvios de água, evaporações em reservatórios e usos consuntivos (irrigação, criação animal e abastecimentos urbano, rural e industrial). A vazão natural é obtida por meio de um processo de reconstituição, que considera a vazão observada no local e as informações relativas às ações antrópicas na bacia (ONS, 2008).

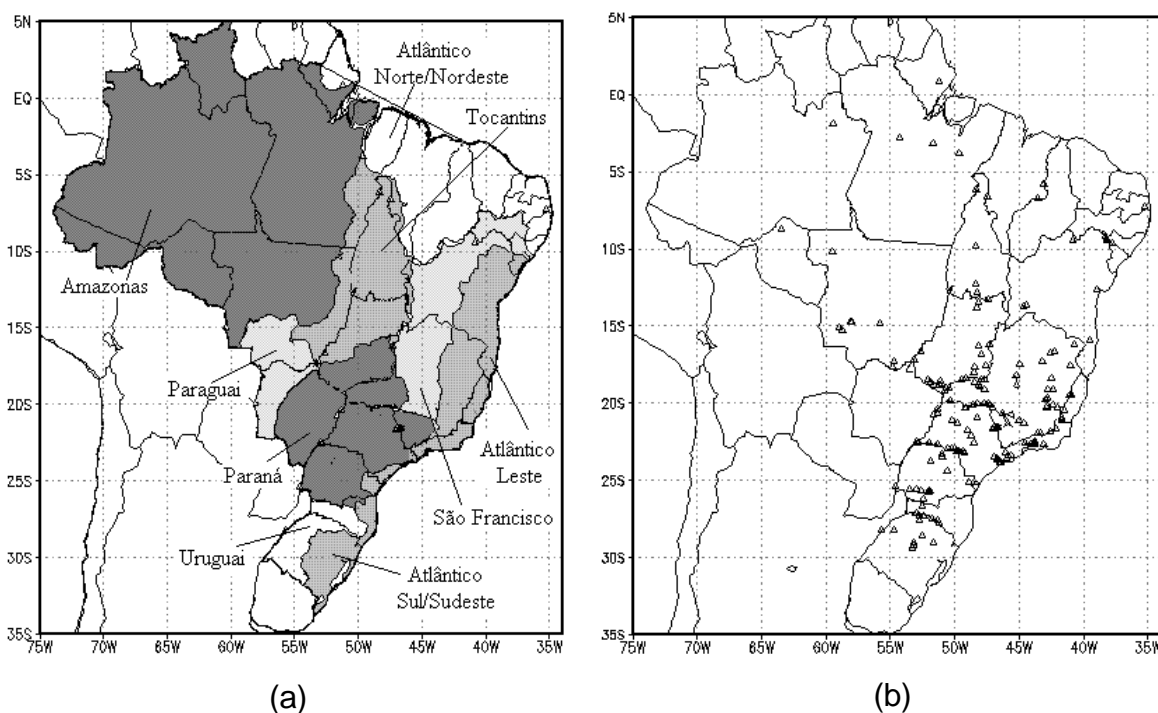


FIGURA 6.1 – (a) BACIAS HIDROGRÁFICAS DO BRASIL; (b) LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE VAZÃO.

6.1. AGOSTO (0) E SETEMBRO (0)

Em agosto (0) de episódios EN há aumento significativo de eventos extremos de vazão na bacia do rio Paraná e diminuição na bacia do Tocantins (Fig. 6.2). Embora não haja aumento significativo de eventos extremos de precipitação sobre a parte mais importante do alto e médio Paraná (na margem esquerda) (Fig. 3.1), o aumento nos eventos extremos de vazão pode dever-se à contribuição dos rios da margem direita, no Centro-Oeste, onde há extenso sinal na frequência dos eventos extremos de chuva. Além disto, há aumento de intensidade de eventos extremos de chuva ao longo do rio Paranapanema (e aumento não significativo de frequência). O sinal nos eventos extremos de chuva sobre a bacia do rio Tocantins é misto: na parte sul predomina o aumento, enquanto na parte norte predomina a diminuição. O sinal nas vazões é coerente, incluindo um aumento localizado nos eventos extremos de vazão correspondente a um aumento localizado nos eventos extremos de chuva, um pouco ao norte de 10°S. Este sinal na vazão estende-se até setembro. Outros sinais em setembro não são dignos de nota, exceto a inversão do sinal nas vazões extremas sobre o Rio Paraná, coerente com a inversão do sinal na frequência de eventos extremos de chuva no Centro-Oeste.

Durante agosto (0) de episódios LN há grande diminuição de eventos extremos de vazão em todo território brasileiro com exceção da bacia do rio Uruguai e norte da bacia do Atlântico Leste (Fig. 6.3). Este resultado é coerente com a variação observada da frequência de eventos extremos em regiões que contribuem para as vazões medidas (Fig. 3.2, coluna do meio). O sinal durante agosto (0) de LN persiste em setembro (0), tanto nos eventos extremos de chuva como de vazão.

6.2. OUTUBRO (0) E NOVEMBRO (0)

Em outubro (0) de EN ocorre um aumento de eventos extremos de vazão na bacia do alto Paraná, consistente com o número de eventos extremos de chuva nesta região (Fig. 6.2 e 3.1). Há aumento de eventos extremos de vazão também em trechos da bacia do Atlântico Leste, ao sul de 20°S, enquanto a norte ocorre diminuição, em ambos os casos consistentemente com aumentos ou diminuições de eventos extremos de chuva nestas regiões. No norte da bacia do Tocantins (ao norte de 10°S) e na bacia do Atlântico Norte/Nordeste os eventos extremos de vazão crescem, devido ao aumento de eventos extremos de chuva no Nordeste e provavelmente ao

aumento dos extremos de chuva no sul da bacia do Tocantins em agosto e setembro. Em novembro (0) o aumento dos eventos extremos de vazão é deslocado da bacia do alto Paraná para o médio e baixo Paraná. É possível dizer que o grande aumento do número de eventos extremos, em novembro (0), nestas regiões deve-se ao grande aumento local da frequência de eventos extremos de chuva e também ao deslocamento dos extremos de vazão ocorridos em outubro na bacia do alto Paraná para a parte baixa da bacia. Camilloni e Barros (2000) mostram que a maior correlação entre chuva no alto e médio Paraná e vazão em Posadas, um pouco abaixo da tríplice fronteira, ocorre para defasagem em torno de um mês. Também ocorre aumento de eventos extremos de vazão na bacia do rio Uruguai, e esse aumento está diretamente ligado ao aumento de extremos de precipitação nos estados de SC e RS. Já nas outras regiões do Brasil em que foram coletadas vazões houve diminuição de eventos extremos em novembro (0), uma vez que houve diminuição de eventos extremos de chuva.

Em outubro (0) de LN ocorre diminuição de extremos de vazão nas bacias do Paraguai, Paraná e do Uruguai e um aumento na bacia do Atlântico Leste, perfeitamente compatível com a variação na frequência de eventos extremos de chuva nestas regiões (Fig. 6.3 e 3.2). Essa variação persiste durante novembro (0), porém com menor consistência na bacia do alto Paraná e do Uruguai. Neste mês fica evidente aumento consistente de eventos extremos de vazão no norte da bacia do Tocantins, iniciado em outubro (0), e que se deve principalmente ao aumento de chuvas extremas em toda a bacia em outubro (0), que quase desaparece em novembro (0).

6.3. DEZEMBRO (0) E JANEIRO (+)

O grande aumento de eventos extremos de precipitação no Sul do Brasil durante novembro (0) de episódios EN ocasiona um aumento de eventos extremos de vazão na bacia do Uruguai e Paraná em dezembro (0), pois em dezembro (0) não há aumento de eventos extremos de precipitação no Sul/Sudeste do Brasil, a não ser junto da fronteira com o Uruguai. Berri, Ghiotto e García (2002) mostram que o pico de vazão do Rio Paraná em Posadas, estação um pouco abaixo da tríplice fronteira, ocorre em dezembro (0) durante episódios EN. Camilloni e Barros (2000) mostram que o maior coeficiente de correlação entre vazão nesta estação e

precipitação no alto e médio Paraná ocorre com defasagem de um mês, ou seja a chuva ocorrida em novembro (0) no alto e médio Paraná, ocasiona extremos de vazão em Posadas em dezembro (0). Neste mesmo mês há diminuição de extremos de vazão na bacia do Tocantins e bacia do Atlântico Norte/Nordeste, que é reflexo da diminuição de extremos de precipitação nestas regiões, tanto em novembro (0) quanto em dezembro (0). Em dezembro (0) também diminuem os eventos extremos de vazão na bacia do rio Paraguai, o que persiste durante janeiro (+). Neste mês também persiste o aumento de vazões extremas na bacia do Uruguai, em vista do aumento de chuvas extremas desde novembro (0) até janeiro (+). Na bacia do Paraná há pouco sinal significativo nos extremos de vazão, tendo em vista que os sinais nos extremos de chuva em dezembro (0) e janeiro (+) são contrastantes e fracos nesta região. Contudo, na bacia do médio Paraná diminuem os eventos extremos de vazão, acompanhando a diminuição dos eventos extremos de chuva.

Durante episódios LN há diminuição de extremos de vazão em toda parte central do Brasil, tanto para dezembro (0) quanto para janeiro (+) (Fig.6.3). Nas outras regiões, há apenas pequenas áreas com aumento, como um trecho da bacia do médio Paraná, onde tende a haver mais eventos extremos de chuva em janeiro (+) de episódios LN. Analisando os mapas de precipitação (Fig. 3.2, coluna do meio) percebe-se uma diminuição de extremos no Centro/Sudeste do Brasil que começa em dezembro (0) e persiste em janeiro (+).

6.4. FEVEREIRO (+), MARÇO (+), ABRIL (+) E MAIO (+)

Há um aumento de eventos extremos de precipitação no Centro-Leste do Brasil tanto em janeiro (+) quanto em fevereiro (+) (Fig. 3.1), o que ocasiona um grande aumento de extremos de vazão em fevereiro (+) na bacia do Tocantins e trechos da bacia do Atlântico Leste, atingindo uma diferença de 4 eventos extremos entre EN e normais (Fig. 6.2). O oposto ocorre durante LN: a grande diminuição de extremos de precipitação durante janeiro (+) e fevereiro (+) no Centro-Leste ocasiona uma diminuição de extremos de vazão nas bacias do Tocantins e trechos do Atlântico Leste em fevereiro (+) (Fig. 3.2 e 6.3).

De fevereiro (+) até maio (+) há novamente aumento da frequência de eventos extremos de precipitação durante episódios EN no sudeste da América do Sul, após a relativa pausa de dezembro (0) – janeiro (+). Esse aumento está

conectado com o aumento de altas vazões nas bacias do Paraná, do Uruguai e do Atlântico Sul, coerente com os resultados obtidos por Camilloni e Barros (2000) e Berri, Ghiotto e García (2002). O maior aumento de eventos extremos de vazões ocorre em maio (+), devido tanto ao acúmulo de chuvas dos meses anteriores quanto ao fato de que em abril há aumento de eventos extremos de chuva ao longo de toda a bacia do Paraná e em maio (+) na sua parte média e superior.

Em março (+) de episódios EN há uma diminuição de eventos extremos de vazão na bacia do Atlântico Leste e Nordeste, coerente com a diminuição de eventos extremos de chuva no Centro-leste do Brasil. Por isto, também não há mais sinal nas vazões da Bacia do Tocantins, a não ser junto da foz. Já em abril (+) a diminuição de vazões extremas ocorre na bacia do Tocantins e do São Francisco, persistindo e intensificando-se em maio (+), também de forma coerente com a diminuição de chuvas extremas. Entre dezembro (+) e abril (+), durante a época chuvosa, persiste a diminuição de vazões extremas na bacia do Paraguai (região do Pantanal).

Além dos sinais já descritos durante janeiro (+) - fevereiro (+), há poucos sinais nas vazões dignos de nota em março (+) - maio (+) de episódios LN, a maioria indicando diminuição de eventos extremos. Há pequenos sinais indicando mais eventos extremos persistindo desde janeiro (+) até março (+) na bacia do médio e alto Paraná e um sinal na bacia do Atlântico Norte/Nordeste, em maio (+), devido ao efeito de LN no aumento de precipitação sobre o Norte/Nordeste na época chuvosa.

6.5. JUNHO (+) E JULHO (+)

Em junho e julho a maioria das bacias estudadas, exceto a bacia do médio e baixo Paraná, do Atlântico Sul e do Uruguai, já não está mais na estação chuvosa e assim não iremos focalizar suas vazões extremas. Após o máximo aumento de extremos de vazão nestas bacias em maio (+), ainda perduram aumentos em junho (+) e julho (+), devido ao aumento de chuvas extremas em maio (+) na bacia do médio e alto Paraná (pois em junho (+) não há sinais dignos de nota) e devido ao aumento de chuvas extremas na própria região em julho (+). Estas chuvas foram responsáveis por algumas das mais fortes enchentes no Sul do Brasil.

Os mapas de diferença de eventos extremos de vazão de junho (+) e julho (+) durante episódios LN mostram uma grande diminuição na bacia do São

Francisco e do Atlântico leste, que estão fora da estação chuvosa, e um forte aumento na bacia do Atlântico Norte, que também ocorreu em maio (+).

Segundo Camilloni e Barros (2003) dois terços das maiores vazões em Corrientes (estação no rio Paraná logo após a confluência com o rio Paraguai) ocorrem em EN, enquanto não ocorre nenhuma em LN. Isso é coerente com os resultados obtidos nas Fig. 6.2 e 6.3, onde é possível ver um aumento de eventos extremos durante quase todos os meses de EN na região Sul e uma diminuição durante LN.

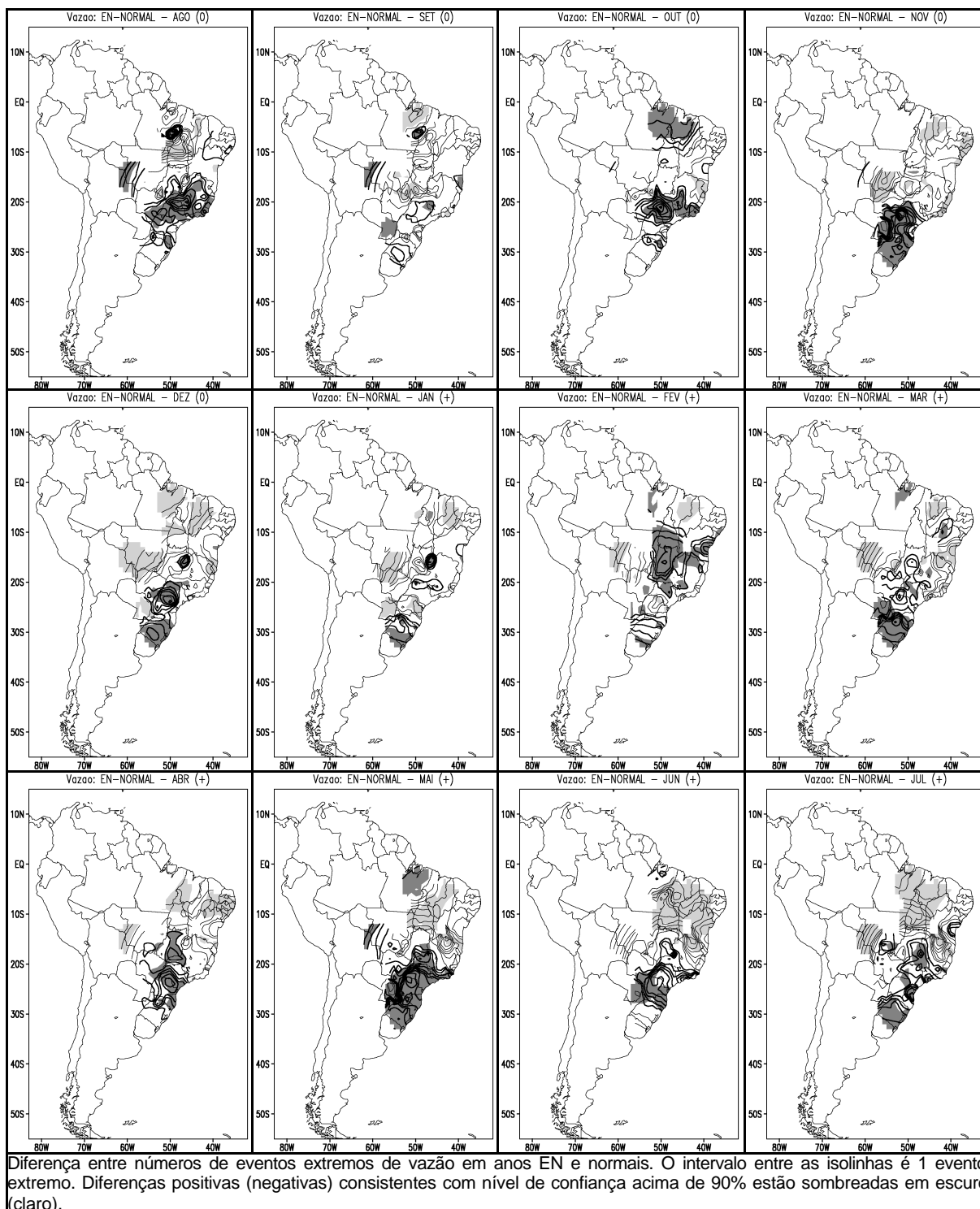
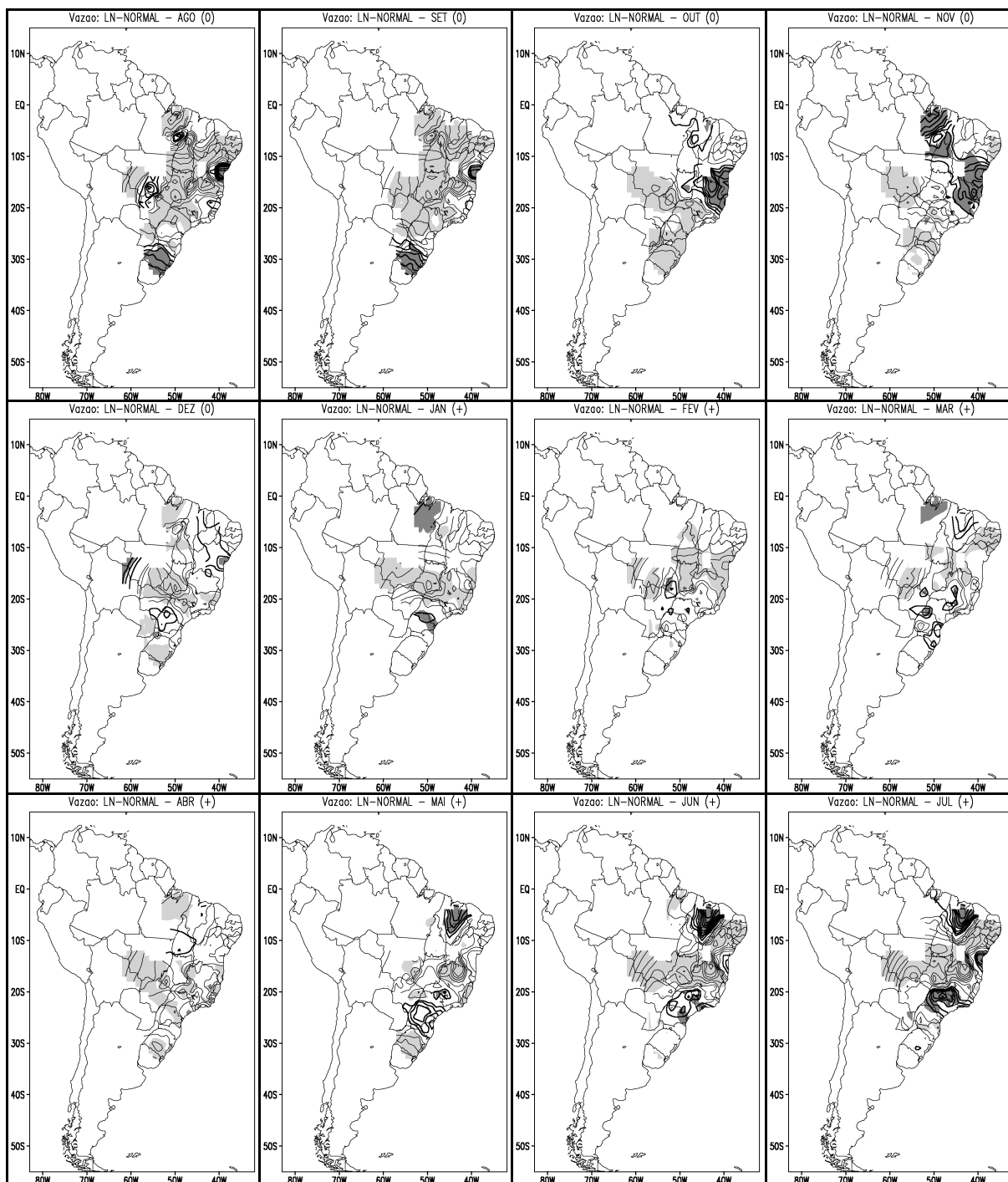


FIGURA 6.2 – DIFERENÇA NA FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS DE VAZÃO ENTRE ANOS EN E ANOS NORMAIS.



Diferença entre números de eventos extremos de vazão em anos LN e normais. O intervalo entre as isolinhas é 1 evento extremo. Diferenças positivas (negativas) consistentes com nível de confiança acima de 90% estão sombreadas em escuro (claro).

FIGURA 6.3 – DIFERENÇA NA FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS DE VAZÃO ENTRE ANOS LN E ANOS NORMAIS.

6.6. RELAÇÃO ENTRE FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA E VAZÃO

Para ter uma idéia preliminar a respeito das diferenças nas respostas de bacias diversas e em épocas diversas do ano à variação da frequência de eventos extremos de chuva, foram feitas análises de correlação simples em duas bacias do Sul/Sudeste: a bacia do alto Paraná e a bacia do Iguaçu. Foram correlacionadas as séries de números de eventos extremos de chuva em cada bacia para cada pênstada (cinco dias) de outubro-novembro-dezembro (OND) e março-abril-maio (MAM) de todos os anos (1956-2002) com as séries de números de eventos extremos de vazão na estação de Porto Primavera (para a bacia do alto Paraná) e na estação de Salto Caxias (para a bacia do Iguaçu). As áreas consideradas estão marcadas na Fig. 6.4.

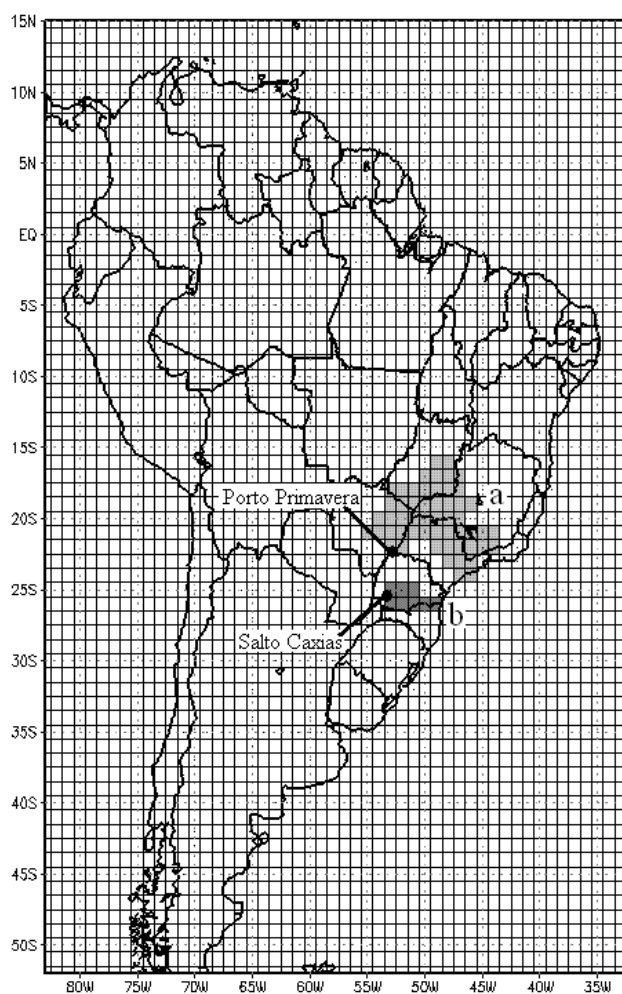


FIGURA 6.4 – ÁREA DA BACIA DO (a) ALTO PARANÁ E (b) IGUAÇU

A estação de Salto Caxias está na bacia do rio Iguaçu, essa bacia possui uma área total de 68.800 km². Essa estação possui dados de 1941 até 2006, mas nesse estudo será utilizado os dados de 1956 até 2002.

Os resultados da análise de correlação (Tabela 6.1) mostram que a resposta da vazão em Salto Caxias à variação da frequência dos eventos extremos de chuva na bacia do rio Iguaçu é rápida, tendo em vista que a correlação já é fortemente significativa para pântadas simultâneas de frequência de chuva e vazão, tanto para MAM como para OND. Além disto, a resposta persiste por seis pântadas em MAM e por dez pântadas em OND, sendo máxima para defasagem de uma pântada em ambos os períodos. Além da maior persistência da resposta em OND, também os coeficientes de correlação são mais fortes nesta época do ano. É interessante notar que em MAM há ainda correlação significativa com defasagens de sete e oito pântadas. A razão deste comportamento merece investigação, mas pode ser fortuito, tendo em vista que as correlações são bem menores que aquelas até a defasagem de seis pântadas.

A estação de Porto Primavera encontra-se na bacia do rio Paraná, sendo que essa estação possui dados de 1931 até 2006, porém para o estudo só foram utilizados dos dados de 1956 até 2002. A área da bacia hidrográfica do rio Paraná até a barragem de Porto Primavera é de 574.000 km².

Já a resposta da vazão em Porto Primavera à variação dos eventos extremos de chuva em MAM no alto Paraná só é significativa com defasagem de cinco pântadas, persistindo por duas pântadas. Contudo, a correlação volta a ser significativa na defasagem de nove e dez pântadas, sendo máxima com nove pântadas. Este comportamento não significa necessariamente que um aumento de número de eventos extremos de chuva só repercute nove pântadas depois. Pode ser que o efeito cumulativo de chuvas mais intensas na umidade do solo produza respostas mais intensas após esta defasagem. Além disto, as correlações nesta bacia são muito menores que aquelas para a bacia do Iguaçu, embora sejam significativas. Em OND, contudo, a resposta é muito rápida, com correlação significativa já para pântadas simultâneas, com máxima resposta para defasagem de duas pântadas, e correlações significativas persistindo por oito pântadas (com mais uma correlação significativa para defasagem de nove pântadas, que pode ser

fortuita). É notável que também nesta bacia as correlações em OND são mais fortes que em MAM, com diferença até bem maior que para a bacia do Iguaçu.

As diferenças entre tempos de resposta nas duas bacias devem-se à maior área abrangida pelo alto Paraná e também à topografia mais íngreme da bacia do Iguaçu. Contudo, as razões das diferenças entre MAM e OND ainda necessitam mais estudos, assim como o comportamento da bacia do Alto Paraná em MAM.

TABELA 6.1 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE SÉRIE DE NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS DE CHUVAS NAS BACIAS E ESTAÇÕES DO ANO INDICADAS E NÚMEROS DE EVENTOS EXTREMOS DE VAZÃO NA LOCALIDADE INDICADA, PARA DIFERENTES DEFASAGENS EM PÊNTADAS.

Coeficientes de correlação entre a vazão em Salto Caxias e a chuva na bacia do Iguaçu			
MAM		OND	
lag 0	0,3248	lag 0	0,3290
lag 1	0,4883	lag 1	0,5182
lag 2	0,3352	lag 2	0,3768
lag 3	0,2587	lag 3	0,2885
lag 4	0,2287	lag 4	0,2537
lag 5	0,1228	lag 5	0,1625
lag 6	0,0578	lag 6	0,1570
lag 7	0,0771	lag 7	0,1120
lag 8	0,0957	lag 8	0,0935
lag 9	0,0500	lag 9	0,1019
lag 10	0,0176	lag 10	0,0275
lag 11	-0,0126	lag 11	0,0510

Coeficientes de correlação entre a vazão em Porto Primavera e a chuva na bacia do Alto Paraná			
MAM		OND	
lag 0	0,0006	lag 0	0,0603
lag 1	0,0130	lag 1	0,2239
lag 2	0,0102	lag 2	0,2348
lag 3	0,0105	lag 3	0,1558
lag 4	0,0550	lag 4	0,0671
lag 5	0,0874	lag 5	0,0669
lag 6	0,0755	lag 6	0,0864
lag 7	0,0466	lag 7	0,1225
lag 8	0,0603	lag 8	0,0596
lag 9	0,1101	lag 9	0,0944
lag 10	0,1106	lag 10	-0,0172
lag 11	0,0646	lag 11	0,0561

Coeficientes de correlação diferentes de zero com nível de significância 0,05 estão em negrito.

7. VARIAÇÕES NAS DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIAS DE VAZÕES DIÁRIAS E DE EVENTOS EXTREMOS

Para estudar as mudanças nas distribuições de frequência para vazões diárias e intensidade de eventos extremos em anos EN, LN em relação aos anos normais, foram escolhidas duas estações de vazão nas quais ocorreram significativas alterações na frequência de eventos extremos, indicadas no capítulo 6. As estações escolhidas foram Lajeado, no rio Tocantins (área de drenagem: 184.219 km²), para fevereiro (+) e Segredo, no rio Iguaçu (área de drenagem: 34.100 km²), para maio (+). A estação de Lajeado possui dados de 1962 até 2006, sendo utilizados somente até 2002. Já a estação de Segredo possui dados a partir de 1968 até 2006, mas os dados utilizados vão até 2002.

As distribuições de vazão diária e de intensidade de eventos extremos de vazão foram geradas contando o número de ocorrências de cada classe em cada categoria de ano e dividindo pelo número total de dias naquela categoria (EN, LN e normal) (painéis (a) para vazões diárias e (c) para intensidade de eventos extremos). Foram calculadas as diferenças entre os histogramas de EN e normais e LN e normais.

Os histogramas de vazão são diferentes dos histogramas de chuva, pois nos histogramas de chuva a maior frequência ocorre nas classes mais baixas, enquanto nos de vazão isso ocorre nas classes intermediárias.

7.1. FEVEREIRO (+) – CENTRO-LESTE DO BRASIL

Os gráficos das frequências das vazões diárias (Fig. 7.1 (a) e (b)) mostram que nas classes de vazões baixa há um aumento tanto em EN quanto em LN em comparação aos anos normais, nas classes intermediárias há um aumento em anos de LN e diminuição em EN. As classes mais importantes para esse estudo são as de altas vazões e estas sofrem aumento durante anos EN e diminuição em LN, comprovando o que foi mostrado pelas Fig. 6.2 e 6.3.

Analisando os gráficos da intensidade dos eventos extremos (Fig. 7.1 (c) e (d)) nota-se um aumento na intensidade dos eventos extremos durante anos EN e diminuição durante LN.

Os valores do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) (tabela 7.1) mostram que os dados de vazão diária durante episódios EN e LN vieram de distribuições diferentes daquela dos anos normais. O mesmo ocorre para os histogramas da intensidade de eventos extremos de vazão, pois todos os valores violam a hipótese nula do teste.

TABELA 7.1 – VALORES DO TESTE DE SIGNIFICÂNCIA K-S PARA FEVEREIRO (+), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10

Fórmulas:	2.2.1	2.2.1	Fórmulas:	2.2.1	2.2.1
EN-NN (vazões)	0,15	0,09	EN-NN (extremos)	0,39	0,26
LN-NN (vazões)	0,12	0,09	LN-NN (extremos)	0,60	0,40
EN-LN (vazões)	0,22	0,11	EN-LN (extremos)	0,80	0,40

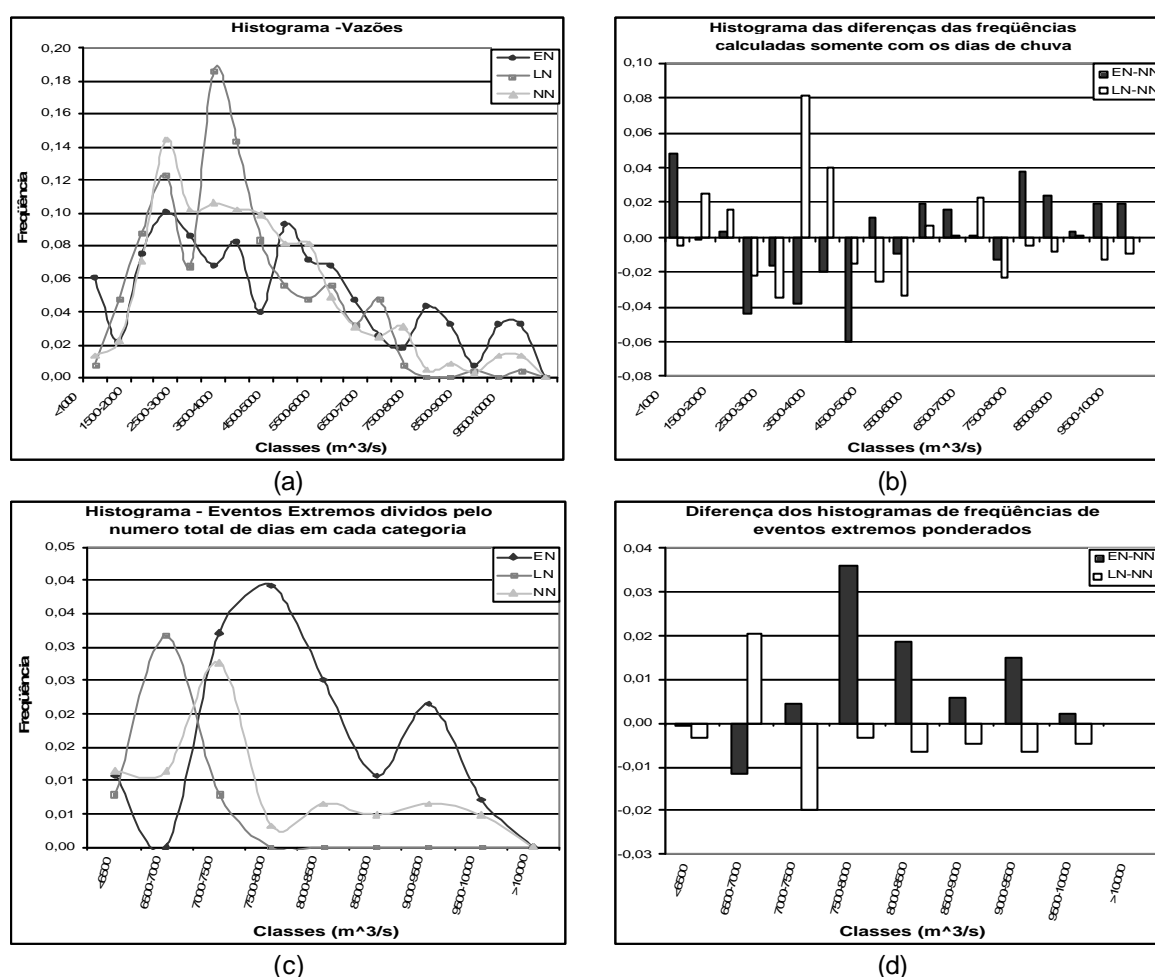


FIGURA 7.1 – RIO TOCANTINS (LAJEADO), FEV (+): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA VAZÃO DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DA DIFERENÇA DAS FREQUÊNCIAS DA VAZÃO DIÁRIA; (c) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE VAZÃO; (d) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE VAZÃO.

7.2. MAIO (+) – SUL DO BRASIL

Os gráficos das frequências das vazões diárias (Fig. 7.2 (a) e (b)) indicam que os baixos valores de vazão têm maior ocorrência durante LN, em relação aos anos normais, e menor ocorrência para os anos EN. Já valores acima de 2500 m³/s só ocorrem nos anos de EN, e é por isso que ocorre um aumento de eventos extremos durante esses episódios.

O mesmo ocorre para as intensidades de eventos extremos, numa mesma classe a ocorrência é sempre maior em EN do que em normais. Para LN, a frequência é maior que em anos normais apenas em uma classe de vazão baixa, sendo menor nas classes seguintes.

A tabela 7.2 mostra os resultados do teste K-S, deixando claro que os dados de vazão diária durante episódios EN e LN vieram de distribuições diferentes daquela dos anos normais. Os resultados para a intensidade dos eventos extremos mostram que a hipótese nula é violada nas categorias que contém LN, mostrando que há um forte impacto dessa categoria sobre a intensidade dos eventos extremos. A diferença entre a distribuição de eventos extremos em anos EN e anos normais é apenas por pouco considerada não significativa (já que 0,25~0,26).

TABELA 7.2 – VALORES DO TESTE DE SIGNIFICÂNCIA K-S PARA MAIO (+), PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA 0,10

Fórmulas:	2.2.1	2.2.1	Fórmulas:	2.2.1	2.2.1
EN-NN (vazões)	0,42	0,09	EN-NN (extremos)	0,25	0,26
LN-NN (vazões)	0,12	0,09	LN-NN (extremos)	0,62	0,42
EN-LN (vazões)	0,45	0,11	EN-LN (extremos)	0,71	0,38

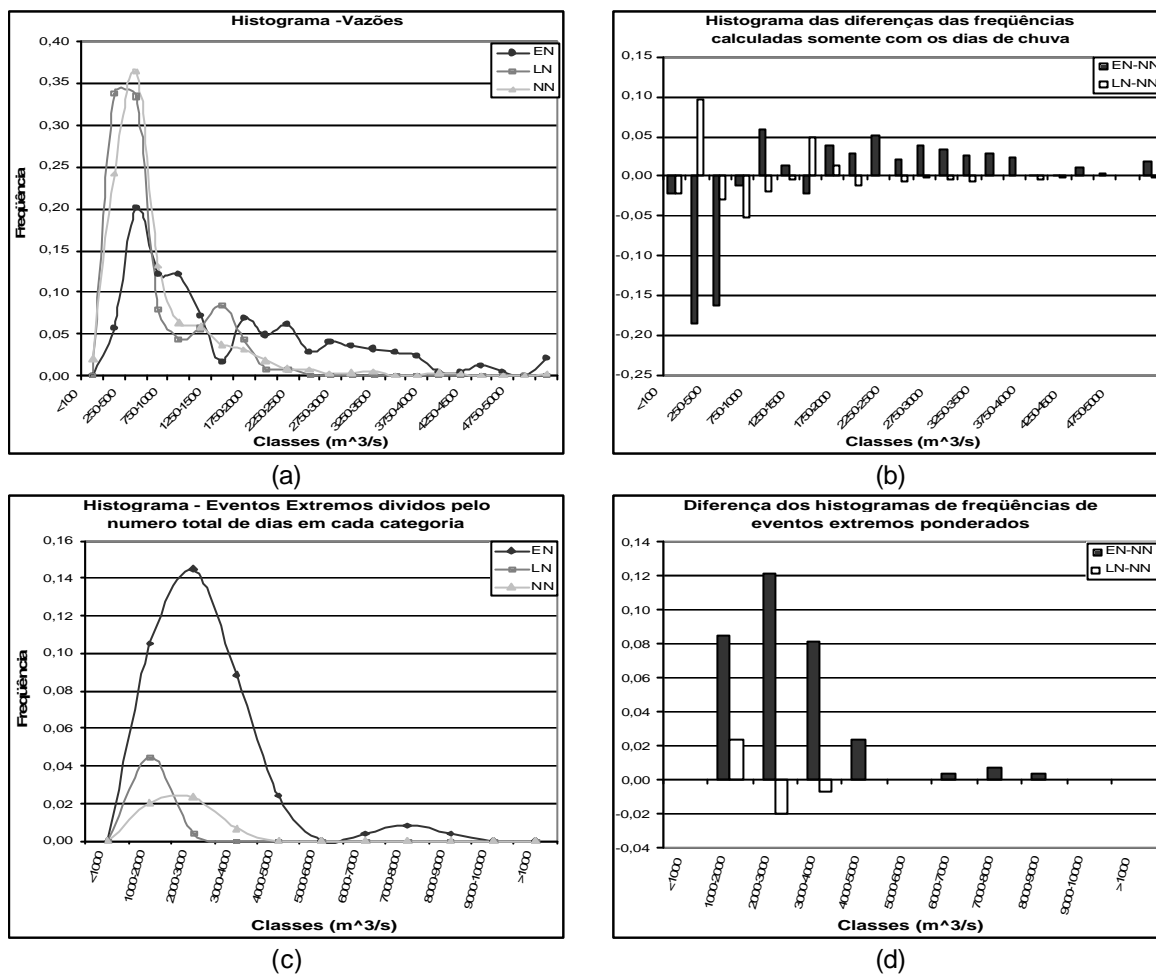


FIGURA 7.2 – RIO IGUAÇU (SEGREGO), MAI (+): (a) DISTRIBUIÇÕES OBSERVADAS DE FREQUÊNCIAS DA VAZÃO DIÁRIA; (b) HISTOGRAMA DA DIFERENÇA DAS FREQUÊNCIAS DA VAZÃO DIÁRIA; (c) DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE VAZÃO; (d) HISTOGRAMA DAS DIFERENÇAS DAS FREQUÊNCIA DE EXTREMOS DE VAZÃO.

8. CONCLUSÕES

Os padrões espaciais da chuva média durante eventos extremos indicam que os limiares de precipitação desses eventos, em partes diferentes da América do Sul e em diferentes períodos do ciclo anual, seguem a evolução dos regimes de precipitação que prevalecem sobre esse continente: baixos valores no outono e no inverno e altos valores na primavera e no verão.

A frequência média de eventos extremos para cada mês, dentro de cada categoria de ano, e a diferença entre estas frequências médias para anos EN e normais, e para anos LN e normais mostram que os episódios EN e LN influenciam significativamente a frequência de eventos extremos em diversas regiões da América do Sul durante determinados períodos do ciclo ENOS.

O comportamento da frequência de eventos extremos de precipitação tem certa consistência com o comportamento de totais mensais e sazonais de precipitação, embora nem sempre um aumento (diminuição) significativo destes totais coincida com um aumento (diminuição) significativo da frequência de eventos extremos. Na realidade, parece haver maior impacto de ENOS sobre o extremo superior da distribuição de chuva diária e, portanto, sobre os eventos extremos, do que sobre os totais mensais e sazonais de precipitação. Há semelhança na reversão do comportamento entre primavera (novembro (0)) e verão (janeiro (+)) no Centro/Sudeste, Noroeste e parte do Sul do Brasil, em relação à variação das chuvas mensais descrita em Grimm (2003, 2004). O aumento de eventos severos em meses do outono/inverno do ano seguinte a El Niño no Sul do Brasil também tem consistência com variação de chuvas sazonais (GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000) e é coerente com enchentes ocorridas nestas épocas.

Há, como no caso de anomalias de chuvas mensais e sazonais, tendência a comportamentos opostos durante eventos El Niño e La Niña, o que demonstra o forte componente de linearidade no impacto destes eventos sobre a precipitação. Contudo, há também efeitos que não são exatamente opostos, como ocorre com a variação de eventos extremos no Nordeste do Brasil (principalmente no outono (+)) e no Norte do Brasil (principalmente em novembro (0) e outono/inverno (+)). Há, também, algum deslocamento das áreas de maior impacto, como no caso de janeiro (+) no Centro/Sudeste do Brasil.

Esses resultados são úteis para a programação da defesa civil, pois eventos extremos de precipitação, quando ocorrem na estação chuvosa, podem estar associados com enchentes e deslizamentos.

Os histogramas da chuva diária e da chuva associada a eventos extremos, para quadrículas, em algumas das regiões afetadas foram aproximados por curvas Gama e Gumbel, respectivamente. As curvas Gama (e os histogramas) indicam que os baixos (altos) valores de precipitação têm menor (maior) probabilidade de ocorrência em anos EN, para as regiões no Sudeste da América do Sul em novembro e no Centro-Leste em janeiro (entre outras). Por outro lado, para estas regiões e períodos os menores (maiores) valores ocorrem mais (menos) em anos LN. Nas regiões Centro-Leste do Brasil, para novembro, e Nordeste/Norte, para abril, os resultados são o opostos. As conclusões para as curvas Gumbel são específicas para cada região. A comparação das distribuições de frequência de chuvas diárias para anos ENOS e anos normais indica que os eventos ENOS afetam proporcionalmente mais os extremos superiores das distribuições.

A comparação entre os histogramas de chuva diária média em quadrícula e de estação mostra que eles possuem diferenças entre si, principalmente nos baixos valores de precipitação, mas quando ocorre um aumento dos altos valores de precipitação em um deles ocorre no outro também. Portanto, o estudo de eventos extremos com chuvas diárias médias em quadrículas não conduz a resultados diferentes daqueles obtidos com estações e ainda oferece a vantagem de estender a cobertura de dados e tornar sua distribuição mais homogênea.

Os padrões de correlação entre TSM e chuva mensal são semelhantes aos padrões de correlação entre a TSM e o número de eventos extremos. Isto significa que eventos extremos ocorrem naturalmente mais em situações em que há mais eventos de chuva, e que não há, de modo geral, uma dinâmica distinta. Contudo, percebe-se que há certos padrões de TSM que estão mais diretamente associados com eventos extremos. Portanto, há padrões de anomalias de TSM com maior potencial de produzir eventos extremos de precipitação.

As correlações entre TSM e chuva mensal e entre TSM e frequência de eventos extremos, calculadas para algumas das regiões que apresentam significativa alteração na frequência de eventos extremos durante episódios ENOS, confirmam a conexão entre estes episódios e a chuva média, assim como com a

freqüência de chuva extrema, tendo em vista que os padrões de correlação reproduzem os padrões de TSM anômala durante estes episódios. Em alguns casos, aparecem também padrões de TSM anômalo associados com modos de variabilidade interdecadal no Pacífico e no Atlântico, indicando modulação interdecadal.

Embora em geral a correlação entre TSM e a chuva mensal é similar à correlação entre TSM e o número de eventos extremos há algumas diferenças. Por exemplo, no caso do Nordeste do Brasil, a correlação entre TSM e freqüência de eventos extremos indica um gradiente de TSM através do equador mais forte do que a correlação com chuvas mensais.

Nas regiões onde a freqüência de eventos extremos aumenta (diminui) durante um episódio ENOS (EN ou LN) as composições das anomalias atmosféricas durante eventos extremos mostram similaridade (diferença) em relação às respectivas anomalias médias mensais associadas com este episódio. Isto indica que a freqüência de eventos extremos aumenta (diminui) quando as perturbações de grande escala favorecem (dificultam) as anomalias de circulação associadas com os eventos extremos naquelas regiões. Isto significa também que o comportamento da freqüência de eventos extremos é consistente com o da precipitação total mensal ou sazonal, o que é coerente com o fato de que boa parte dessa precipitação total é devida a eventos extremos.

Um exemplo importante desse resultado é o leste do Sul do Brasil em novembro (+), pois Curitiba está dentro dessa região. Durante eventos extremos há anomalias de função corrente ciclônicas em baixos níveis e em altos níveis há anomalias ciclônicas a sudoeste e anticiclônica à nordeste da região de estudo, havendo convergência anômala de fluxo de umidade sobre essa região. Ao analisar os mapas de anomalia média mensal durante EN e LN, nota-se que os mapas de anomalias ocorridas durante eventos extremos são parecidos com os mapas de anomalia média mensal durante EN e muito diferentes e até opostos aos mapas de LN. Portanto, o grande aumento de eventos extremos, durante EN, nessa região deve-se às condições favoráveis de grande escala, enquanto a redução, durante LN, é devido às condições de grande escala desfavoráveis.

O estudo da diferença entre a freqüência de eventos extremos de vazão em anos EN e normais e em anos LN e normais, mostra que esses episódios também

influenciam significativamente a ocorrência de eventos extremos de vazão. Mostra ainda que os extremos de vazão são diretamente ligados com os extremos de precipitação. Quando há um aumento de eventos extremos de precipitação os de vazão aumentam no mesmo mês ou até no mês seguinte na bacia afetada.

Os histogramas de vazões diárias são coerentes com os resultados das diferenças entre eventos extremos de vazões. Quando há um aumento de eventos extremos em certa categoria de anos, há também um aumento da ocorrência de altas vazões nesta categoria, confirmando assim os resultados de diferença entre as frequências de eventos extremos de vazão. Além disso, os histogramas mostram que, para as regiões estudadas nesse trabalho, quando há um aumento no número de eventos extremos em um certo episódio (EN ou LN) esses eventos também sofrem um aumento na sua intensidade.

9. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para melhorar e/ou verificar os resultados obtidos nesse trabalho poderiam ser testadas outras distribuições para a chuva diária (Gama), eventos extremos de chuva (Gumbel) e vazão diária (Log-Normal), além de outros métodos de ajustamento. Pode-se também fazer um estudo para verificar quais distribuições densidade de probabilidade que melhor representam os dados de eventos extremos de vazão.

Também é proposto como um trabalho futuro fazer estudos mais detalhados em áreas mais limitadas, ao invés de todo continente, tanto em eventos extremos de precipitação quanto de vazão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEITUNO, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. part I: surface climate, **Mon. Wea. Rev.**, v.116, p.505-524, 1988.

BERRI, G. J.; GHIE TTO, M. A. e GARCÍA, N.O. The influence of ENOS in the flows of the Upper Paraná River of South America over the past 100 years, **J. Hydrometeor.**, v.3, p.57-65, 2002.

BRIAN DOTY e INSTITUTE OF GLOBAL ENVIRONMENT AND SOCIETY. **GrADS**, versão 1.9b4. Calverton, MD, 2005. obtido em: <http://www.iges.org/grads/>.

CAMILLONI, I. A. e BARROS, V. R. The Paraná River response to El Niño 1982-83 and 1997-98 events, **J. Hydrometeor.**, v.1, p.412-430, 2000.

_____ e _____. Extremes discharge events in the Paraná River and their climate forcing, **J. Hydrology**, v.278, p.94-106, 2003.

CARVALHO, L.M.V.; JONES, C. e LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in Southeastern America and large-scale convective patterns in the South Atlantic Convergence Zone, **J. Climate**, v.15, p.2377-2394, 2002.

_____; _____ e _____. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall, **J. Climate**, v.17, p.88-108, 2004.

CAYAN, D.R.; REDMOND, K.T. e RIDDLE, L. G. ENOS and hydrologic extremes in western United States, **J. Climate**, v.12, p.2881-2893, 1999.

COMPAGNUCCI, R.H e SALLES, M.A. Surface pressure patterns during the year over Southern South America, **J. Climatology**, v.17, p.635-653, 1997.

ENFIELD, D. B. e MESTAS-NUÑEZ, A. M. Multiscale variabilities in global sea surface temperatures and their relationships with tropospheric climate patterns, **J. Climate**, v.12, p.2719-2733, 1999.

FRANCO, B. e PIZARRO, L. El Niño y la sequía en los Altos Andes Centrales: (Perú y Bolivia). **Bull. Inst. Fr. Et. And.**, v.1-2, p.1 –18, 1985.

GERSHUNOV, A. e BARNETT, T.P. ENOS influence on intraseasonal extreme rainfall and temperature frequencies in the contiguous United States: Observations and Model Results, **J. Climate**, v.11, p.1575-1586, 1998

_____; ENOS influence on intraseasonal extreme rainfall and temperature frequencies in the contiguous United States: implications for long-range predictability. **J. Climate**, v.11, p.3192-3203, 1998.

GRIMM, A.M. e SILVA DIAS, P. L. Analysis of tropical-extratropical interactions with influence functions of a barotropic model. **J. Atmos. Sci.**, v.52, p.3538-3555, 1995.

_____; 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.

_____; 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.

_____. The El Niño Impact on Summer Monsoon in Brazil: Regional Processes versus Remote Influences. **J. Climate**, v. 16, p.263-280, 2003.

_____. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? **Climate Dynamics**, v.22, n. 2-3, p.123-138, 2004.

_____; VERA, C. S. e MECHOSO, C. R. The South American Monsoon System. In: *The Global Monsoon System: Research and Forecast*. C.-P. Chang, B. Wang and N.-C. G. Lau, Eds., WMO/TD 1266 - TMRP 70, p.219-238, 2005. Disponível em: http://www.wmo.int/pages/prog/arep/tmrp/REPORTS/global_monsoon_system_IMW_3.pdf

_____; J. PAL e F. GIORGI. Connection between spring conditions and peak Summer monsoon rainfall in South América: Role of soil moistuer, surface temperature, and topography in eastern Brazil. **J. Climate**, v. 20, p.5929-5945, 2007.

_____. **Meteorologia Básica – Notas de aula.** Disponível em: <
<http://fisica.ufpr.br/grimm/>>. Acesso em: 10/03/2008.

HOERLING, M. P.; KUMAR, A. e ZHONG, M. El Niño, La Niña, and the nonlinearity of their teleconnections, **J. Climate**, v.10, p.1769-1786, 1997.

KALNAY, E.; AKNAMITSU, M.; KISTLER, COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBIZUSAKI, W.; HIGGINS, W.; JONAWIAK, J.; MO, K.C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; JENNE, R. e JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bul. of the Amer. Meteor. Soc.**, 77, 437-71, 1996.

KAROLY, D.J. Southern Hemisphere Circulation Features associated with El Niño-Southern Oscillation Events. **J. Climate**, v.2, p.1239-1252, 1989.

KILADIS, G.N. e DIAZ, H.F. Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. **J. Climate**, v.2, p.1069- 1090, 1989

LIEBMANN, B.; JONES, C. e CARVALHO, L.M.V. Interannual variability of extreme precipitation events in the State of São Paulo, Brazil. **J. Climate**. v.14, p.208-218, 2001.

LIEBMANN, B. e ALLURED, D. Daily precipitation grids for South America. **Bull. Amer. Met. Soc.**, v.86, p.1567-1570, 2005.

LIVEZEY, R. E.; MASUTANI, M.; LEETMA, A.; RUI, H.; JI, M. e KUMAR, A. Teleconnective response of the Pacific-North American region atmosphere to large central equatorial Pacific SST anomalies, **J. Climate**, v.10, p.1787-1820, 1997.

MEYER, P. L. **Probabilidade: aplicações à estatística.** Rio de Janeiro: Ao livro técnico, 1972

NOAA/PMEL/TAO Project Office, obtido em <http://www.pmel.noaa.gov>, no dia 23/01/2008.

ONS. Disponível em : http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx, acesso em: 26/03/2008.

RAMAGE, C. S. El Niño. **Scientific American**. Jun, p.76-83, 1986.

RAYNER, N. A.; PARKER, D. E.; HORTON, E. B.; FOLLAND, C. K.; ALEXANDER, L. V.; ROWELL, D. P.; KENT, E. C. e KAPLAN, A. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. **J. Geophys. Res.**, 108 (D14), 4407, 2003.

ROPELEWSKI, C. F. e HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Mon. Wea. Rev.**, v.115, p.1606-1626, 1987.

_____ e _____. Precipitation patterns associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation, **J. Climate**, v.2, p.268-284, 1989.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 1972.

THOM, H. C. S. A note on the Gamma distribution. **Mon. Wea. Rev.**, v.86, p.117-122, 1958.

_____. **Some methods of climatological analysis**. Technical Note nº 81. Geneva: WMO, 1971.

TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño, **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v.78, p.2771-2777, 1997.

VOITURIEZ, B. e JACQUES, G. **El Niño – Fact and Fiction**. Paris: UNESCO, 2000.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction**. 1. ed. San Diego: Academic Press, 1995.