



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**CICLONES EXTRATROPICAIS
NO HEMISFÉRIO SUL**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Carolina Daniel Gouveia

Itajubá, MG, Brasil

2013

CICLONES EXTRATROPICAIS NO HEMISFÉRIO SUL

por

Carolina Daniel Gouveia

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas.

Orientadora: Dr^a Michelle Simões Reboita

**Itajubá, MG, Brasil
2013**

**Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a
Monografia

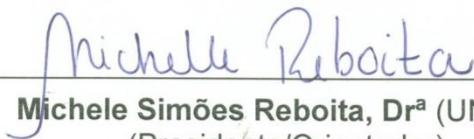
CICLONES EXTRATROPICAIS NO HEMISFÉRIO SUL

elaborada por

Carolina Daniel Gouveia

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas

Comissão Examinadora:


Michele Simões Reboita, Dr^a (UNIFEI)
(Presidente/Orientador)


Arcilan Trevenzoli Assireu, Dr. (UNIFEI)


Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes, Dr. (UNIFEI)

Itajubá, 14 de novembro de 2013.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por acompanhar e guiar toda minha trajetória de vida.

À minha orientadora Dra. Michelle Simões Reboita, pela constante atenção, pelo apoio, por seus incentivos e, principalmente, pela paciência em transmitir o conhecimento.

Aos professores membros da banca examinadora Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu e Dr. Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes, por terem se prontificado e aceitarem o convite para participar da apresentação.

À coordenadora Dra. Vanessa Silveira Barreto Carvalho e a todo o corpo docente do curso de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Itajubá, pelo aprendizado e desenvolvimento não somente profissional como também pessoal.

À minha família, pelo amparo em todos os momentos vividos.

Aos meus amigos, sempre prontos a me escutar, aconselhar e incentivar nos instantes de dificuldade.

A todos que, de alguma maneira, me fizeram seguir em frente, muito obrigada!

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

CICLONES EXTRATROPICAIS NO HEMISFÉRIO SUL

AUTORA: CAROLINA DANIEL GOUVEIA.
ORIENTADOR: DR^a MICHELLE SIMÕES REBOITA.
Local e Data da Defesa: Itajubá, 14 de novembro de 2013.

Este estudo investigou a posição climatológica e a tendência da ocorrência dos ciclones extratropicais no Hemisfério Sul no período entre 1980 e 2012. Foram utilizados dados de pressão ao nível médio do mar e um esquema automático de rastreamento de ciclones. A tendência a ocorrência de ciclones, considerando todo o HS, é negativa quando considerados todos os sistemas identificados. Porém, considerando os ciclones intensos (pressão central inferior a 980 hPa) apresenta-se positiva. Portanto o número total de ciclones está diminuindo, enquanto o de intensos está aumentando, concordando com os resultados de Pezza e Ambrizzi (2003). Quanto as densidades da trajetória e da posição inicial dos ciclones, observou-se que são maiores em latitudes ligeiramente afastadas da Antártica e próximo a costa sudeste da Austrália e a costa leste da América do Sul. Nessa última área, localizam-se as três regiões de maior ciclogênese do Oceano Atlântico Sul, sendo RG1 a costa Sul e Sudeste do Brasil, RG2 o extremo sul do Brasil e Uruguai e RG3 o Sudeste da Argentina. A primavera é a estação do ano de significativa densidade de ciclones em RG1, enquanto RG2 e RG3 apresentam maior ocorrência desses sistemas no inverno. Também, há uma tendência de aumento dos sistemas de baixa pressão no inverno e decaimento no verão em todo o HS, sendo a costa leste da América do Sul uma região de tendência positiva constante. Finalmente, em relação às diferenças entre as densidades das trajetórias dos ciclones em anos de El Niño, La Niña e neutros, nota-se que há uma grande influência do fenômeno El Niño sobre o Oceano Pacífico Sul em latitudes médias durante o outono, inverno e primavera. Nos oceanos Pacífico e Índico tanto o El Niño quanto a La Niña são significantes e, restringindo ao setor leste da costa sul-americana, o El Niño tem domínio sobre a La Niña no que se refere à influência na quantidade de sistemas ciclônicos formados no outono.

Palavras-chave: Ciclones. Hemisfério Sul. Climatologia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Limites latitudinais e longitudinais das 3 regiões no Oceano Atlântico Sul e topografia (preenchido) da América do Sul em metros.	9
Figura 2 Localização das regiões de Niño no Oceano Pacífico Equatorial. NOAA (2013).	11
Figura 3 Total anual de ciclones (linha azul) e reta de regressão linear (linha preta) considerando todos os ciclones por ano (a-e) e aqueles em que em algum momento do ciclo de vida apresentaram pressão central inferior a 980 hPa (f-j) para o período entre 1980 e 2012 no HS. A linha em vermelho representa a tendência dos dados de 1980 a 1996, período correspondente ao estudo de Pezza e Ambrizzi (2003).	15
Figura 4 Total anual de ciclones (linha azul) e reta de tendência linear (linha preta) considerando todos os ciclones por ano (a-e) e sistemas intensos (f-j) no OAS.	19
Figura 5 Total anual de ciclones (linha azul) e reta de tendência linear (linha preta) considerando todas as estações do ano para as Regiões 1 (a-e), 2 (f-j) e 3 (k-o).	22
Figura 6 Total anual de ciclones (linha azul) e reta de tendência linear (linha preta) considerando todos os ciclones por ano (a-e) e sistemas intensos (f-j) no OPS.	25
Figura 7 Total anual de ciclones (linha azul) e reta de tendência linear (linha preta) considerando todos os ciclones por ano (a-e) e sistemas intensos (f-j) no OI.	28
Figura 8 Densidade mensal da trajetória de ciclones no Hemisfério Sul entre 1980 e 2012.	31
Figura 9 Densidade sazonal da trajetória de ciclones no Hemisfério Sul entre 1980 e 2012.	32

Figura 10 Densidade mensal da posição inicial dos ciclones no Hemisfério Sul entre 1980 e 2012.	34
Figura 11 Densidade sazonal da posição inicial dos ciclones no Hemisfério Sul entre 1980 e 2012.	35
Figura 12 Tendência anual (a) e sazonais (b, c, d, e) de ciclogênese no Hemisfério Sul entre 1980 e 2012.	37
Figura 13 Densidade da Trajetória de Ciclones (DTC) associados com diferentes fases do ENSO (1980-2012) nas quatro estações do ano. Primeira coluna: média da DTC em anos de El Niño menos a média da DTC em anos neutros (EN – neutro); Segunda coluna: média da DTC em anos de La Niña menos a média da DTC em anos neutros (LN – neutro); Terceira coluna: média da DTC em anos de El Niño menos a média da DTC em anos de La Niña (EN – LN). As unidades de DTC estão em número de sistemas por 10^3 (graus de latitude) ² . As áreas de significância de 90% são mostradas pelos contornos pretos.....	48

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 Médias móveis trimestrais de ONI para a região de Niño 3.4 entre 1980 e 2012. Os valores em azul correspondem a eventos La Niña e os em vermelho indicam El Niño. Adaptado NOAA (2013) 12
- Tabela 2 Teste de significância estatística aplicado às séries temporais da ocorrência anual e sazonal de ciclones no HS. As tendências com nível de confiança de 95% (significância de 0,05) correspondem aos valores maiores do que 2,021 ou menores do que -2,021..... 16
- Tabela 3 Número de ciclones totais e intensos por bandas de latitude identificados no HS nas últimas três décadas..... 17
- Tabela 4 Número de ciclones por bandas de latitude e estação do ano identificados no HS entre 1980 e 2012. 17
- Tabela 5 Teste de significância estatística aplicado às séries temporais da ocorrência anual e sazonal de ciclones no OAS. As tendências com nível de confiança de 95% (significância de 0,05) correspondem aos valores maiores do que 2,021 ou menores do que -2,021.....20
- Tabela 6 Número de ciclones por bandas de latitude e estação do ano identificados no OAS entre 1980 e 2012.....21
- Tabela 7 Teste de significância estatística aplicado às séries temporais da ocorrência anual e sazonal de ciclones nas regiões RG1 (a), RG2 (b) e RG3 (c). As tendências com nível de confiança de 95% (significância de 0,05) correspondem aos valores maiores do que 2,021 ou menores do que -2,021.23
- Tabela 8 Teste de significância estatística aplicado às séries temporais da ocorrência anual e sazonal de ciclones no OPS. As tendências com nível de confiança de 95% (significância de 0,05) correspondem aos valores maiores do que 2,021 ou menores do que -2,021.....26

Tabela 9	Número de ciclones por bandas de latitude e estação do ano identificados no OPS entre 1980 e 2012.....	27
Tabela 10	Teste de significância estatística aplicado às séries temporais da ocorrência anual e sazonal de ciclones no OI. As tendências com nível de confiança de 95% (significância de 0,05) correspondem aos valores maiores do que 2,021 ou menores do que -2,021.....	29
Tabela 11	Número de ciclones por bandas de latitude e estação do ano identificados no OI entre 1980 e 2012.....	30
Tabela 12	Distribuição sazonal de ciclones nas três regiões ciclogênicas da costa leste americana entre 1980 e 2012.	30
Tabela 13	Anos com registro de eventos El Niño (EN), Neutro (N) e La Niña (LN) entre 1980 e 2012 por estação do ano com base no ONI.....	39
Tabela 14	Número médio de ciclones no HS para as estações do ano em anos de El Niño, Neutro e La Niña para o período de 1980 a 2012.....	39
Tabela 15	Número médio de ciclones no HS por banda de latitude para as estações de Verão (a), Outono (b), Inverno (c) e Primavera (d) em anos de El Niño, Neutro e La Niña para o período de 1980 a 2012. Entre parênteses estão apresentadas as porcentagens de diferença em relação aos anos neutros.	40
Tabela 16	Número médio de ciclones no OAS por banda de latitude para as estações de Verão (a), Outono (b), Inverno (c) e Primavera (d) em anos de El Niño, Neutro e La Niña para o período de 1980 a 2012. Entre parênteses estão apresentadas as porcentagens de diferença em relação aos anos neutros.	42
Tabela 17	Número médio de ciclones no OPS por banda de latitude para as estações de Verão (a), Outono (b), Inverno (c) e Primavera (d) em anos de El Niño, Neutro e La Niña para o período de 1980 a 2012. Entre parênteses estão apresentadas as porcentagens de diferença em relação aos anos neutros.	44

Tabela 18 Número médio de ciclones no OI por banda de latitude para as estações de Verão (a), Outono (b), Inverno (c) e Primavera (d) em anos de El Niño, Neutro e La Niña para o período de 1980 a 2012. Entre parênteses estão apresentadas as porcentagens de diferença em relação aos anos neutros.	46
--	----

LISTA DE SIGLAS

AS – América do Sul

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

EN – El Niño

ENOS – El Niño-Oscilação Sul

DTC – Densidade da Trajetória dos Ciclones

HS – Hemisfério Sul

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

LN – La Niña

MCG – Modelo de Circulação Geral da Atmosfera

NCEP – National Centers for Environmental Prediction

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

OAS – Oceano Atlântico Sul

OI – Oceano Índico

ONI – Oceanic Niño Index

OPS – Oceano Pacífico Sul

OS – Oscilação Sul

PNMM – Pressão ao Nível Médio do Mar

RG1 – costa Sul e Sudeste do Brasil

RG2 – desembocadura do Rio da Prata

RG3 – costa Sul da Argentina

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE SIGLAS.....	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 CLIMATOLOGIA DE CICLONES EXTRATROPICAIS.....	3
2.2 INFLUÊNCIA DO ENOS NOS CICLONES EXTRATROPICAIS	5
3. DADOS E METODOLOGIA.....	8
3.1. DADOS	8
3.2. METODOLOGIA	8
3.2.1 Tracking dos Ciclones	8
3.2.2 Climatologia dos Ciclones	9
3.2.3 El Niño-Oscilação Sul (ENOS)	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
4.1 CLIMATOLOGIA DOS CICLONES	14
4.1.1 Anual e Sazonal	14
4.1.2 Distribuição Espacial dos Ciclones.....	30
4.2 INFLUÊNCIA DO ENOS NAS CICLOGÊNESES NO HS	38
4.2.1 Análise por oceano.....	41
4.2.2 Densidade da Trajetória dos ciclones	47
5. CONCLUSÃO.....	50
6. REFERÊNCIAS.....	52
7. ANEXOS	55
ANEXO I SOMATÓRIO DO NÚMERO DE OCORRÊNCIAS MENSIS PARA O PERÍODO DE 1980 A 2012 REFERENTES AO HS (A), AOS TRÊS OCEANOS (B, C, D) E ÀS REGIÕES COM MAIOR CICLOGÊNESE NO SETOR OESTE DO OAS (E, F, G). A LINHA AZUL CORRESPONDE A TODOS OS SISTEMAS DETECTADOS E A VERMELHA INDICA OS SISTEMAS INTENSOS (PRESSÃO CENTRAL INFERIOR A 980HPA).	55

ANEXO II SOMATÓRIO DO NÚMERO DE OCORRÊNCIAS SAZONAIS PARA O PERÍODO DE 1980 A 2012 REFERENTES AO HS (A), AOS TRÊS OCEANOS (B, C, D) E ÀS REGIÕES COM MAIOR CICLOGÊNESE NO SETOR OESTE DO OAS (E, F, G). A LINHA AZUL CORRESPONDE A TODOS OS SISTEMAS DETECTADOS E A VERMELHA INDICA OS SISTEMAS INTENSOS (PRESSÃO CENTRAL INFERIOR A 980HPA).56

ANEXO III SOMATÓRIO DO NÚMERO DE OCORRÊNCIAS ANUAIS PARA O PERÍODO DE 1980 A 2012 REFERENTES AO HS (A), AOS TRÊS OCEANOS (B, C, D) E ÀS REGIÕES COM MAIOR CICLOGÊNESE NO SETOR OESTE DO OAS (E, F, G). A LINHA AZUL CORRESPONDE A TODOS OS SISTEMAS DETECTADOS E A VERMELHA INDICA OS SISTEMAS INTENSOS (PRESSÃO CENTRAL INFERIOR A 980HPA).57

1. INTRODUÇÃO

Os ciclones são sistemas atmosféricos que possuem movimento circulatório associados a áreas de baixa pressão na superfície (Petterssen, 1956). Esses sistemas possuem rotação horária no Hemisfério Sul e anti-horária no Hemisfério Norte, seguindo o movimento da Terra. Seu processo de formação ou intensificação é denominado ciclogênese e sua dissipação é conhecida como ciclólise. Esses sistemas podem ser classificados em tropicais, subtropicais e extratropicais, de acordo com os processos e a região em que se formam, e possui grande importância no transporte de momento, vapor d'água e calor, além de provocar mudanças no tempo sobre a região em que atuam.

Um estudo climatológico sobre ciclones extratropicais no Hemisfério Sul (HS) foi realizado por Pezza e Ambrizzi (2003). Esses autores restringiram o estudo para o inverno entre os anos de 1973 e 1996 e verificaram uma tendência negativa no total de ciclones nessa estação. Porém, quando foi refeita a análise considerando apenas sistemas com pressão inferior a 980 hPa (ciclones intensos) em algum momento do ciclo de vida, a tendência tornou-se positiva. Também, Gouveia et al. (2011) utilizando o mesmo esquema de rastreamento criado por Murray e Simmonds (1991) e utilizado por Pezza e Ambrizzi (2003), fizeram as análises da climatologia de ciclones para todas as estações do ano e observaram que essa tendência de diminuição do total de ciclones e aumento do número de sistemas intensos no HS foi verificada para o período de 1950 a 2010.

Mendes (2006) elaborou uma climatologia de ciclones no período de 1948 a 2003 a partir de mínimos de pressão ao nível médio do mar no oceano Atlântico Sul, identificando claramente uma área de grande densidade de ciclones estendendo-se do sul do Brasil ao sul da Argentina. Segundo Reboita (2008), nessa área podem ser identificadas três regiões de maior frequência de ciclones na costa leste da América do Sul (AS): costa sul/sudeste brasileira, extremo sul do Brasil e Uruguai e sudeste da Argentina.

De acordo com Gan e Rao (1991), essa grande ocorrência de sistemas de baixa pressão na AS pode ser o mecanismo responsável pelas anomalias positivas de precipitação que ocorreram na fase negativa da Oscilação Sul (OS). Beu e Ambrizzi (2006) também estudaram a variabilidade dos ciclones relacionada a eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS) no HS. Os resultados indicaram que em

média o número de ciclones em anos neutros é semelhante ao de anos de eventos El Niño (EN). Contudo, em eventos de La Niña (LN) foi verificado um outono com diminuição dos sistemas e um pequeno aumento do número de ciclones na primavera e verão em relação aos anos neutros. Já no inverno, o qual ocorre a transição da condição de neutralidade para uma das fases da OS, o comportamento mostrou-se semelhante aos anos neutros.

Com base no exposto, esse estudo tem como objetivo atualizar os trabalhos de Pezza e Ambrizzi (2003) e de Beu e Ambrizzi (2006). Isto é, fazer uma climatologia de ciclones extratropicais no Hemisfério Sul entre 1980 e 2012 por estação do ano e para todos os sistemas e sistemas intensos, bem como avaliar o número de sistemas e localização destes em anos de eventos ENOS.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Climatologia de Ciclones Extratropicais

As primeiras climatologias de ciclones extratropicais no HS foram baseadas em análises visuais de mapas de pressão à superfície, como a determinada por van Loon em 1965. Com o desenvolvimento da tecnologia e o advento dos satélites, Streten e Troup (1973) determinaram uma climatologia de ciclones por meio da análise visual de imagens satelitais, mas ela exigia tempo e envolvia a subjetividade dos pesquisadores. Entretanto, esse trabalho foi grandiosamente facilitado com a evolução computacional, pois os esquemas numéricos de rastreamento (*tracking*) permitiram analisar grandes quantias de informações em um curto prazo de tempo.

Um algoritmo de identificação e rastreamento de ciclones que vem sendo utilizado por vários pesquisadores é o de Murray e Simmonds (1991a,b) da Universidade de Melbourne (Austrália). Pezza e Ambrizzi (2003) estudaram a variabilidade dos ciclones extratropicais no inverno austral do período de 1973 a 1996 utilizando esse algoritmo. Da mesma forma que Simmonds e Keay (2000b), Pezza e Ambrizzi (2003) observaram uma redução do número de sistemas principalmente no final da década de 70, devido à redução de muitos sistemas fracos e predomínio de sistemas com maior intensidade. Gouveia et al. (2011) atualizaram esse estudo até o ano de 2010, incluindo as quatro estações do ano, e os resultados concordam com os encontrados pelos autores acima citados.

No que diz respeito à costa leste da América do Sul, considerada de grande ocorrência de ciclogêneses, Reboita (2008) determinou três regiões como ciclogênicas, sendo costa Sul e Sudeste do Brasil (RG1), desembocadura do Rio da Prata – Uruguai (RG2) e costa Sul da Argentina (RG3). Segundo a autora, RG1 e RG3 possuem maior frequência de ciclogêneses no verão, sendo em RG1 devido à alta disponibilidade de umidade (regime monçônico e umidade provinda dos Jatos de Baixos Níveis e dos ventos de nordeste da Alta Subtropical do Atlântico Sul) e à frequente atividade convectiva (aquecimento radiativo); e em RG3 decorrente do maior número de cavados (geram advecção de vortacidade ciclônica à leste), gradientes horizontais de temperatura e de TSM sobre a região e costa argentina. Já a RG2 apresenta maior formação desses sistemas de baixa no inverno, também influenciada pelos gradientes de TSM e de temperatura do ar mais intensos e cavados em níveis mais altos da atmosfera. Bitencourt et al. (2013) determinaram

dois fatores como sendo responsáveis por essa área altamente ciclogênica na AS, entre 45°S e 15°S e entre 60°W e 20°W: instabilidade baroclínica (considerada como fundamental para o desenvolvimento dos ciclones, principalmente no inverno) e as trocas de energia entre a superfície e a atmosfera.

Desde a década de 80, evidências científicas vêm sendo divulgadas apontando para mudanças no clima. Estas evidências despertaram (e despertam) grande interesse da comunidade científica e também da população em geral, bem como geraram (e geram) muita discussão sobre os fatores responsáveis pela variabilidade climática de longo prazo observada no último século, sendo atribuídas às atividades humanas a responsabilidade por parte destas mudanças. Com relação aos ciclones, estudos observacionais indicam modificação na climatologia de ciclones nas últimas décadas. Por exemplo, Simmonds e Keay (2000a,b) documentaram a variabilidade dos ciclones extratropicais no HS ao longo de quatro décadas (1958-1997) e mostraram uma redução no número de ciclones ao sul de 40°S (com maior redução próximo a 60°S) e aumento ao norte desta latitude. Nas latitudes mais altas, o decréscimo do número de sistemas é acompanhado por ciclones mais intensos e com maior dimensão. Segundo os autores, o número médio anual de ciclones entre 30°-70°S decresceu cerca de 10% do início da década de 70 até o final da década de 90, o que pode estar associado ao aquecimento anômalo reportado no Hemisfério Sul neste período. No verão, os ciclones mais intensos são zonalmente distribuídos em torno da latitude de 55°S, um pouco ao norte da região de maior densidade de ciclones. No inverno, esses sistemas são mais intensos do que no verão, localizados preferencialmente próximos ao continente Antártico.

Fyfe (2003) analisou a climatologia de ciclones em projeções do clima futuro com modelo de circulação geral da atmosfera (MCG), a fim de investigar o desenvolvimento desses sistemas sinóticos e verificar a influência do aumento dos gases de efeito estufa nos mesmos. Nesse trabalho, o modelo utilizou dados destes gases observados entre 1850 e 1990, e as mudanças foram projetadas com base no cenário IS92a para o período de 1990 a 2100. As observações apontam uma significativa mudança no número de ciclones em altas latitudes para o HS nas últimas décadas que antecedem o estudo e essa mudança é consistente com a apontada pelo modelo utilizando gás de efeito estufa e aerossóis de sulfato. Concluiu-se que o número de sistemas diminuiu consideravelmente na região localizada entre o sul de 40°S e o norte do Oceano Antártico, enquanto um sutil

aumento foi observado sobre o Oceano Antártico propriamente dito. Ainda, as projeções do modelo climático global para o cenário futuro utilizado apontam um decaimento de 30% na quantidade de ciclones nas proximidades do continente antártico até o final do século XXI.

2.2 Influência do ENOS nos Ciclones Extratropicais

O El Niño-Oscilação Sul (ENOS) consiste em um fenômeno natural de interação atmosfera-oceano, o qual é uma das principais fontes de variabilidade do clima no planeta. Esse fenômeno está associado a alterações nos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a costa oeste americana e o Pacífico próximo à Austrália. Sua componente atmosférica (Oscilação Sul) corresponde à relação inversa da pressão atmosférica na superfície entre duas Ilhas: Darwin (Austrália) e Tahiti (Pacífico Sul) e a componente oceânica é caracterizada pela variação na temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico Sul, decorrente da intensificação ou enfraquecimento dos ventos alísios (Trenberth, 1997).

A fase positiva do fenômeno ENOS é denominada El Niño (EN), a qual ocorre o aquecimento anômalo das águas superficiais no Pacífico Equatorial Oriental, e a fase negativa é conhecida como La Niña (LN), onde o comportamento mostra-se contrário ao EN, ou seja, há um resfriamento anômalo das águas superficiais no Pacífico Equatorial central e Leste. Esses eventos acontecem em intervalos de dois a sete anos, intercalados por anos neutros, e costumam ter duração entre 12 e 18 meses.

Os eventos EN e LN causam alterações nos padrões de precipitação no globo todo. No Brasil, por exemplo, o EN pode caracterizar um verão seco no Nordeste, quente no Sudeste e chuvoso no Sul. Já a LN pode trazer, no verão, umidade para o Norte e frio no Sudeste e, no inverno, seca no sul do país (CPTEC, 2013). Além de afetar o regime de chuva em diversas partes do planeta, o ENOS pode influenciar na variabilidade e intensidade dos sistemas de baixa pressão, uma vez que os ciclones necessitam de calor e umidade para sua manutenção e desenvolvimento.

Gan e Rao (1991) atribuíram anomalias positivas de precipitação na fase negativa da OS ao maior número de ciclogêneses na Argentina, Uruguai e sul do Brasil. Pezza e Ambrizzi (2003) identificaram uma alta variabilidade na trajetória de

ciclones em eventos ENOS. Foi observada maior quantidade de ciclones no Pacífico oeste subtropical, sul da Argentina e oceano Índico em invernos de El Niño. Em anos de La Niña, os ciclones foram mais pronunciados no Atlântico subtropical e no sudeste da Austrália.

Grimm et al. (1998) analisaram as anomalias de precipitação no sul do Brasil associados aos eventos EN e LN e encontraram relação entre esses eventos. Segundo os autores, a região Sul apresenta uma tendência positiva de precipitação durante a primavera em evento EN, chegando a máxima precipitação ser em novembro. Já durante a LN, anomalias negativas prevalecem sobre a região durante a primavera, sendo mais intensas do que as encontradas em anos de EN. A mesma análise foi proposta por Grimm et al. (2000) para o sul da América do Sul, concluindo que existe uma tendência de redução da precipitação antes do evento EN, na primavera as anomalias aumentam para várias regiões, durante o verão essa tendência positiva diminui consideravelmente, vindo a aumentar no final do outono. Esse comportamento é contrário durante eventos LN, havendo uma maior variabilidade espacial nas anomalias relacionadas a precipitação.

Beu e Ambrizzi (2006) apresentaram um estudo climatológico de ciclones extratropicais do Hemisfério Sul. Para tanto, eles utilizaram 30 anos de dados de reanálise do NCEP e um esquema numérico, além de investigarem a variabilidade intersazonal e interanual relacionada a eventos El Niño/La Niña. Esses autores observaram que, em média, o número de ciclones em anos neutros é semelhante ao de anos de eventos ENOS. Porém, em eventos de La Niña verificou-se um pequeno aumento na quantidade de ciclones na primavera e verão em relação aos anos neutros, enquanto o outono caracterizou-se pela diminuição desses sistemas. Já o inverno se mostrou semelhante aos anos neutros, apesar de ser a estação que em geral ocorre a transição da condição de neutralidade para uma das fases da OS.

Ainda, quando foi feita a análise espacial da trajetória de ciclones sobre a AS e seus arredores, verificou-se que, por exemplo, no Pacífico leste a mudança da trajetória dos sistemas de baixa pressão em estações de transição (primavera e outono) é menos expressiva em anos de El Niño comparada a anos neutros e de La Niña.

Pezza et al. (2008) calcularam a correlação temporal entre a precipitação e a densidade de ciclones e também analisaram a associação entre os sistemas de baixa pressão e os extremos de larga escala climática observados no HS, dentre

eles, o ENSO, para o período de 1979 a 2003. Os resultados apontam uma área de máxima correlação no sudoeste da Austrália e no Oceano Índico relacionada a precipitação em Perth, enquanto a máxima correlação no sudeste da Austrália está conectada às chuvas em Melbourne. Quanto ao ENOS, foi observado um aumento no número de ciclones no sudeste da Austrália e uma diminuição na densidade desses sistemas ao redor da Antártica e no sul da América do Sul em anos de EN. Durante eventos LN foram detectados maior quantidade e intensidade dos ciclones na região do Pacífico sudeste.

3. DADOS E METODOLOGIA

3.1. Dados

Foram utilizados dados de pressão ao nível médio do mar (PNMM) obtidos da reanálise R-1 do *National Centers for Environmental Prediction* – NCEP (Kalnay et al., 1996), referentes ao período de 1980 a 2012. Tais dados possuem resolução temporal de 6 horas e resolução espacial horizontal de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ de latitude por longitude.

3.2. Metodologia

3.2.1 Tracking dos Ciclones

Os dados de pressão ao nível médio do mar foram primeiramente transformados do formato *netcdf* para o *comap*. Após essa adaptação, tais dados foram fornecidos ao algoritmo de rastreamento de ciclones de Murray e Simmonds (1991a,b), que gera arquivos mensais com todos os sistemas de baixa pressão detectados no Hemisfério Sul. É importante ressaltar que o rastreamento foi feito apenas para a região com latitude superior a 20°S , uma vez que a finalidade é identificar apenas os ciclones extratropicais.

O processo de identificação segue dois procedimentos. Primeiramente, cada valor de PNMM é comparado com os valores do entorno, em que são agrupadas numa matriz as possíveis candidatas às baixas pressões, a fim de garantir que todos os mínimos intensos e bem definidos sejam detectados. Posteriormente, aplica-se o critério de vorticidade relativa para que eventuais sistemas em menor escala também sejam rastreados.

Assim, o algoritmo considera um determinado raio de ação sobre cada ciclone encontrado em um dado instante de tempo, admitindo os ciclones situados nesse raio como sendo a evolução do sistema inicial. Também, é feita uma otimização atribuída à máxima probabilidade baseada em uma função decrescente de sua separação e da diferença de pressão central para identificar esses sistemas referentes à evolução do centro de pressão mínima.

3.2.2 Climatologia dos Ciclones

Médias mensais, sazonais e anuais

A partir dos dados fornecidos pelo algoritmo de tracking (data, latitude, longitude e pressão), climatologias mensais, sazonais e anuais da frequência dos ciclones em todo o HS foram determinadas para o período de 1980 a 2012. Tais climatologias foram comparadas a estudos pré-existentes, como de Pezza e Ambrizzi (2003), objetivando determinar se ainda há um aumento no número de ciclones intensos no HS, como mostrado por eles. Gouveia (2012), em seu projeto de iniciação científica, atualizou as análises dos pesquisadores acima citados até o ano de 2010. Portanto, no presente estudo, essas análises serão estendidas e aprofundadas até 2012 para observar o comportamento dos sistemas em questão. Além disso, cálculos para determinar a ocorrência dos ciclones por bandas de latitude foram feitos tanto para todo o HS, quanto para os oceanos austrais e regiões ciclogênicas na costa da América do Sul. De acordo com Reboita (2008), as regiões próximas à América do Sul são delimitadas como: costa sul/sudeste do Brasil (RG1: 35.5°W – 49.5°W; 21°S – 30.5°S), extremos sul do Brasil e Uruguai (RG2: 44.5°W – 58.5°W; 31°S – 41.5°S) e sudeste da Argentina (RG3: 53.5°W – 67.5°W; 42°S - 53°S). Essas regiões estão representadas na Figura 1.

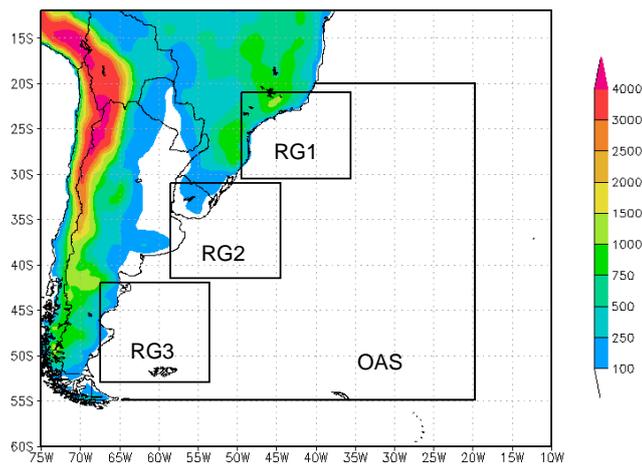


FIGURA 1 Limites latitudinais e longitudinais das 3 regiões no Oceano Atlântico Sul e topografia (preenchido) da América do Sul em metros.

Os limites longitudinais utilizados para cada oceano foram: Oceano Atlântico Sul de 70°W até 20°E; Oceano Pacífico Sul entre 20°E e 140°E e Oceano Índico de 140°E até 70°W.

Tendência da Ocorrência de Ciclones

Para observar a tendência de aumento ou decréscimo na ocorrência dos sistemas de baixa pressão em todo o HS, nos três oceanos e nas regiões de maior ciclogênese na costa leste da AS, foram ajustadas retas de regressão linear em suas climatologias para cada estação do ano. Porém, fatores aleatórios nos dados podem produzir uma relação não existente entre eles e comprometer os resultados. Assim, foi utilizado o teste de significância estatística t (Wilks, 2006), com (n-2) graus de liberdade, para verificar a validade da tendência encontrada.

A significância do coeficiente de regressão foi testada a partir da seguinte relação:

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}}$$

na qual r corresponde ao coeficiente de correlação de Pearson, dado pela equação

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

em que n é o número total de anos, x são os anos analisados e y é o número de ciclones.

Após a determinação das significâncias nas climatologias de ciclones, o foco se deu na determinação das densidades da trajetória de ciclones e da posição inicial desses sistemas em toda a região. A densidade ciclogênética corresponde à razão do número de sistemas numa determinada região por sua área. Assim, o HS foi dividido em inúmeras regiões (“caixinhas”) e toda vez que um ciclone ocorreu (passou) em uma determinada caixinha foi feita a soma e, depois, o número total de sistemas foi dividido pela área da mesma.

Também foi calculada a tendência da densidade da posição inicial dos ciclones. A densidade foi determinada mensalmente para posteriormente calcular-se

a tendência espacial da frequência de ciclones. Para verificar a significância estatística do resultado, utilizou-se também o teste *t* (Wilks, 2006).

3.2.3 El Niño-Oscilação Sul (ENOS)

Realizou-se uma análise para identificar a influência do fenômeno ENOS no número de ocorrência dos ciclones extratropicais no HS e nos três oceanos austrais e na densidade da trajetória desses sistemas. Tais eventos de ENOS serão identificados com base no *Oceanic Niño Index (ONI)* da NOAA.

Esse índice consiste em identificar os eventos El Niño e La Niña por meio das anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região de Niño 3.4, localizada entre 120°W e 170°W no HS, e de médias móveis trimestrais (NOAA, 2013). Esse cálculo é baseado em uma série histórica de 30 anos, atualizada a cada 5 anos, e as anomalias somente caracterizam eventos El Niño e La Niña quando são superiores a +0,5°C ou inferiores a -0,5°C, respectivamente, durante cinco temporadas consecutivas (cinco médias móveis). A ocorrência de águas mais frias do que a climatologia na região é indicada pelo ONI negativo e as águas mais quentes são representadas pelo ONI positivo. A Figura 2 mostra a região de Niño 3.4, a qual o ONI é calculado, e a Tabela 1 apresenta os valores desse índice de 1980 a 2012 por médias móveis trimestrais.

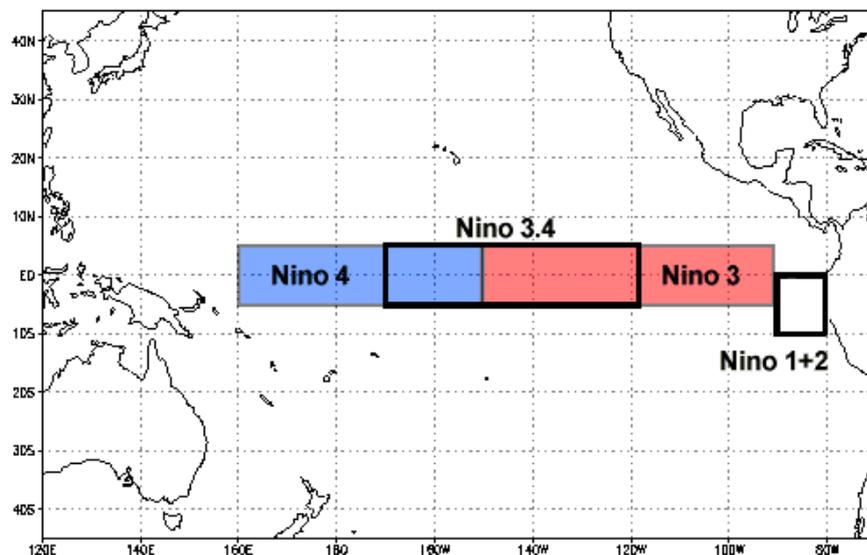


FIGURA 2 Localização das regiões de Niño no Oceano Pacífico Equatorial. NOAA (2013).

TABELA 1 Médias móveis trimestrais de ONI para a região de Niño 3.4 entre 1980 e 2012. Os valores em azul correspondem a eventos La Niña e os em vermelho indicam El Niño. Adaptado NOAA (2013)

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1980	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1
1981	-0.4	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1
1982	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	1.0	1.5	1.9	2.1	2.2
1983	2.2	1.9	1.5	1.2	0.9	0.6	0.2	-0.2	-0.5	-0.8	-0.9	-0.8
1984	-0.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-1.0	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4
1986	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0	1.2	1.4	1.6	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.2	-0.8	-1.2	-1.3	-1.2	-1.3	-1.6	-1.9	-1.9
1989	-1.7	-1.5	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.7	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.2	0.0
1993	0.2	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	1.0	1.2
1995	1.0	0.8	0.6	0.3	0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.7	-0.8	-0.9	-0.9
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.2	0.7	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.4	2.3
1998	2.2	1.8	1.4	0.9	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.2	-1.3	-1.4	-1.5
1999	-1.5	-1.3	-1.0	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7
2000	-1.7	-1.5	-1.2	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.6	-0.8	-0.8
2001	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
2002	-0.2	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.8	0.8	0.9	1.2	1.3	1.3
2003	1.1	0.8	0.4	0.0	-0.2	-0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
2004	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8
2006	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0	1.0
2007	0.7	0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.4
2008	-1.5	-1.5	-1.2	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.5	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.2	0.4	0.5	0.6	0.8	1.1	1.4	1.6
2010	1.6	1.3	1.0	0.6	0.1	-0.4	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-1.5	-1.5
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.6	-0.3	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0
2012	-0.9	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	0.0	0.1	0.4	0.5	0.6	0.2	-0.3

A partir da Tabela 1, foram verificadas nas colunas referentes ao verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON) os índices os quais correspondem aos eventos El Niño (vermelho) e La Niña (azul), identificando os anos em que ocorreram e os que foram neutros. Para cada um desses eventos (El Niño, La Niña e neutro) foi feita a média dos ciclones nos anos encontrados e posteriormente foi calculada sua densidade para todo o HS. Tal análise também foi considerada

separadamente para cada oceano austral, a fim de verificar qual deles apresenta maior influência do ENOS na dinâmica dos ciclones.

Por fim, geraram-se mapas da densidade da trajetória dos ciclones (DTC) associada com as diferentes fases do ENOS para cada estação do ano, considerando, assim, as diferenças entre as densidades do El Niño e neutro, La Niña e neutro e El Niño e La Niña. Para verificar a significância dos resultados, utilizou-se o teste t (Wilks, 2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Climatologia dos Ciclones

4.1.1 Anual e Sazonal

Determinou-se a climatologia de ciclones para o Hemisfério Sul no período entre 1980 e 2012. Os resultados são apresentados na Figura 3, onde é mostrado o total anual e a reta de tendência para o conjunto de todos os ciclones identificados e para o conjunto dos ciclones intensos (pressão central inferior a 980 hPa em algum momento de seu ciclo de vida), considerando todas as estações do ano. Uma reta de tendência referente ao período de 1980 a 1996 foi adicionada ao gráfico, a fim de mostrar os resultados encontrados pelo estudo de Pezza e Ambrizzi (2003). Também, a Tabela 2 mostra o teste de significância estatística aplicada às climatologias anuais e sazonais do total de ciclones e dos ciclones intensos para o período de 1980 a 2012.



FIGURA 3 Total anual de ciclones (linha azul) e reta de regressão linear (linha preta) considerando todos os ciclones por ano (a-e) e aqueles em que em algum momento do ciclo de vida apresentaram pressão central inferior a 980 hPa (f-j) para o período entre 1980 e 2012 no HS. A linha em vermelho representa a tendência dos dados de 1980 a 1996, período correspondente ao estudo de Pezza e Ambrizzi (2003).

Nota-se que, o total anual de ciclones para todo o HS tem tendência positiva e significativa (Tabela 2) tanto para o total de sistemas identificados (Figura 3a), quanto para os sistemas que apresentaram em algum momento do seu ciclo de vida pressão central inferior a 980hPa (Figura 3f). Tal tendência positiva pode ser observada em todas as estações do ano para ambos os casos, sendo na primavera (Figura 3e) a tendência quase inexistente para os sistemas totais e no verão (Figura 3g) a tendência mais pronunciada para os ciclones intensos. As tendências, no geral, apresentam-se significativas (Tabela 2), sendo mais relevantes no inverno para todos os sistemas e no verão para os intensos. A primavera é a única exceção no caso do HS, a qual não apresenta significância em nenhuma das duas climatologias analisadas.

TABELA 2 Teste de significância estatística aplicado às séries temporais da ocorrência anual e sazonal de ciclones no HS. As tendências com nível de confiança de 95% (significância de 0,05) correspondem aos valores maiores do que 2,021 ou menores do que -2,021.

Hemisfério Sul		
Série Temporal	Todos os ciclones	Ciclones com P > 980 hPa
Anual	3,4966	6,6827
Verão	2,287	4,977
Outono	2,0231	4,0314
Inverno	3,3868	3,423
Primavera	0,1066	1,2376

Os resultados da Figura 3 contradizem em parte os encontrados por Pezza e Ambrizzi (2003) e Gouveia et al. (2011), nos quais verificaram-se a existência de uma tendência negativa para o total de sistemas e positiva para sistemas intensos na climatologia anual e no inverno. Os resultados desses autores foram influenciados pelos anos mais distantes do presente, os quais não apresentaram crescimento no número de sistemas, diferentemente das últimas três décadas (Tabela 3), que foram as de aumento mais significativo no HS da frequência dos sistemas de baixa pressão.

TABELA 3 Número de ciclones totais e intensos por bandas de latitude identificados no HS nas últimas três décadas.

a) CICLONES					b) CICLONES INTENSOS				
Latitude (S)	Total	1980-1990	1990-2000	2000-2010	Latitude (S)	Total	1980-1990	1990-2000	2000-2010
90°-80°	55	19	17	15	90°-80°	37	11	13	12
80°-70°	1449	434	436	454	80°-70°	1157	327	363	361
70°-60°	7532	2297	2346	2220	70°-60°	6597	1930	2085	1961
60°-50°	5785	1727	1719	1823	60°-50°	4481	1264	1346	1459
50°-40°	4220	1237	1251	1315	50°-40°	1645	454	496	546
40°-30°	4094	1169	1207	1297	40°-30°	541	124	149	209
30°-20°	2525	770	695	807	30°-20°	158	48	38	62

A Tabela 3 mostra o número de ciclones nas décadas de 1980, 1990 e 2000 em cada banda de latitude, desde 20°S até 90°S. O maior número de ocorrência dos sistemas acontece entre 60°S e 70°S, tanto para ciclones totais quanto para intensos. Pode-se observar que a quantidade de casos vem crescendo nas últimas décadas, sendo que a partir do ano 2000, tal aumento foi mais significativo, principalmente para latitudes inferiores a 60°S. Isso mostra que os ciclones extratropicais estão conseguindo atingir cada vez mais latitudes menores, sendo uma preocupação, uma vez que podem se transformar em sistemas tropicais, os quais são mais intensos e causam maiores influências sobre o tempo na região.

No que diz respeito à sazonalidade (Tabela 4), na banda de latitude observada com maior quantidade de ciclones, entre 60°S e 70°S, o outono é a estação a qual apresenta maior número de sistemas e o verão é a com menor número de ciclones detectados no período de 1980 a 2012. Essa mesma faixa de latitude é a verificada com maior quantidade de sistemas de baixa pressão no outono, inverno e primavera, enquanto a região entre 50°S e 60°S contém os maiores números no verão.

TABELA 4 Número de ciclones por bandas de latitude e estação do ano identificados no HS entre 1980 e 2012.

Hemisfério Sul					
Latitude (S)	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Total
90°-80°	4	8	23	20	55
80°-70°	287	355	395	413	1449
70°-60°	1528	2148	1943	1917	7532
60°-50°	1654	1412	1465	1256	5785
50°-40°	834	1025	1359	1002	4220
40°-30°	733	1072	1210	1078	4094
30°-20°	673	628	568	655	2525

Gerou-se a climatologia de ciclones para o Oceano Atlântico Sul no período entre 1980 e 2012. Tal oceano é o menor em extensão no HS dentre os três principais que foram estudados. A Figura 4 é semelhante a Figura 3, mostrando o total anual e a reta de tendência para todos os ciclones detectados e para os intensos, encontrados no OAS.



FIGURA 4 Total anual de ciclones (linha azul) e reta de tendência linear (linha preta) considerando todos os ciclones por ano (a-e) e sistemas intensos (f-j) no OAS.

Analisando a Figura 4, observa-se que também há uma tendência positiva e significativa (Tabela 5) de aumento na frequência de sistemas totais (Figura 4a) e intensos (Figura 4f) no setor sul do Oceano Atlântico para o período de 1980 a 2012. Ainda, é possível notar que o número de sistemas intensos é bastante alto em comparação com o total de detectados, chegando a superar a metade do número de todos os sistemas em alguns anos. Para a climatologia nesse setor do Oceano Atlântico, o outono (Figuras 4c e 4h) e a primavera (Figuras 4e e 4j) apresentaram tendências quase nulas em ambos os casos, não apresentando significância estatística (Tabela 5).

TABELA 5 Teste de significância estatística aplicado às séries temporais da ocorrência anual e sazonal de ciclones no OAS. As tendências com nível de confiança de 95% (significância de 0,05) correspondem aos valores maiores do que 2,021 ou menores do que -2,021.

Oceano Atlântico Sul		
Série Temporal	Todos os ciclones	Ciclones com P > 980 hPa
Anual	4,5098	3,5523
Verão	2,7866	2,8584
Outono	0,7966	1,0889
Inverno	3,7062	2,2852
Primavera	1,6021	1,4831

No OAS (Tabela 6), as bandas de latitude entre 60°S e 70°S e entre 50°S e 60°S continuam sendo as com maiores quantidades de sistemas atuantes do outono à primavera e no verão, respectivamente. No litoral antártico (90°-80°S) e nas proximidades da região equatorial (30°-20°S), o número de ciclones diminui consideravelmente durante todo o ano, mais efetivamente em altas latitudes, devido à essa faixa de latitude não conter as características termodinâmicas necessárias ao suporte e desenvolvimento dos ciclones.

TABELA 6 Número de ciclones por bandas de latitude e estação do ano identificados no OAS entre 1980 e 2012.

Oceano Atlântico Sul					
Latitude (S)	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Total
90°-80°	1	2	1	6	10
80°-70°	66	99	122	145	432
70°-60°	397	459	468	477	1801
60°-50°	467	431	465	307	1668
50°-40°	273	320	371	280	1245
40°-30°	233	298	340	304	1175
30°-20°	91	129	136	157	511

Para melhor analisar essa climatologia de ciclones na costa leste da América do Sul, estabeleceu-se três regiões no Oceano Atlântico Sul, o qual Reboita (2008) relata serem áreas de maior gênese de ciclones no HS. A região 1 (RG1) refere-se à costa das regiões sudeste e sul do Brasil, a região 2 (RG2), que compreende o extremo sul do Brasil e litoral uruguaio e a região 3 (RG3), que situa-se na costa sul da Argentina, como mostrado na Figura 1.

A partir da escolha dessas regiões, confeccionaram-se gráficos com a climatologia anual total e sazonal de ciclones para cada uma delas. Tais climatologias podem ser vistas na Figura 5.

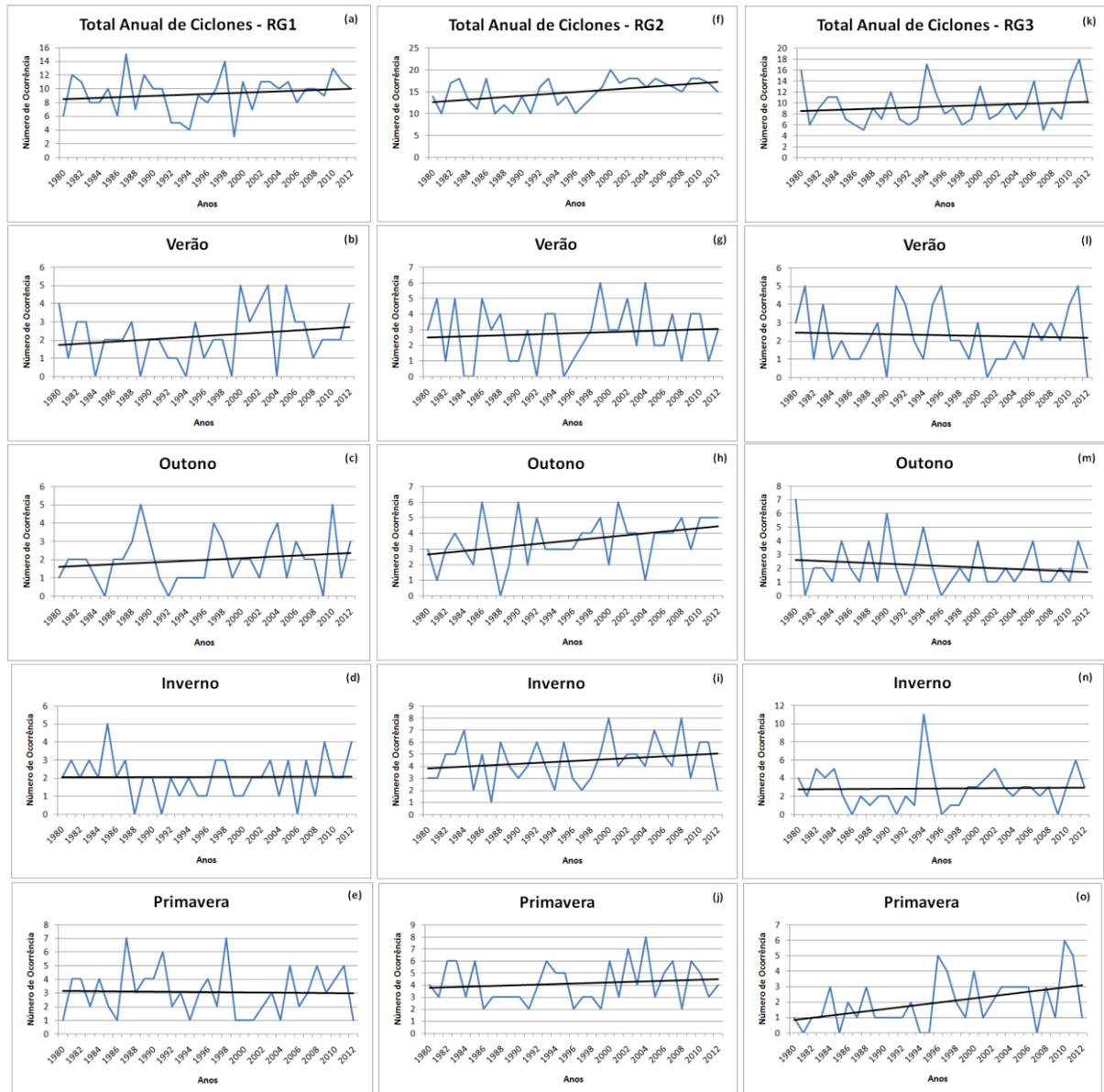


FIGURA 5 Total anual de ciclones (linha azul) e reta de tendência linear (linha preta) considerando todas as estações do ano para as Regiões 1 (a-e), 2 (f-j) e 3 (k-o).

Observa-se na Figura 5 que o número total de ciclones anuais está aumentando nas três regiões consideradas de maior ciclogênese no OAS, sendo RG2 (Figura 5f) a de maior tendência positiva em comparação com RG1 (Figura 5a) e RG3 (Figura 5k), que apresentam tendências ligeiramente crescentes. Na RG1, a tendência positiva é mais visível nas estações de verão (Figura 5b) e outono (Figura 5c), sendo essa tendência praticamente inexistente no inverno (Figura 5d) e na primavera (Figura 5e). Na RG2, a influência mais expressiva se dá pelo outono (Figura 5h) e inverno (Figura 5i). Já na RG3, apesar de apresentar grande tendência positiva na primavera (Figura 5o), o verão (Figura 5l) e o outono (Figura 5m)

apresentam tendência negativa, o que resulta num equilíbrio, evidenciando apenas o ligeiro aumento observado na média. No entanto, tais tendências não apresentam significância (Tabela 7) em nenhuma das três regiões analisadas para ciclones intensos e apenas no outono da RG2 (Tabela 7b) e na primavera da RG3 (Tabela 7c) são significativos estatisticamente.

Esse resultado diverge do encontrado por Gouveia (2011), no qual RG3 apresenta tendência negativa de ocorrência dos sistemas, explicado pela associação dos ciclones com o gradiente meridional de pressão, e este está se deslocando em direção ao pólo, esperando realmente um decréscimo de sistemas nessa região.

TABELA 7 Teste de significância estatística aplicado às séries temporais da ocorrência anual e sazonal de ciclones nas regiões RG1 (a), RG2 (b) e RG3 (c). As tendências com nível de confiança de 95% (significância de 0,05) correspondem aos valores maiores do que 2,021 ou menores do que -2,021.

a) RG1		
Série Temporal	Todos os ciclones	Ciclones com P > 980 hPa
Anual	0,9507	-0,1182
Verão	1,1468	0,4146
Outono	0,9757	-0,4089
Inverno	0,0154	0,5038
Primavera	-0,1647	-0,6852

b) RG2		
Série Temporal	Todos os ciclones	Ciclones com P > 980 hPa
Anual	2,9229	2,0038
Verão	0,5161	1,3750
Outono	2,2091	1,6887
Inverno	1,2062	0,4208
Primavera	0,7689	1,1688

c) RG3		
Série Temporal	Todos os ciclones	Ciclones com P > 980 hPa
Anual	0,8173	-0,4924
Verão	-0,3297	-1,0882
Outono	-0,9019	-0,6988
Inverno	0,1492	-0,0889
Primavera	2,6266	0,6870

Após a análise dos ciclones no OAS, foram geradas as climatologias para o Oceano Pacífico Sul referentes ao mesmo período. O Pacífico é considerado o maior oceano do Planeta, tanto em extensão longitudinal como latitudinal. O total anual e sazonal dos sistemas de baixa pressão detectados no OPS podem ser observados na Figura 6 e o teste de hipótese para verificar a significância de suas tendências podem ser vistos na Tabela 8.

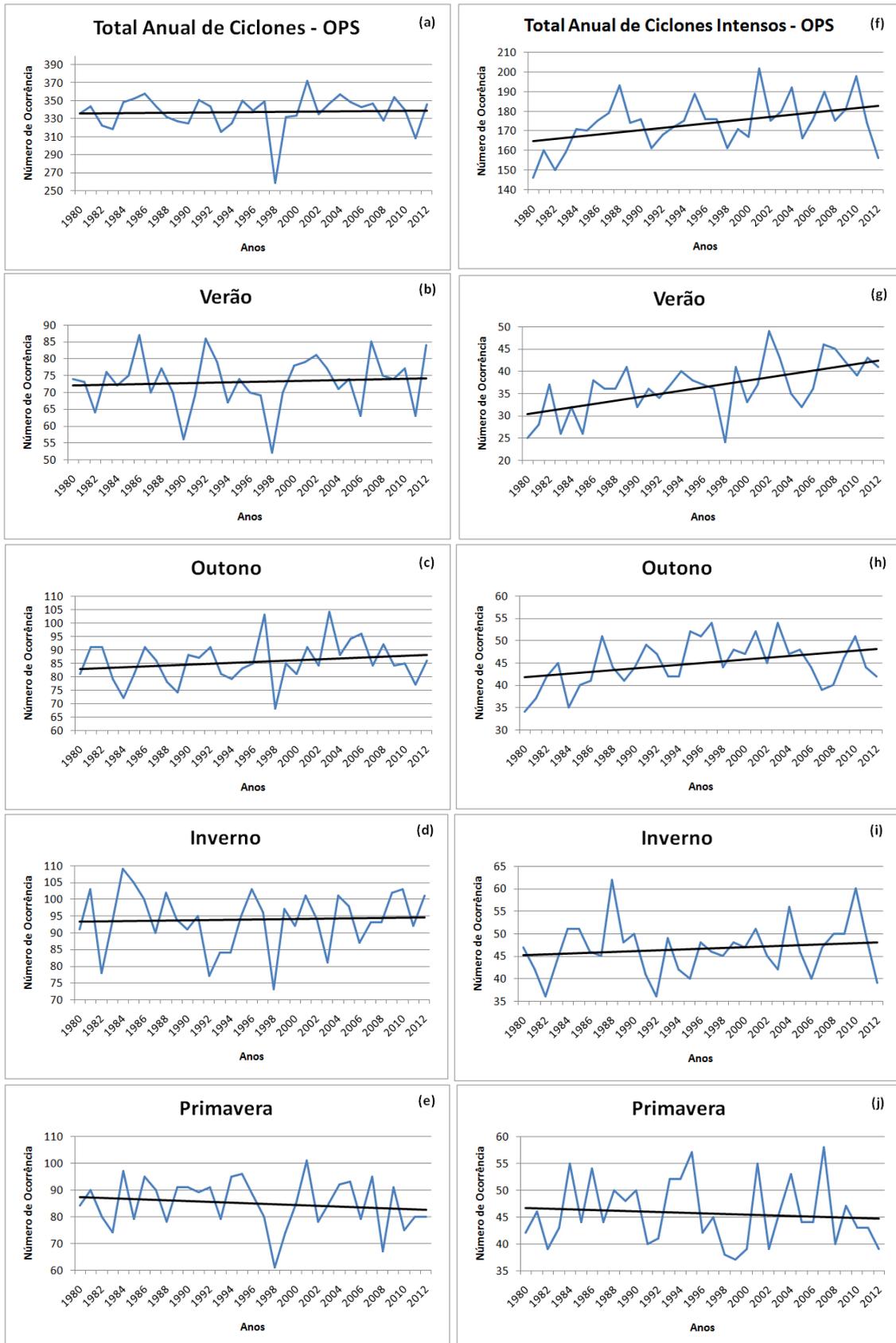


FIGURA 6 Total anual de ciclones (linha azul) e reta de tendência linear (linha preta) considerando todos os ciclones por ano (a-e) e sistemas intensos (f-j) no OPS.

Nota-se que, para o período de 1980 a 2012, não houve uma tendência no total de ciclones (Figura 6a). Esse resultado obtido é decorrente do equilíbrio entre o número de sistemas em cada estação do ano. A diminuição do número de ciclones na primavera (Figura 6e) é contrabalanceada pelo sutil aumento nas estações de verão (Figura 6b), outono (Figura 6c) e inverno (Figura 6d), resultando na inexistência de tendência. Já para os ciclones intensos, tal tendência apresenta-se positiva (Figura 6f) e significativa (Tabela 8), apesar da primavera (Figura 6j) ter diminuição de ocorrências, o verão (Figura 6g) predominou positivamente e influenciou no número total, sendo também o mais significativo.

TABELA 8 Teste de significância estatística aplicado às séries temporais da ocorrência anual e sazonal de ciclones no OPS. As tendências com nível de confiança de 95% (significância de 0,05) correspondem aos valores maiores do que 2,021 ou menores do que -2,021.

Oceano Pacífico Sul		
Série Temporal	Todos os ciclones	Ciclones com P > 980 hPa
Anual	0,2808	2,5843
Verão	0,4938	4,1511
Outono	1,1772	2,1783
Inverno	0,2235	0,8301
Primavera	-0,8945	-0,5555

Analisando a Tabela 9, em que são listados os números de ciclones por bandas de latitude em cada estação do ano, observa-se que a quantidade de sistemas em baixas latitudes (30°S-20°S) é consideravelmente alta, chegando a superar o valor da banda de latitude imediatamente anterior no verão. O maior número de sistemas ainda pode ser notado em latitudes entre 60°S e 70°S, a qual foi observado 3394 ciclones no período analisado, cerca de 1500 ciclones a mais do que na segunda faixa de latitude com maior quantidade significativa (40°S-30°S).

TABELA 9 Número de ciclones por bandas de latitude e estação do ano identificados no OPS entre 1980 e 2012.

Oceano Pacífico Sul					
Latitude (S)	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Total
90°-80°	3	6	22	14	45
80°-70°	221	256	273	268	1017
70°-60°	713	904	877	902	3394
60°-50°	547	440	393	408	1786
50°-40°	294	401	566	411	1671
40°-30°	301	464	608	487	1860
30°-20°	332	349	359	313	1354

O Oceano Índico (OI) é o intermediário em tamanho dentre os três principais, possuindo extensão superior ao OAS e inferior ao OPS. Para o período de 1980 a 2012, foram confeccionados gráficos com a climatologia anual e sazonal de ciclones no OI, como pode ser visualizado na Figura 7.

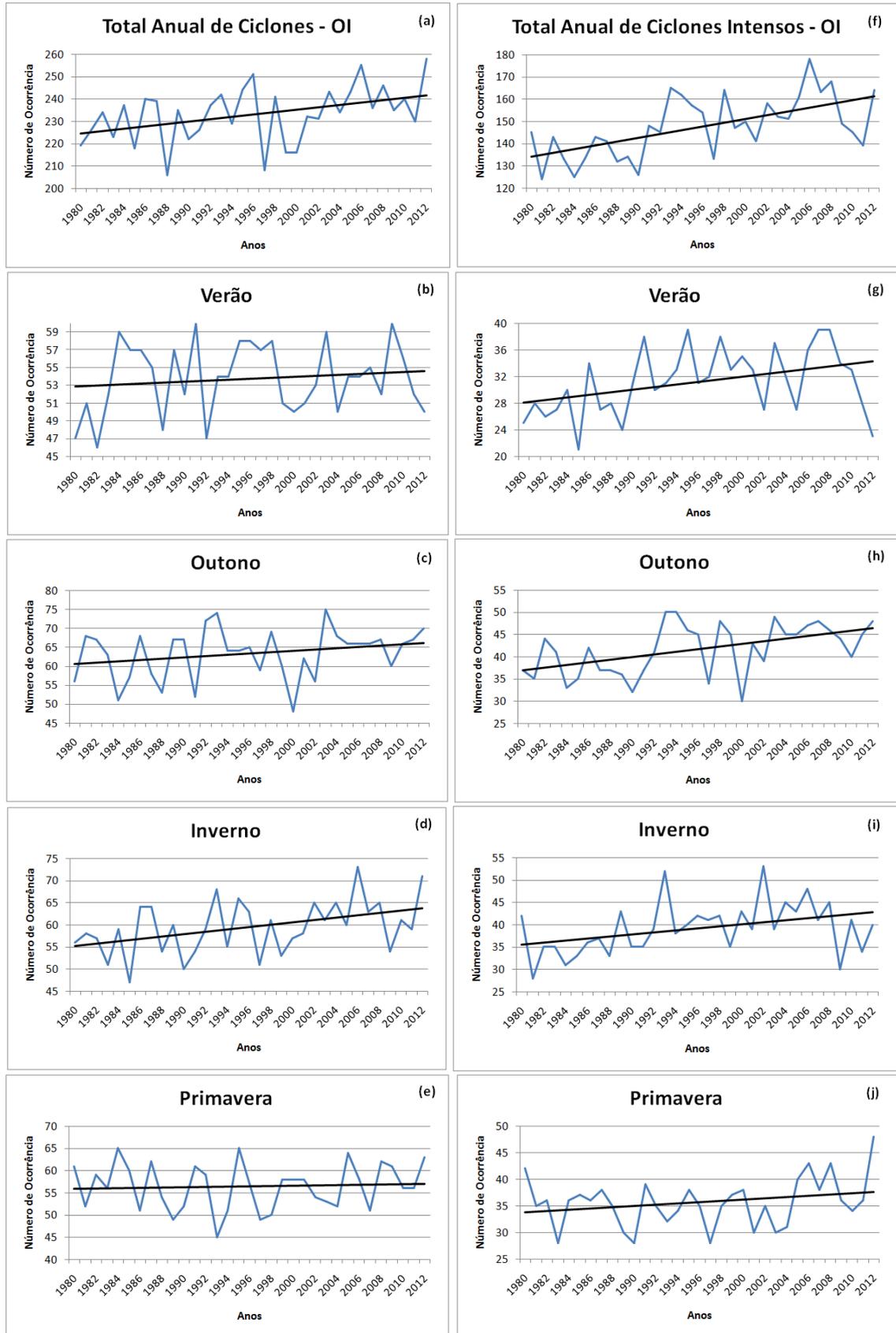


FIGURA 7 Total anual de ciclones (linha azul) e reta de tendência linear (linha preta) considerando todos os ciclones por ano (a-e) e sistemas intensos (f-j) no OI.

Semelhante ao que foi observado no OAS, as tendências para todos os ciclones identificados (Figura 6a) e para os sistemas intensos (Figura 6f) são positivas e significativas (Tabela 10). Esse aumento no número de ocorrência dos ciclones nas últimas três décadas pode ser visto em todas as estações do ano, em ambos os casos (total e intensos), o que contribui para uma tendência positiva acentuada no total anual. Os resultados da Tabela 10 mostram que a tendência anual dos sistemas intensos é bastante significativa, influenciada pela significância em todas as estações, exceto a primavera. Já os ciclones totais apresentam significância na tendência, porém esta não é relativamente alta, podendo ser resultado da ausência de significado encontrado no verão, outono e primavera.

TABELA 10 Teste de significância estatística aplicado às séries temporais da ocorrência anual e sazonal de ciclones no OI. As tendências com nível de confiança de 95% (significância de 0,05) correspondem aos valores maiores do que 2,021 ou menores do que -2,021.

Oceano Índico		
Série Temporal	Todos os ciclones	Ciclones com P > 980 hPa
Anual	2,5553	4,1746
Verão	0,7486	2,3322
Outono	1,4764	3,2361
Inverno	2,6429	2,2847
Primavera	0,3264	1,4359

Para o OI, nas latitudes superiores a 70°S não foi detectado nenhum ciclone durante o período em análise, como pode ser visto na Tabela 11. Com exceção do outono, que apresentou 785 ciclones na banda entre 60°S e 70°S, a faixa de latitude com maior número de sistemas observados nas demais estações do ano foi entre 50°S e 60°S. Assim, o valor total anual foi semelhante nas duas faixas acima citadas, estendendo a região de maior quantidade de sistemas abranger latitudes entre 50°S e 70°S.

TABELA 11 Número de ciclones por bandas de latitude e estação do ano identificados no OI entre 1980 e 2012.

Oceano Índico					
Latitude (S)	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Total
90°-80°	0	0	0	0	0
80°-70°	0	0	0	0	0
70°-60°	418	785	598	538	2337
60°-50°	640	541	607	541	2331
50°-40°	267	304	422	311	1304
40°-30°	199	310	262	287	1059
30°-20°	250	150	73	185	660

4.1.2 Distribuição Espacial dos Ciclones

Após a determinação das climatologias de ciclones para o HS e particularmente para os três oceanos e as regiões consideradas mais ciclogênicas na costa da AS, focou-se na determinação das densidades mensais e sazonais da trajetória de ciclones para a região em questão.

A densidade da trajetória dos ciclones é calculada da seguinte forma: o Hemisfério Sul é dividido em inúmeras regiões e toda vez que um ciclone ocorrer (passar) numa determinada região é feita a soma e, posteriormente, o número total de sistemas é dividido pela área da mesma. Portanto, as Figuras 8 e 9, que representam, respectivamente, as densidades mensais e sazonais da trajetória dos ciclones ocorridos entre 1980 e 2012, não mostram o número de ciclones e sim a densidade, que foi multiplicada por 10^3 . A Tabela 12 mostra o número sazonal de ciclones detectados no período analisado para cada uma das regiões de maior ciclogênese no setor oeste do OAS, inserida a fins de comparação com a densidade.

TABELA 12 Distribuição sazonal de ciclones nas três regiões ciclogênicas da costa leste americana entre 1980 e 2012.

CICLONES - REGIÕES					
Regiões	Total	V	O	I	P
RG1	305	73	65	68	101
RG2	492	91	117	146	136
RG3	309	76	71	93	65

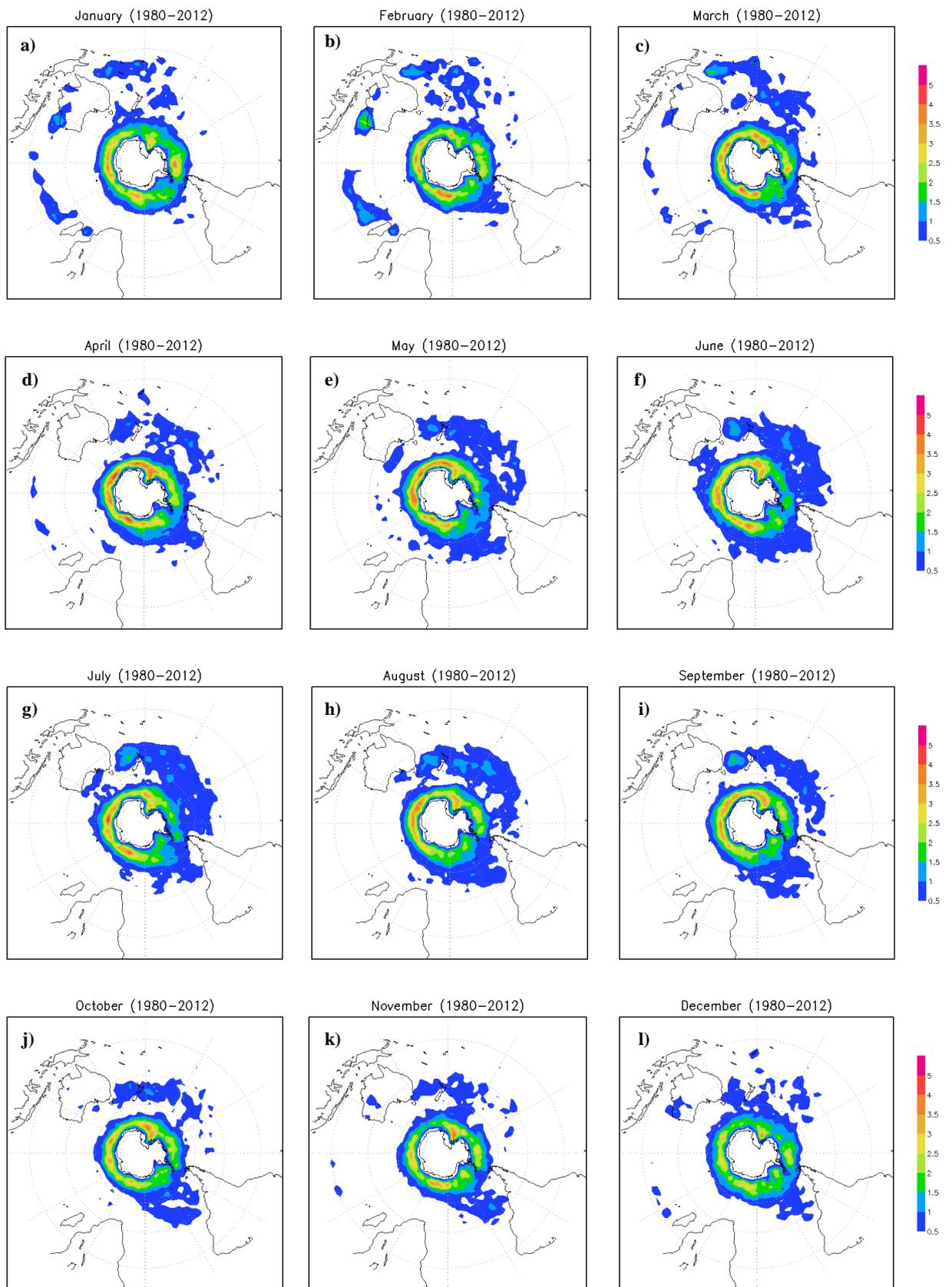


FIGURA 8 Densidade mensal da trajetória de ciclones no Hemisfério Sul entre 1980 e 2012.

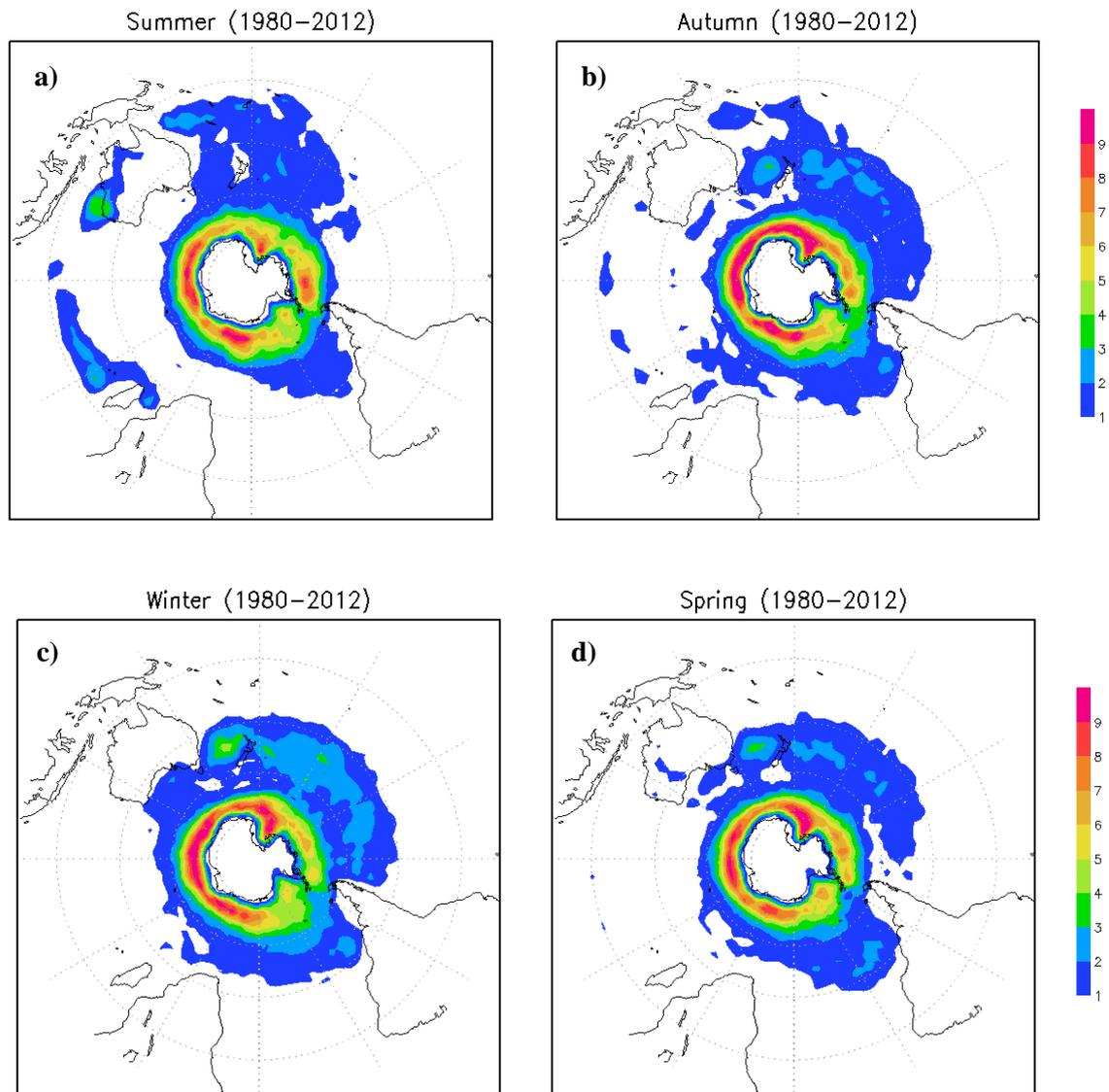


FIGURA 9 Densidade sazonal da trajetória de ciclones no Hemisfério Sul entre 1980 e 2012.

Nas imagens das Figuras 8 e 9, o azul escuro representa regiões com menor densidade e as cores tendendo ao rosa, as regiões de maior densidade de ciclones. Isso também é válido para as Figuras 10 e 11.

Analisando a Figura 8, observa-se que a maior densidade da trajetória de ciclones ocorre em direção à costa da Antártica durante todo o ano. Como tal região é a de encontro de ar frio proveniente dos pólos com o ar mais quente de latitudes tropicais/subtropicais, tem-se uma região de gradientes horizontais de temperatura, que é o “combustível” para a formação dos ciclones. A densidade da trajetória de ciclones é mais intensa nos meses de inverno (Figura 8f, 8g, 8h) e se espalha desde as proximidades da Antártica até latitudes mais baixas, o que já não ocorre no verão

(Figura 8a, 8b, 8c). Após a estação de inverno, a região de densidade começa a diminuir, atingindo sua mínima extensão em Dezembro (Figura 8l). No setor leste do Oceano Atlântico, o tamanho da região referente ao percurso dos ciclones tem um comportamento um pouco diferente, sendo mais extensa e se aproximando mais do Brasil e do Uruguai no mês de Setembro (Figura 8i).

A Figura 9 confirma as análises mensais, denotando que a extensão da região relativa à trajetória dos ciclones é mínima no verão (Figura 9a) e máxima no inverno (Figura 9c), sendo a maior densidade ao redor do continente Antártico. Nota-se também que há um setor na costa leste do litoral uruguaio e brasileiro, aproximadamente entre 30°S e 40°S, onde é permanente a região de ocorrência de ciclones. A RG1 apresenta densidade maior na primavera, enquanto em RG2 e RG3 o inverno é a estação de maior ocorrência desse fenômeno. A Tabela 12 confirma esse resultado e mostra-se semelhante ao de Reboita (2008) no que se refere à RG2.

Semelhantemente ao processo de determinação da densidade da trajetória, calcularam-se as densidades mensais e sazonais referentes à posição inicial dos ciclones entre os anos de 1980 e 2012, como mostram as Figuras 10 e 11. Para determinar a densidade da posição inicial dos ciclones, utiliza-se somente a coordenada (latitude e longitude) registrada no aparecimento do sistema. O restante do procedimento é similar ao cálculo da densidade da trajetória.

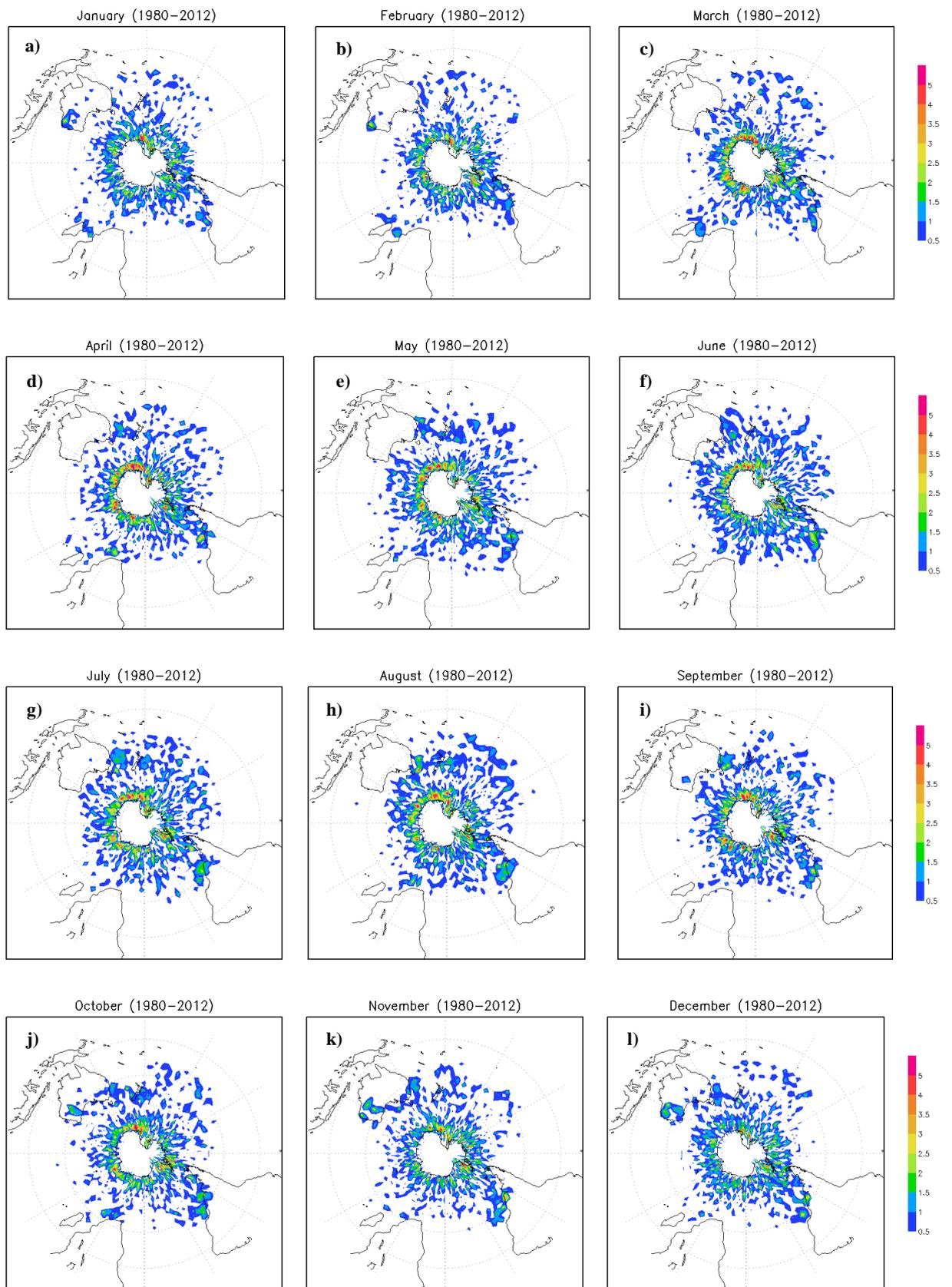


FIGURA 10 Densidade mensal da posição inicial dos ciclones no Hemisfério Sul entre 1980 e 2012.

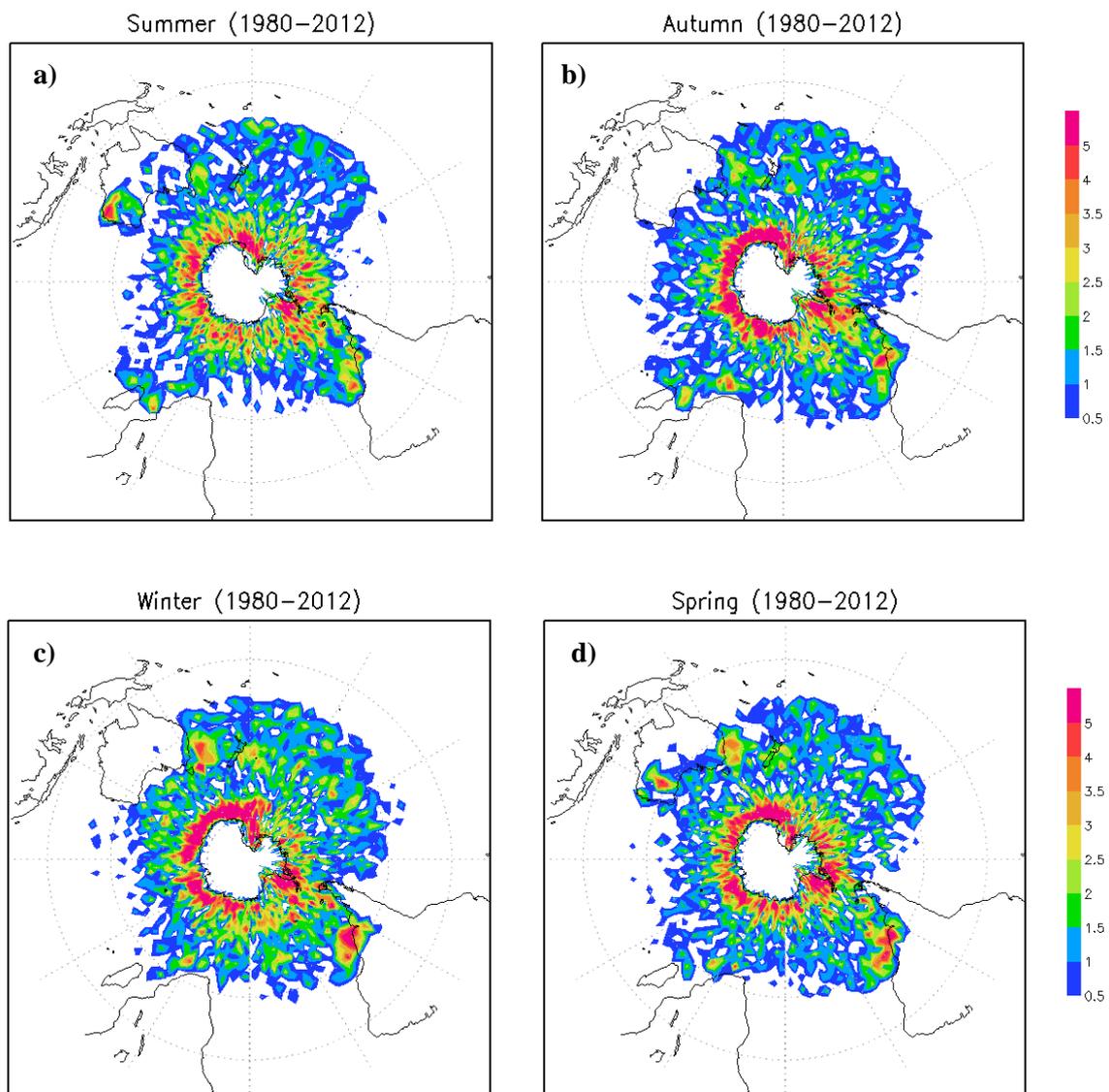


FIGURA 11 Densidade sazonal da posição inicial dos ciclones no Hemisfério Sul entre 1980 e 2012.

Na Figura 10 estão dispostos os mapas com as densidades mensais relativas aos pontos iniciais dos ciclones. Observa-se que no mês de maio (Figura 10e), a região de desenvolvimento inicial dos ciclones é a mais extensa, porém não a de maior densidade. Julho (Figura 10g) é o mês o qual possui mais regiões com altas densidades de ciclogênese.

O verão (Figura 11a) é a estação do ano a qual possui menor desenvolvimento de ciclones. Já o inverno (Figura 11c) apresenta mais regiões com altas densidades de formação desses sistemas e com a maior densidade no HS. O Outono (Figura 11b) possui também grande densidade ciclogênética, porém de menor magnitude que a estação do inverno. É importante destacar que a costa sudeste da

Austrália e costa leste da América do Sul são regiões propícias a formação de ciclones. Com relação a essa última, a região próxima à costa sul/sudeste do Brasil (RG1) apresenta mais ciclogêneses na primavera, resultado que difere de Reboita (2008), que mostrou o verão como a estação de maior ocorrência desses sistemas. Como Reboita (2008) utilizou apenas dados de vortacidade relativa, incluiu na sua climatologia sistemas mais fracos que acabam não sendo capturados com a metodologia do presente estudo. Portanto, isso explica a diferença sazonal entre ambos os estudos. Tal fato, também explica a diferença sazonal encontrada no sudeste da Argentina (RG3), que em Reboita (2008), a maior frequência de ciclones ocorre no verão e no presente estudo, no inverno. Com relação ao extremo sul do Brasil e Uruguai (RG2), o inverno é a estação do ano mais ciclogênica em ambos os estudos.

Uma vez conhecida as regiões mais ciclogênicas no HS entre 1980-2012, realizou-se uma análise de tendência para identificar as regiões onde o número de ciclones tem aumentado ou diminuído. Para o cálculo das tendências é utilizada a técnica de regressão linear e plotado nos mapas o coeficiente angular. Mais detalhes sobre o método pode ser obtido em (Wilks, 2006). Também foi calculado o teste de hipótese (teste t) para verificar se as tendências eram significativas ao nível de 0,05 (95% de confiança).

A Figura 12 é composta de mapas anual e sazonais das ciclogêneses no HS. As linhas azuis correspondem à tendência negativa e as vermelhas referem-se à tendência positiva de ciclogênese. Caso alguma região apresentasse tendência significativa, deveria ser preenchida com a cor cinza. Como nas Figuras 12 (a,b,c,d,e) não apareceu essa cor, nenhuma tendência foi estatisticamente significativa. Contudo, segundo Pezza et al. (2008), a aplicação do teste t em estudos de distribuição espacial de sistemas atmosféricos para análise de significância não possui grande validade.

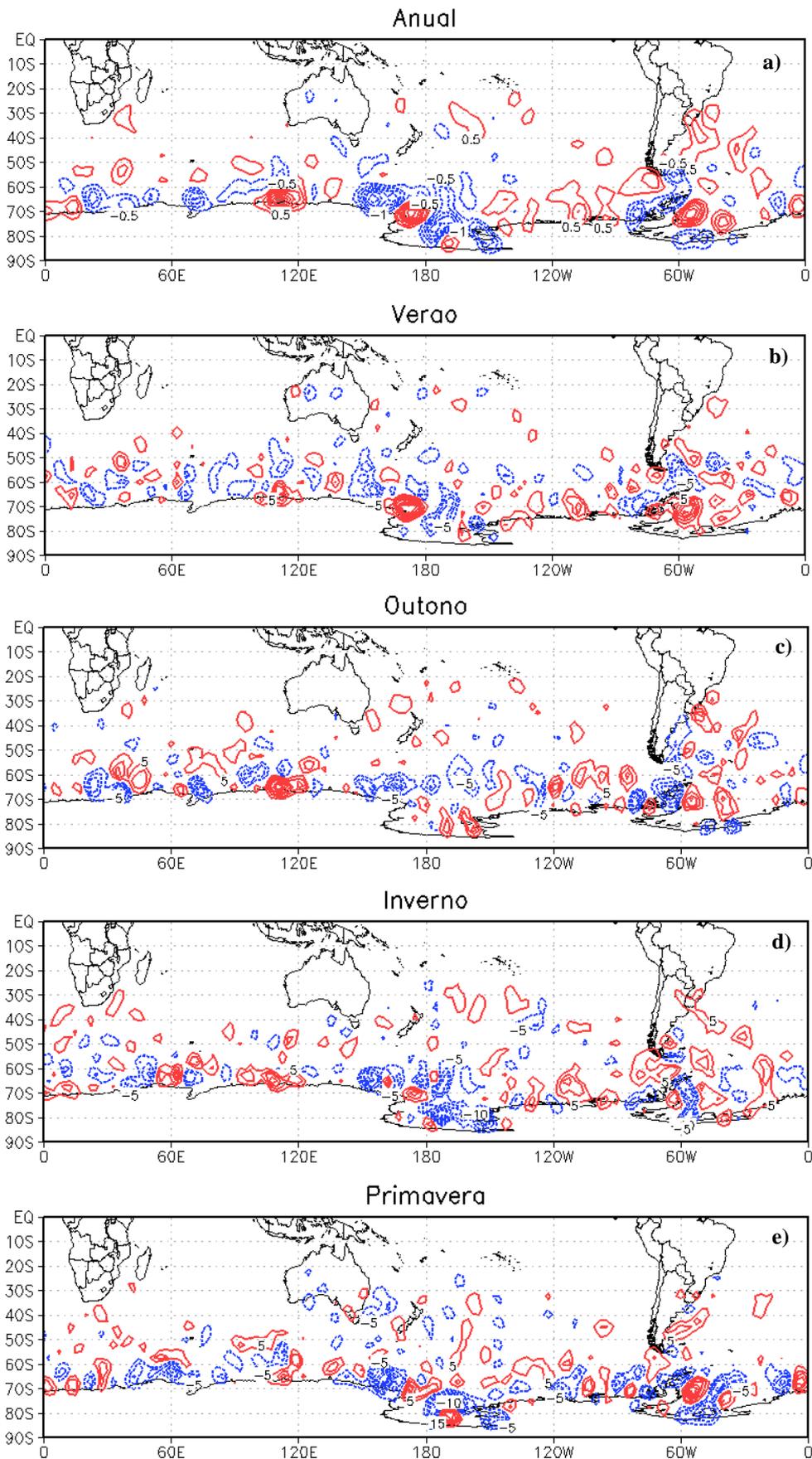


FIGURA 12 Tendência anual (a) e sazonal (b, c, d, e) de ciclogênese no Hemisfério Sul entre 1980 e 2012.

De maneira geral, as tendências positivas e negativas concentram-se no oceano entre latitudes maiores que 50°S, como mostra a Figura 12a, e a formação de ciclones tende a se desenvolver desde a Antártica até aproximadamente 20°S.

No verão (Figura 12b), há regiões que apresentam tendências positivas acentuadas, como entre 160°E e 180° de longitude e nas proximidades de 60°W, mas, considerando a distribuição em todo o HS, essa tendência é predominantemente negativa. Nota-se ainda que a distribuição dessas tendências se dá mais pronunciada em latitudes maiores que 40°S. No outono (Figura 12c), a divisão das tendências positivas e negativas são semelhantes, não havendo domínio de nenhuma. No inverno (Figura 12d), pode-se observar tendências negativas intensas, como na região entre 180° e 140°W de longitude. No entanto, em toda a extensão do HS, a tendência dominante é positiva. Já na primavera (Figura 12e), também não há predomínio de tendência, podendo ser observado valores expressivos negativos em 170°W, assim como positivos em 50°W. Para essas três estações do ano (outono, inverno e primavera), a distribuição espacial das regiões de tendências é mais espaça, atingindo latitudes mais baixas.

Em relação ao setor do OAS, a região da costa sudeste brasileira possui tendência positiva durante todo o ano (Figura 12a), sendo mais acentuada no outono em RG1 e RG2. Para RG3, o comportamento das tendências é diferente, sendo negativa no outono e positiva na primavera. Esta última estação do ano apresenta as menores tendências à formação de ciclones nessa região, em específico.

Chama-se atenção ao fato das tendências realmente existirem ou ser meros produtos dos dados de reanálise. Essa resposta ainda está longe de ser respondida não só nesse estudo, como pelos realizados por grandes pesquisadores que utilizam tais dados.

4.2 Influência do ENOS nas ciclogêneses no HS

Para estudar a influência do ENOS na formação dos ciclones, selecionou-se os anos em que foram detectados os eventos El Niño e La Niña e os que foram neutros entre 1980 e 2012. Tais eventos de ENOS foram identificados com base na Tabela 1, de acordo com os valores de ONI. A partir desta, confeccionou-se a Tabela 13, a qual fornece os anos os quais o ENOS teve fase quente (EN), fase fria (LN) ou não atuava (N) sobre o Pacífico para todas as estações do ano.

TABELA 13 Anos com registro de eventos El Niño (EN), Neutro (N) e La Niña (LN) entre 1980 e 2012 por estação do ano com base no ONI.

a) Verão	
EN	1983,1987,1988,1992,1995,1998,2003,2005, 2007,2010
N	1980,1981,1982,1986,1990,1993,1994,1997,2002,2004
LN	1984,1985,1989,1996,1999,2000,2001,2006,2008,2009,2011,2012
b) Outono	
EN	1983,1987, 1992,1998,2010
N	1980,1981,1982,1984,1986,1988,1990,1991,1993,1994,1995,1996, 1997,2001,2002,2003,2004,2005,2006,2007,2009,2012
LN	1985,1989,1999,2000,2008,2011
c) Inverno	
EN	1982,1987,1991,1997,2002,2004,2009
N	1980,1981,1983,1984,1986,1989,1990,1992,1993,1994,1995,1996, 2001,2003,2005,2006,2007,2008,2011,2012
LN	1985,1988,1998,1999,2000,2010
d) Primavera	
EN	1982,1986,1987,1991,1994,1997,2002,2004,2006,2009
N	1980,1981,1985,1989,1990,1992,1993,1996,2001,2003,2005,2008,2012
LN	1983,1984,1988,1995,1998,1999,2000,2007,2010,2011

Identificados os anos com eventos El Niño, La Niña e neutro, foi feita uma média do número de ciclones por banda de latitude encontrados no HS para o verão, outono, inverno e primavera desses anos e calculada a porcentagem da diferença em relação aos anos neutros, apresentada entre parênteses na Tabela 15.

TABELA 14 Número médio de ciclones no HS para as estações do ano em anos de El Niño, Neutro e La Niña para o período de 1980 a 2012.

CICLONES - HS			
Estações	EN	N	LN
V	264	249	312
O	145	653	172
I	214	610	178
P	284	368	254

TABELA 15 Número médio de ciclones no HS por banda de latitude para as estações de Verão (a), Outono (b), Inverno (c) e Primavera (d) em anos de El Niño, Neutro e La Niña para o período de 1980 a 2012. Entre parênteses estão apresentadas as porcentagens de diferença em relação aos anos neutros.

Hemisfério Sul			
a) Verão			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0,2 (0)	0,2	0
80°-70°	8,9 (3,5)	8,6	8,7 (1,1)
70°-60°	45,5 (3,2)	44,1	49 (11,1)
60°-50°	54,7 (15,9)	47,2	48,1 (1,9)
50°-40°	25,7 (-5,2)	27,1	23,8 (-12,2)
40°-30°	22,5 (10,8)	20,3	23,5 (15,8)
30°-20°	20,3 (8,0)	18,8	21,8 (16)
b) Outono			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0,2 (0)	0,2	0,5 (150)
80°-70°	8,4 (-29,4)	11,9	8,5 (-28,6)
70°-60°	68 (3,8)	65,5	61 (-6,9)
60°-50°	41,8 (-4,1)	43,6	40,7 (-6,7)
50°-40°	34,8 (14,5)	30,4	30,5 (0,3)
40°-30°	30 (-6,8)	32,2	35,5 (10,2)
30°-20°	14,6 (-26,3)	19,8	20 (1,0)
c) Inverno			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0,3 (-57,1)	0,7	1,3 (85,7)
80°-70°	13 (7,4)	12,1	10,3 (-14,9)
70°-60°	57,6 (-0,2)	57,7	64,3 (11,4)
60°-50°	46,7 (3,3)	45,2	39,2 (-13,3)
50°-40°	40,9 (-3,5)	42,4	37,7 (-11,1)
40°-30°	36 (-1,6)	36,6	37,7 (3,0)
30°-20°	17,6 (1,7)	17,3	16,7 (-3,5)
d) Primavera			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0,5 (-37,5)	0,8	0,4 (-50,0)
80°-70°	13,6 (17,2)	11,6	13,1 (12,9)
70°-60°	53,5 (-14,0)	62,2	58,1 (-6,6)
60°-50°	39,2 (9,2)	35,9	40,6 (13,1)
50°-40°	32,9 (11,5)	29,5	29 (-1,7)
40°-30°	32,4 (0,6)	32,2	34,9 (8,4)
30°-20°	20,8 (-1,9)	21,2	17,1 (-19,3)

Na Tabela 14 observa-se que o número médio de ciclones é maior no verão (312 ciclones) em anos de LN, enquanto nas estações de inverno (214 ciclones) e primavera (284 ciclones) essa quantidade de sistemas no período de eventos EN é superior ao de LN, porém não mais significativos que em anos neutros, os quais foram detectados no inverno e primavera 610 e 368 sistemas, respectivamente.

Por faixas de latitude, na Tabela 15, os valores em vermelho correspondem ao aumento no número de ciclones e em azul denotam uma diminuição na quantidade desses sistemas. Assim, nota-se que em anos de EN há um aumento na ciclogênese em latitudes mais altas (50°S-80°S) no verão (Tabela 15a) e em latitudes médias (30°S-60°S) na primavera (Tabela 15d). Esse aumento também é visível em anos de LN para latitudes mais altas no verão, porém tal comportamento é contrário no outono (Tabela 15b), o qual apresenta diminuição no número de ciclones nessas latitudes e aumento nas latitudes mais baixas (20°S-50°S).

4.2.1 Análise por oceano

A mesma análise feita para todo o HS foi realizada para os três principais oceanos austrais (OAS, OPS, OI), a fim de observar o comportamento dos sistemas de baixa pressão em anos com eventos ENOS e identificar qual dos oceanos possui maior influência destes.

TABELA 16 Número médio de ciclones no OAS por banda de latitude para as estações de Verão (a), Outono (b), Inverno (c) e Primavera (d) em anos de El Niño, Neutro e La Niña para o período de 1980 a 2012. Entre parênteses estão apresentadas as porcentagens de diferença em relação aos anos neutros.

Oceano Atlântico Sul			
a) Verão			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0	0,1	0
80°-70°	1,9 (-17,4)	2,3	2 (-13,0)
70°-60°	11,7 (7,3)	10,9	13,4 (22,9)
60°-50°	16,3 (25,4)	13	12,8 (-1,5)
50°-40°	8,7 (11,5)	7,8	8,8 (12,8)
40°-30°	6,7 (15,5)	5,8	8,2 (41,4)
30°-20°	3,5 (59,1)	2,2	2,6 (18,2)
b) Outono			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0,2 (0)	0	0,2 (0)
80°-70°	2,4 (-25,0)	3,2	2,8 (-12,5)
70°-60°	14 (-0,7)	14,1	13 (-7,8)
60°-50°	11,6 (-14,1)	13,5	12,8 (-5,2)
50°-40°	10 (9,9)	9,1	11,7 (28,6)
40°-30°	8 (-13,0)	9,2	9,3 (1,1)
30°-20°	4,2 (10,5)	3,8	4,2 (10,5)
c) Inverno			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0	0,1	0
80°-70°	4,3 (13,2)	3,8	2,7 (-28,9)
70°-60°	15,6 (20,9)	12,9	16,8 (30,2)
60°-50°	14,4 (-2,7)	14,8	11,3 (-23,6)
50°-40°	11,4 (0,9)	11,5	10,2 (-11,3)
40°-30°	9,3 (-12,3)	10,6	10,7 (0,9)
30°-20°	4,7 (23,7)	3,8	4,7 (23,7)
d) Primavera			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0,1 (-66,7)	0,3	0,1 (-66,7)
80°-70°	3,6 (-25,0)	4,8	4,6 (-4,2)
70°-60°	13,1 (-13,2)	15,1	15,3 (1,3)
60°-50°	9,7 (3,2)	9,4	8,8 (-6,4)
50°-40°	9,3 (25,7)	7,4	9,2 (24,3)
40°-30°	9,8 (8,9)	9	9,3 (3,3)
30°-20°	4,6 (-4,2)	4,8	4,4 (-8,3)

O OAS (Tabela 16), em anos de EN, apresenta tendência positiva de ciclogênese em latitudes menores que 70°S no verão (Tabela 16a). Tal tendência é mais pronunciada na faixa entre 20°S e 30°S . A região compreendida em latitudes mais altas apresenta tendência negativa no outono (Tabela 16b) e na primavera (Tabela 16d). Já em anos LN, nas baixas e médias latitudes (20°S - 50°S) há tendência de aumento do número de ciclones durante todo o ano e diminuição no outono em latitudes mais altas.

TABELA 17 Número médio de ciclones no OPS por banda de latitude para as estações de Verão (a), Outono (b), Inverno (c) e Primavera (d) em anos de El Niño, Neutro e La Niña para o período de 1980 a 2012. Entre parênteses estão apresentadas as porcentagens de diferença em relação aos anos neutros.

Oceano Pacífico Sul			
a) Verão			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0,2 (100)	0,1	0
80°-70°	7 (11,1)	6,3	6,7 (6,3)
70°-60°	21,6 (2,9)	21	22,3 (6,2)
60°-50°	17,6 (5,4)	16,7	15,6 (-6,6)
50°-40°	9,3 (-9,7)	10,3	7,5 (-27,2)
40°-30°	9,7 (4,3)	9,3	8,7 (6,5)
30°-20°	9,4 (11,9)	8,4	12,1 (44,0)
b) Outono			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0	0,2	0,3 (50,0)
80°-70°	6 (-31,0)	8,7	5,7 (-34,5)
70°-60°	29,2 (6,2)	27,5	25,5 (-7,3)
60°-50°	13,6 (0,7)	13,5	12,3 (-8,9)
50°-40°	14,8 (23,3)	12	10,5 (-12,5)
40°-30°	12,6 (-8,0)	13,7	16,5 (20,4)
30°-20°	5,6 (-51,7)	11,6	10,8 (-6,9)
c) Inverno			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0,3 (-50,0)	0,6	1,3 (116,7)
80°-70°	8,7 (4,8)	8,3	7,7 (-7,2)
70°-60°	22,6 (-15,0)	26,6	31,2 (17,3)
60°-50°	13,9 (21,9)	11,4	11,3 (-0,9)
50°-40°	17,7 (0,6)	17,6	15 (-14,8)
40°-30°	19,9 (11,2)	17,9	18,5 (3,4)
30°-20°	10,7 (-3,6)	11,1	10,3 (-7,2)
d) Primavera			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0,4 (-20,0)	0,5	0,3 (-40,0)
80°-70°	10 (47,1)	6,8	8,6 (26,5)
70°-60°	24,4 (-18,4)	29,9	27,3 (-8,7)
60°-50°	12,4 (8,8)	11,4	13,8 (21,1)
50°-40°	15,4 (24,2)	12,4	10,1 (-18,5)
40°-30°	14,6 (0,7)	14,5	15,9 (9,7)
30°-20°	9,7 (-8,5)	10,6	7,8 (-26,4)

A Tabela 17 mostra que em anos de EN, o número de ciclones no verão (Tabela 17a) aumenta ao longo de todo o OPS, exceto na banda de latitude compreendida entre 40°S e 50°S. Nas outras estações do ano (Tabelas 17b, 17c e 17d), esse aumento em relação aos anos neutros é observado nas latitudes médias. Já quando o evento LN atua sobre a região, há uma tendência predominantemente negativa no outono (Tabela 17b) entre as latitudes de 40°S e 80°S e nas proximidades da região equatorial. No inverno, primavera e verão, as tendências mostram-se alternadas entre as bandas de latitude.

TABELA 18 Número médio de ciclones no OI por banda de latitude para as estações de Verão (a), Outono (b), Inverno (c) e Primavera (d) em anos de El Niño, Neutro e La Niña para o período de 1980 a 2012. Entre parênteses estão apresentadas as porcentagens de diferença em relação aos anos neutros.

Oceano Índico			
a) Verão			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0	0	0
80°-70°	0	0	0
70°-60°	12,2 (0)	12,2	13,3 (9,0)
60°-50°	20,8 (18,9)	17,5	19,7 (12,6)
50°-40°	7,7 (-14,4)	9	7,4 (-17,8)
40°-30°	6,1 (17,3)	5,2	6,7 (28,8)
30°-20°	7,4 (-9,8)	8,2	7,2 (-12,2)
b) Outono			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0	0	0
80°-70°	0	0	0
70°-60°	24,8 (3,8)	23,9	22,5 (-5,9)
60°-50°	16,6 (0)	16,6	15,5 (-6,6)
50°-40°	10 (7,5)	9,3	8,3 (-10,8)
40°-30°	9,4 (1,1)	9,3	9,7 (4,3)
30°-20°	4,8 (9,1)	4,4	5 (13,6)
c) Inverno			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0	0	0
80°-70°	0	0	0
70°-60°	19,4 (6,6)	18,2	16,3 (-10,4)
60°-50°	18,4 (-3,2)	19	16,5 (-13,2)
50°-40°	11,7 (-12,0)	13,3	12,5 (-6,0)
40°-30°	6,9 (-15,9)	8,2	8,5 (3,7)
30°-20°	2,1 (-12,5)	2,4	1,7 (-29,2)
d) Primavera			
Latitude (S)	El Niño	Neutro	La Niña
90°-80°	0	0	0
80°-70°	0	0	0
70°-60°	16 (-7,0)	17,2	15,4 (-10,5)
60°-50°	17,1 (12,5)	15,2	18 (18,4)
50°-40°	8,2 (-15,5)	9,7	9,7 (0)
40°-30°	8 (-9,1)	8,8	9,7 (10,2)
30°-20°	6,5 (14,0)	5,7	4,9 (-14,0)

Por fim, o OI (Tabela 18) não apresenta tendência durante o ano para nenhuma das fases do ENSO para a região compreendida à sul de 70°S. Nas latitudes médias e baixas, as tendências à ocorrência de sistemas ciclônicos quando há EN são positivas no outono (Tabela 18b) e negativas no inverno (Tabela 18c). Já, a tendência de ciclogênese em anos de LN é predominantemente negativa, sendo a faixa entre 40°S e 70°S a mais evidente no outono e no inverno.

4.2.2 Densidade da Trajetória dos ciclones

Para análise do número de ciclones por área relacionada ao ENOS, foram feitas figuras com a densidade da trajetória dos ciclones (DTC) associada às diferentes fases do ENOS para o verão, outono, inverno e primavera. A significância estatística dos resultados foi verificada através do teste t.

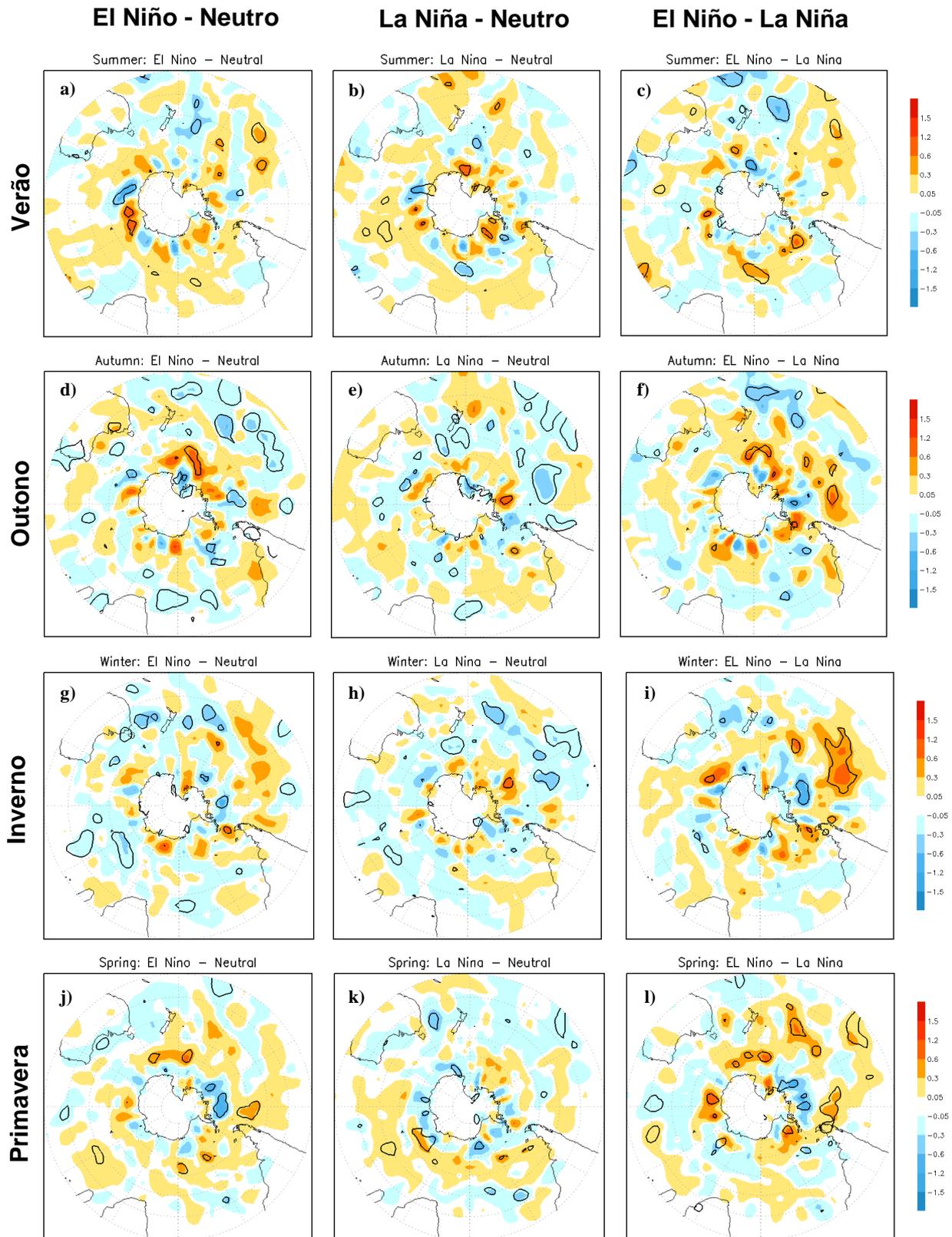


FIGURA 13 Densidade da Trajetória de Ciclones (DTC) associados com diferentes fases do ENSO (1980-2012) nas quatro estações do ano. Primeira coluna: média da DTC em anos de El Niño menos a média da DTC em anos neutros (EN – neutro); Segunda coluna: média da DTC em anos de La Niña menos a média da DTC em anos neutros (LN – neutro); Terceira coluna: média da DTC em anos de El Niño menos a média da DTC em anos de La Niña (EN – LN). As unidades de DTC estão em número de sistemas por 10^3 (graus de latitude)². As áreas de significância de 90% são mostradas pelos contornos pretos.

DTC corresponde a densidade da trajetória dos ciclones, calculada a partir da razão entre o número de sistemas pela área na qual eles foram detectados. Esse cálculo foi feito para todas as estações do ano, como pode ser visto na Figura 13. Nota-se que há uma alta variabilidade na trajetória de ciclones em eventos ENOS. Os eventos EN comparados aos anos neutros mostram densidade positiva no Pacífico leste no verão (Figura 13a), inverno (Figura 13g) e primavera (Figura 13j), alta significância no sul do Pacífico central e também positivo na costa leste da América do Sul no outono (Figura 13d). Em relação a LN comparado a anos neutros, no verão (Figura 13b), outono (Figura 13e) e primavera (Figura 13k) nota-se a presença de uma região de valores positivos em latitudes médias ao redor do globo todo, principalmente nos OPS e OI. No inverno (Figura 13h), nessas latitudes em questão o comportamento é inverso. E quando feita a diferença entre os anos com eventos EN e LN, observa-se valores positivos com grande significância em latitudes médias no OPS no outono (Figura 13f), inverno (Figura 13i) e primavera (Figura 13l). No OAS, essa diferença mostra-se alternada entre valores positivos e negativos durante todo o ano, sendo no setor oeste do oceano, próximo a costa do Brasil e Argentina, mais positiva na estação do outono. No OI, também foi observado essa combinação, com predomínio de valores positivos no outono e primavera.

Os resultados diferem dos encontrados por Pezza e Ambrizzi (2003), os quais identificaram maior quantidade de ciclones no Pacífico oeste subtropical, sul da Argentina e oceano Índico em invernos de El Niño. Em anos de La Niña, os ciclones foram mais pronunciados no Atlântico subtropical e no sudeste da Austrália.

5. CONCLUSÃO

A climatologia de ciclones para Hemisfério Sul mostrou que há uma tendência positiva na ocorrência de ciclones totais e intensos nessa região, contradizendo os resultados em relação aos sistemas totais encontrados por Pezza e Ambrizzi (2003) e Gouveia et al. (2011), nos quais verificou-se a existência de uma tendência negativa para o total de sistemas e positiva para sistemas intensos. Essa divergência pode decorrer de um aumento mais significativo no HS da frequência dos sistemas de baixa pressão nas últimas três décadas.

Ainda analisando todo o HS, nota-se que há um aumento dos ciclones no decorrer desses anos de estudo em latitudes ao norte de 60°S. Simmonds e Keay (2000a,b) documentaram a variabilidade dos ciclones extratropicais no Hemisfério Sul ao longo de quatro décadas (1958-1997) e mostraram uma redução no número de ciclones ao sul de 40°S (com maior redução próximo a 60°S) e aumento ao norte desta latitude.

Os três maiores oceanos do Planeta (OPS, OAS, OI) apresentaram, no geral, uma tendência de aumento no número de sistemas detectados no decorrer dos anos a partir de 1980, sendo do Atlântico a contribuição mais pronunciada em relação à todos os sistemas e do Índico a maior influência na tendência de aumento no número de ciclones intensos.

Em relação as regiões mais ciclogênicas do OAS, RG1 possui mais sistemas na primavera, enquanto RG2 e RG3 a maior ciclogênese se dá no inverno. Há diferenças entre os resultados para RG1 e RG3, os quais Reboita (2008) encontrou o verão como sendo a estação de maior ciclogênese nessas duas regiões. Tal divergência pode ser resultado da inclusão de sistemas mais fracos pela metodologia utilizada por Reboita (2008).

Quanto a tendência na ocorrência de ciclones em anos com eventos EN, LN e neutros no HS, têm-se que o verão apresenta maior quantidade de sistemas quando ocorre LN, enquanto nas outras três estações do ano a maior ocorrência se dá em anos neutros, sendo maior a influencia do EN em comparação com a LN no inverno e primavera. Comparando os oceanos, nota-se que no verão as tendências são positivas para latitudes superiores a 60°S em todos eles, tanto em anos de eventos EN quanto em eventos LN comparados à anos neutros. No outono, o número de

ciclones tendem a aumentar em latitudes médias nos oceanos Pacífico e Índico e a diminuir no oceano Atlântico em altas latitudes, quando analisado os eventos EN. Nos anos em que a LN atuou, a tendência foi negativa à ciclogênese em latitudes médias nos três oceanos. No inverno, as tendências estão intercaladas entre as faixas de latitude para ambos os eventos em todo o HS, sendo mais abrangente a região de aumento dos sistemas relacionados à EN entre 60°S e 30°S no OPS e a faixa em meio a 40°S e 60°S de tendência a decréscimo de ciclones tanto em anos de EN quanto de LN. E na primavera, há um crescimento na quantidade de sistemas na faixa 30°S-60°S nos oceanos Atlântico e Pacífico. Apesar do OI não apresentar tal tendência, o HS como um todo mostra um aumento de ciclones nessa faixa, uma vez que o OPS é o maior dos três, influenciando no total.

Por fim, a análise da DTC mostra uma banda em latitudes médias de valores positivos e significativos em todo o OPS. Sobre o OAS, ele apresenta-se alternado entre positivos e negativos, sendo positivo sobre a região da costa leste da América do Sul no outono. Esses resultados evidenciam a maior influência do fenômeno EN nas localidades onde os valores dessa diferença de DTC foram positivos (OPS e costa leste da AS) e maior domínio do fenômeno LN sobre a quantidade de ciclones detectados onde os valores apresentaram-se negativos (OAS).

6. REFERÊNCIAS

BEU, C. M. L.; AMBRIZZI, T. Variabilidade Interanual e Intersazonal da Frequência de Ciclones no Hemisfério Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 1, p. 44-55, 2006.

BITENCOURT, D. P.; FUENTES, M. V.; CARDOSO, C. S. Climatologia de Ciclones Explosivos para área ciclogênica da América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, n. 1, p. 43-56, 2013.

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. Disponível em: <(http://enos.cptec.inpe.br/saiba/Oque_el-nino.shtml)>. Acesso em: 03 de Novembro de 2013.

FYFE, J. C. Extratropical Southern Hemisphere Cyclones: Harbingers of Climate Change?. *Journal of Climate*, Letters, v. 16, p. 2802-2805, 2003.

GAN, M. A.; RAO, V. B. Surface Cyclogenesis over South America. *Mon. Wea. Rev.*, v. 119, p. 1293- 1302, 1991.

GAN, M. A. 1992: Ciclogêneses e Ciclones sobre a América do Sul. Tese de Doutorado em Meteorologia, INPE.

GOUVEIA, C. D.; CAMPOS, B.; REBOITA, M. S. Climatologia de Ciclones Extratropicais no Hemisfério Sul entre 1950 e 2010. In: IV Simpósio Internacional de Climatologia, 16 a 19 de outubro de 2011, João Pessoa, Paraíba.

GOUVEIA, C. D. Estudo Climatológico dos Ciclones no Hemisfério Sul, Projeto de Iniciação Científica PIBIC-FAPEMIG, 2011/2012.

GOUVEIA, C. D.; REBOITA, M. S. Distribuição espacial das ciclogêneses Extratropicais no Hemisfério Sul entre 1980 e 2010. In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 23 a 28 de setembro de 2012, Gramado, Rio Grande do Sul.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation Anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño and La Niña Events. *Journal of Climate*, v. 11, p. 35-58, 2000.

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. *Journal of Climate*, v. 13, p. 2863-2880, 1998.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 1996: Climate Change 1996: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change. Cambridge Univ. Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific basis IPCC WG. Cambridge Univ. Press, 881pp.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge Univ. Press, 989pp.

KALNAY, E.; et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 77, p. 437-471, 1996.

MENDES, D., 2006: Regimes de circulação no Atlântico Sul e sua relação com a localização e intensidade de sistemas activos e com o balanço de vapor na região. Tese de Doutorado em Física, Universidade de Lisboa, 115 pg.

MURRAY, R.J.;SIMMONDS, I. A numerical scheme for tracking cyclone centers from digital data Part I: development and operation of the scheme. *Australian Meteorological Magazine*, v. 39, p. 155-166, 1991a.

MURRAY, R.J.;SIMMONDS, I. A numerical scheme for tracking cyclone centers from digital data Part II: application to January and July general circulation model simulations. *Australian Meteorological Magazine*, v. 39, p. 167-180, 1991b.

National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA. Climate Prediction Center. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: Setembro de 2013.

PALMEIRA, R. M. J. 2003: Climatologia Extratropical na Região da América do Sul. Monografia em Meteorologia, UFRJ, 39p.

PALMEIRA, R. M. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A. Climatologia de Ciclogêneses Extratropicais na região da América do Sul. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 82p., 2002.

PETTERSEN, S. *Weather Analysis and Forecasting*. New York: McGraw-Hill, v. 1, 1956, 428 p.

PEZZA, A.B.; AMBRIZZI, T. Variability of Southern Hemisphere Cyclone and Anticyclone Behavior: Further Analysis. *Journal of Climate*, v. 16, p. 1075-1083, 2003.

PEZZA, A. B.; DURRANT, T.; SIMMONDS, I.; SMITH, I. Southern Hemisphere Synoptic Behavior in Extreme Phases of SAM, ENSO, Sea Ice Extent, and Southern Australia Rainfall. *Journal of Climate*, v. 21, p. 5566-5584, 2008.

RAO, V. B.; DO CARMO, A. M. C.; FRANCHITO, S. H. Seasonal Variations in the Southern Hemisphere Storm Tracks and Associated Wave Propagation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 59, p. 1029-1040, 2002.

REBOITA, M. S., 2008: Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade. Tese de Doutorado em Meteorologia, IAG/USP, 294pp.

SIMMONS, I.; KEAY, K. Variability of Southern Hemisphere Extratropical Cyclone Behavior, 1958-97. *J. Climate*, v. 13, p. 550-561, 2000a.

SIMMONS, I.; KEAY, K. Mean Southern Hemisphere Extratropical Cyclone Behavior in the 40-Year NCEP-NCAR Reanalyses. *J. Climate*, v. 13, p. 873-885, 2000b.

SINCLAR, M. R. Reply, Notes and Correspondence, *Monthly Weather Review*. American Meteorological Society, v. 124, p. 2615-2618, 1996.

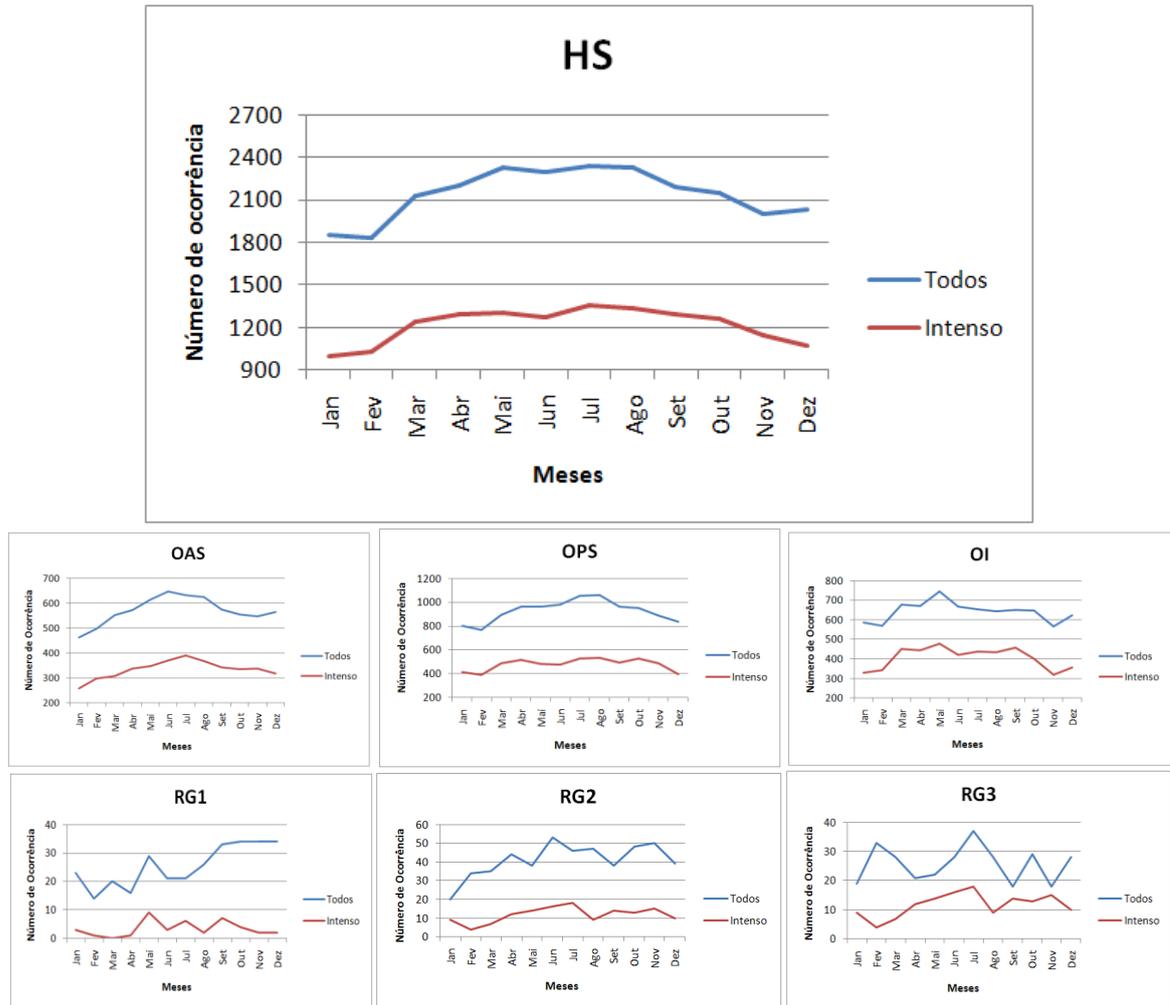
STRETEN, N. A.; TROUP, A. J. A synoptic climatology of satellite observed cloud vortices over the Southern Hemisphere. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, v. 99, p. 56-72, 1973.

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

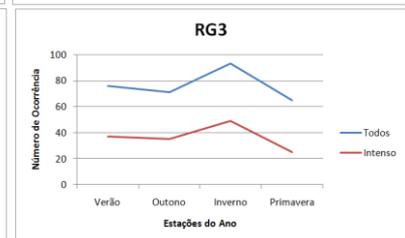
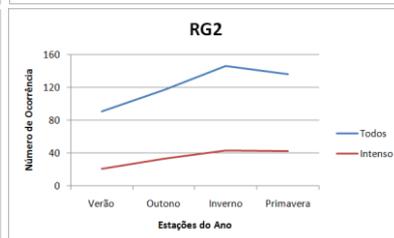
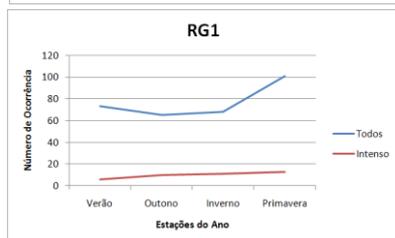
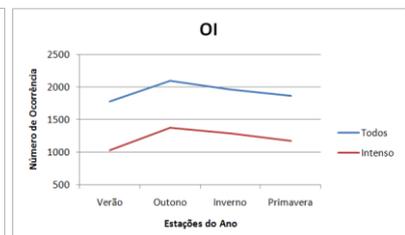
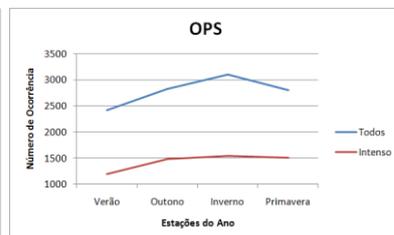
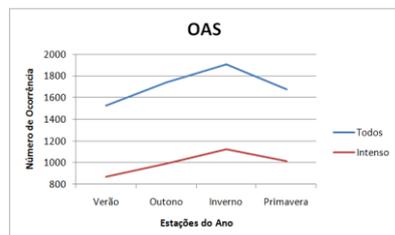
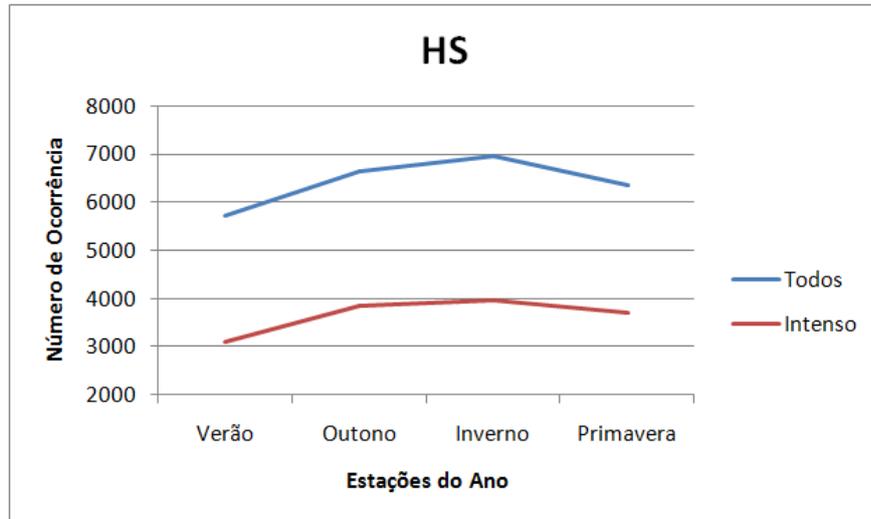
VAN LOON, H. A. Climatological Study of the Atmospheric Circulation in the Southern Hemisphere during the IGY, Part I: July 1957 - 31 March 1958. *J. Appl. Meteor.*, v. 4, p. 479-491, 1965.

WILKS, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2 ed. Volume Volume 91, International Geophysics Series, 2006.

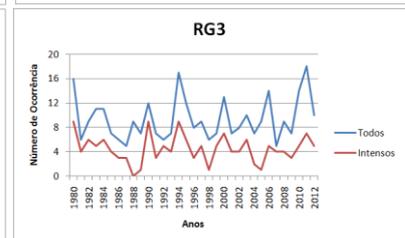
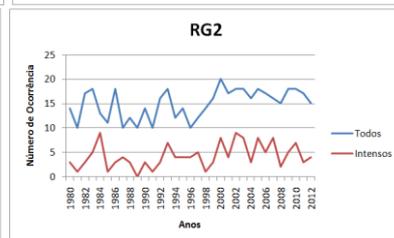
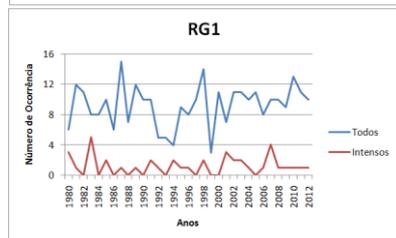
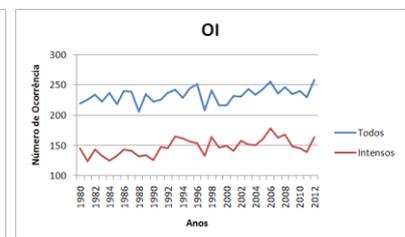
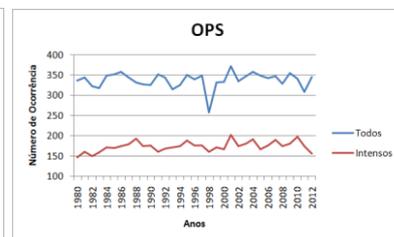
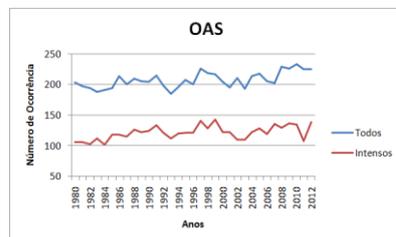
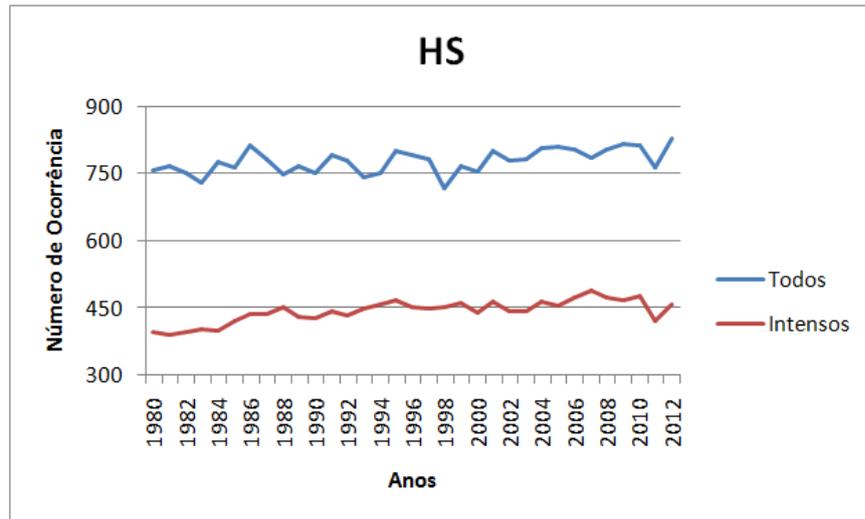
7. ANEXOS



ANEXO I Somatório do número de ocorrências mensais para o período de 1980 a 2012 referentes ao HS (a), aos três oceanos (b, c, d) e às regiões com maior ciclogênese no setor oeste do OAS (e, f, g). A linha azul corresponde a todos os sistemas detectados e a vermelha indica os sistemas intensos (pressão central inferior a 980hPa).



ANEXO II Somatório do número de ocorrências sazonais para o período de 1980 a 2012 referentes ao HS (a), aos três oceanos (b, c, d) e às regiões com maior ciclogênese no setor oeste do OAS (e, f, g). A linha azul corresponde a todos os sistemas detectados e a vermelha indica os sistemas intensos (pressão central inferior a 980hPa).



ANEXO III Somatório do número de ocorrências anuais para o período de 1980 a 2012 referentes ao HS (a), aos três oceanos (b, c, d) e às regiões com maior ciclo gênese no setor oeste do OAS (e, f, g). A linha azul corresponde a todos os sistemas detectados e a vermelha indica os sistemas intensos (pressão central inferior a 980hPa).