

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**IMPACTO DA VARIABILIDADE INTERANUAL NA ALTURA SIGNIFICATIVA DE
ONDAS NO ATLÂNTICO SUDOESTE**

STEPHANIE MARTINEZ CAJAS

**RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
Outubro, 2023**

IMPACTOS NA CLIMATOLOGIA DE ONDAS NA REGIÃO OCEÂNICA DO ATLÂNTICO SUDOESTE ASSOCIADOS A VARIABILIDADE INTERANUAL

STEPHANIE MARTINEZ CAJAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia do Instituto de Geociências do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências (área: Meteorologia).

Orientador: Luiz Paulo de Freitas Assad
Coorientador: Nilton Oliveira Moraes

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
Outubro, 2023

**IMPACTO DA VARIABILIDADE INTERANUAL NA ALTURA SIGNIFICATIVA DE
ONDAS NO ATLÂNTICO SUDOESTE**

STEPHANIE MARTINEZ CAJAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DO CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ), COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM CIÊNCIAS (ÁREA: METEOROLOGIA).

Examinada por:



Prof. Dr. Luiz Paulo de Freitas Assad (Orientador) - PPGM-IGEO-UFRJ



Dr. Nilton Oliveira Moraes (Coorientador) - LAMCE-COPPE-UFRJ



Prof. Dr. Luiz Cláudio Gomes Pimentel - PPGM-IGEO-UFRJ



Prof. Dr. Edilson Marton - PPGM-IGEO-UFRJ



Prof. Dr. Alessandro Filippo - FAOC - UERJ

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
Outubro, 2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo do meu caminhar.

Aos meus pais Luis Antonio Cajas Pérez (*Mi guatón*) e Rosemarie Martinez Cajas que foram meu porto seguro nestes anos, minha força e minha luz. Tenho certeza que o amor e apoio incondicional de vocês foram imprescindíveis para o fechamento deste trabalho.

À memória de Rosa Amélia Cajas Cuevas (*Mi abuelita*) por todo o amor e gratidão que dedicou ao longo da minha vida.

Aos meus orientadores, Luiz Paulo e Nilton Moraes, por terem me ensinado, pela amizade, por toda a paciência e, especialmente, por acreditarem em mim.

À minha psicóloga Michelle Timbó, por ter me ajudado com suas sábias palavras.

Aos meus amigos do PENSI.

Aos meus amigos da UFRJ, especialmente Liz Coelho e Raphael Alves.

À minha família que está no Chile pelo carinho e força.

Ao meu padrinho 'borboleta' José João Ferreira pelo amor nestes anos.

Dedico este trabalho a minha mãe, Rosemarie e ao meu pai, Luis Antonio (*Mi guatón*), pelo amor, carinho, apoio incondicional e principalmente por acreditarem na minha capacidade, me ajudando de todas as formas possíveis e impossíveis, a realizar mais este sonho.

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

IMPACTO DA VARIABILIDADE INTERANUAL NA ALTURA SIGNIFICATIVA DE ONDAS NO ATLÂNTICO SUDOESTE

Stephanie Martinez Cajas

2023

Orientadores: Luiz Paulo de Freitas Assad

Nilton Oliveira Moraes

Programa: Pós-Graduação em Meteorologia.

Neste trabalho serão investigados os padrões de variabilidade interanual associados ao fenômeno El Niño no clima de ondas na região oceânica do atlântico sudoeste a partir da análise de dados de pressão atmosférica ao nível médio do mar (Pa), velocidade do vento (direção e intensidade do vento), altura significativa de ondas (Hs) e a direção de ondas oriundas de reanálise climatológica global ERAS 5. Foram feitos cálculos das médias climatológicas das variáveis mencionadas e assim o cálculo de anomalias. Também foram analisadas cartas sinóticas para alguns anos, foi feita a análise de ondaleta para identificar os eventos mais energéticos no período analisado. Foi possível perceber a partir da análise ondaleta que os anos que exibiram destaque no presente estudo foram: 2004-2005 neutro Já que este período foi o de menor energia; 1997-1998 *El Niño*; 1988-1989 *La Niña* apresentam energia maiores.

Palavras-chave: *El Niño*, *La Niña*, Clima de Ondas, Atlântico Sudoeste.

Abstract of Dissertation presented to PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

IMPACT OF INTERANNUAL VARIABILITY ON SIGNIFICANT WAVE HEIGHT IN THE SOUTHWEST ATLANTIC.

Stephanie Martinez Cajas

2023

Advisors: Luiz Paulo de Freitas Assad

Nilton Oliveira Moraes

Department: Meteorology

In this work, the patterns of interannual variability associated with the El niño phenomenon in the wave climate in the southwest Atlantic oceanic region will be investigated based on the analysis of data on atmospheric pressure at mean sea level (Pa), wind speed (direction and intensity of the wind), significant wave height (Hs) and the direction of waves from the global climatological reanalysis ERA5. Calculations of the climatological averages of the mentioned variables were made and thus the calculation of anomalies. Synoptic charts for a few years were also analyzed, wavelet analysis was carried out to identify the most energetic events in the analyzed period. It was possible to see from the wavelet analysis that the years that stood out in the present study were: 2004-2005 neutral Since this period was the one with the lowest energy; 1997-1998 El Niño; 1988-1989 La Niña have higher energies.

Keywords: *El Niño*, *La Niña*, Southwest Atlantic, Wave weather.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

1

1.1 12

1.2 13

1.3 16

1.3.1 16

1.3.2 16

2. 17

2.1 17

2.1.1 20

2.1.2 22

2.2 22

2.3 27

2.4 30

2.5 36

2.6 42

3. 46

3.1 47

3.2 47

3.3 48

3.4 48

3.5 49

3.6 49

3.7 53

3.8 53

4. 54

4.1 55

4.2 57

4.3 61

4.4 65

4.5 69

4.6 74

4.7	74
4.8	75
4.9	80
4.10	80
4.11	81
4.12	86
4.13	86
4.14	87
4.15	92
4.16	92
4.17	93
4.18	98
4.19	98
4.20	99
4.21	104
4.22	104
5. DISCUSSÕES E	108
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

1. INTRODUÇÃO

Parte considerável da energia transferida da atmosfera para o oceano é transportada na forma de ondas, liberada rapidamente, influenciando diretamente a hidrodinâmica local, o transporte de sedimentos e a morfologia em regiões costeiras. Para a implantação de qualquer obra em regiões costeiras, se torna indispensável definir as principais características das ondas, como: altura significativa, período e direção de propagação por intervalos de tempo suficientemente longos para a diferenciação de sua variabilidade espacial e temporal (PAES-LEME *et al.*, 2008). Além disso, pode-se destacar a importância do conhecimento do clima de ondas e sua variabilidade para inúmeras operações associadas à navegação marítima e mais recentemente em projetos que visam a geração de energia renovável.

Considerável troca energética como troca de calor, massa e quantidade de movimento ocorre na interface oceano-atmosfera, determinando uma forte conexão entre esses dois componentes do sistema climático. Desse modo, mudanças na

atmosfera, como alterações nos padrões de ventos irão causar modificações no clima de ondas (OLIVEIRA, 2017).

Diversos estudos oceanográficos e meteorológicos demonstram a existência de processos de variabilidade climática em escala global e sua relação com processos de interação oceano-atmosfera. Um dos eventos mais importantes, que se desenvolvem em escala interanual e conhecido na comunidade científica é o El Niño – Oscilação Sul (ENSO) (MATURANA *et al.*, 2004).

O ENSO consiste em uma oscilação constituída por uma fase quente (*El Niño*) e uma fase fria (*La Niña*), que se manifesta principalmente através de um aquecimento ou resfriamento anormal da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) (MATURANA *et al.*, 2004). O aquecimento das águas superficiais e subsuperficiais do Pacífico Equatorial altera a dinâmica da célula de Walker, que por sua vez provoca alterações na circulação atmosférica em escala global (BJERKNES, 1969).

De acordo com KOUSKY *et al.*, (1984) o *El Niño* pode interferir no clima de ondas geradas pelo vento em diferentes escalas espaciais e temporais. O ENSO potencialmente altera a intensidade dos efeitos de tempestade (ventos), e também podem modular a sua frequência de ocorrência. Dessa forma, pode potencialmente impactar diretamente no clima de ondas de gravidade superficial geradas pelo vento.

1.1 Motivação

A costa sul e sudeste do Brasil apresenta grande importância nos setores industriais de Petróleo e Gás, transporte marítimo e no setor turístico. Diversos setores econômicos podem se beneficiar com a presente pesquisa.

A indústria de Petróleo e Gás faz uso de informações da hidrodinâmica marinha (ondas e correntes marinhas) para entender potenciais impactos em estruturas flutuantes como plataformas, buscando otimizar a produção de petróleo.

Além da importância para a indústria de petróleo e gás, pode-se mencionar também os potenciais impactos em estruturas costeiras, pois quando ocorrem eventos extremos como ressacas ao longo da costa brasileira temos diversos impactos associados basicamente a problemas de erosão e inundação costeira.

Outro aspecto interessante a ser considerado no estudo de ondas de gravidade superficial geradas pelo vento está associado à geração de energia renovável. Sabe-

se que ondas atualmente constituem uma das fontes de energia renovável oceânica muito usada no mundo. Logo, entender o comportamento climatológico e associado a variabilidade interanual ao longo da costa brasileira pode fornecer informação valiosa para estimativas de potencial energético de ondas e planejamento estratégico energético de uma determinada região (Shadman *et al.*, 2019)

O entendimento dos mecanismos de formação, interações e declínio das ondas superficiais de gravidade oceânicas vem sendo aperfeiçoados durante os últimos 80 anos (MARQUES DA CRUZ, 2004). Contudo, somente nos últimos 50 anos foi possível obter um melhor entendimento dos processos dinâmicos envolvidos em tais fenômenos. Desde a Segunda Guerra Mundial, os estudos sobre previsão de ondas começaram a ser feitos, objetivando sua implementação e utilização operacionais (WMO, 1998).

O uso dos modelos de ondas não se restringe apenas para previsão, podem também ajudar em estudos relacionados a processos sedimentares costeiros e a projetos em infraestruturas costeiras e oceânicas, associadas, exemplificando, as atividades relacionadas à exploração de petróleo (MARQUES DA CRUZ, 2004).

1.2 Justificativa

Diversos trabalhos já foram efetuados na região do Atlântico Sul com o objetivo de associar as alterações nas dinâmicas oceânicas e atmosféricas com os eventos de ENSO (CAMPOS *et al.*, 1999; COLBERG *et al.*, 2004; ASSAD, 2006; SOPPA *et al.*, 2011 e AZEREDO, 2017). Ressalta-se que esses trabalhos não abordam o impacto do ENSO sobre o clima de ondas de gravidade superficial geradas pelo vento, mas principalmente sobre a circulação oceânica gerada pelo vento na região.

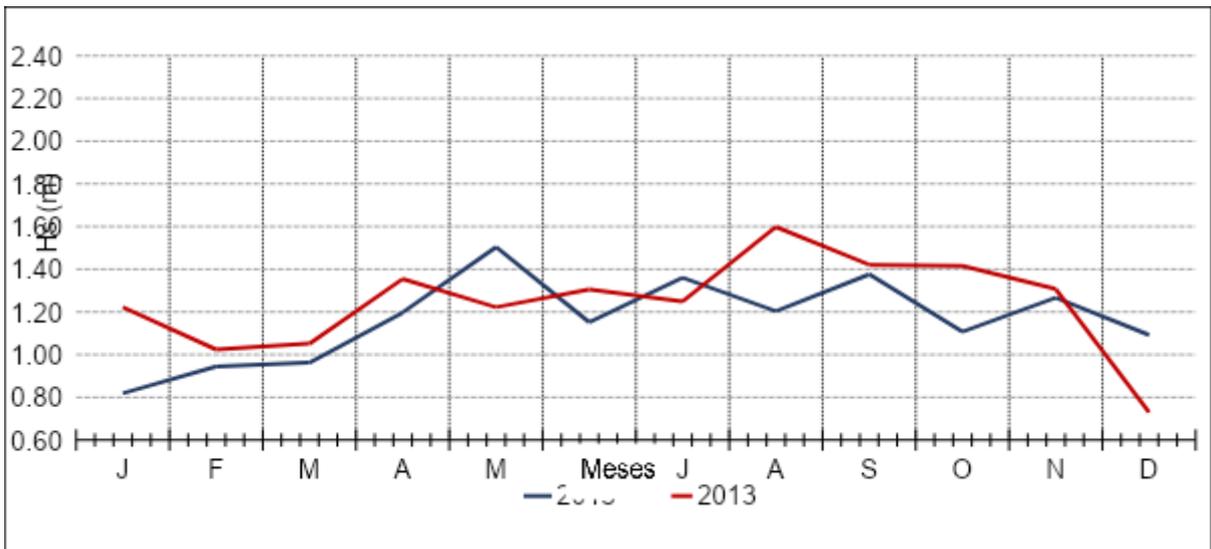
Existem estudos que foram realizados com o objetivo de caracterizar regionalmente o clima de ondas ao longo da costa brasileira, entre eles, (CANDELLA, 1997) estudou casos de ondas no Atlântico Sul através de modelagem numérica, ALVES (2006) apresentou um estudo sobre a influência de *swell* no clima de ondas regional em várias bacias oceânicas, usando o modelo WAVEWATCH III (WW3) e ALVES *et al.* (2009) apresentaram avaliações de simulações de onda feitas com o modelo WAVEWATCH III, para o oceano Atlântico Sul.

Entretanto, conforme mencionado, são poucos os estudos sobre a variabilidade climática de ondas no Atlântico Sul. Um estudo bastante detalhado sobre a caracterização do mar na Bacia de Campos foi desenvolvido no trabalho de PINHO (2003), e no trabalho de PARENTE *et al.*, (2014).

Outro aspecto importante a ser mencionado diz respeito a baixa densidade de dados observados de ondas na bacia do Atlântico Sul. Segundo CAJAS (2018), existem alguns trabalhos publicados no início da década passada que já evidenciaram a escassez de dados observados de ondas ao longo da costa do Brasil (PEREIRA *et al.*, 2000; ALVES & MELO, 2001; ARAUJO *et al.*, 2003). Logo, a utilização de resultados gerados a partir da aplicação de modelos numéricos de ondas ao longo da costa brasileira para diferentes estudos vem sendo frequente (ALVES 2006; ALVES *et al.*, 2008; ALVES *et al.*, 2009; LOURENÇO, 2012).

Na pesquisa de CAJAS (2018) foram geradas séries temporais de altura significativas de ondas e do período de pico, para alguns pontos próximos à costa brasileira. As séries temporais aqui expostas são referentes a um ponto junto à costa Sudeste do Brasil próximo a cabo frio (43° W e 23° S) e a um ponto próximo à costa Sul do Brasil junto a Florianópolis (50° W e 30° S) para os anos de 2015 e 2013. Na Figura 1 estão representadas as séries temporais das alturas significativas de ondas (Hs) para o ponto próximo à costa sudeste para os anos de 2015 e 2013. Analisando essas séries pode-se perceber que entre os meses de janeiro até meados de abril a Hs foram superiores em 2013 que em 2015, alcançando valores de Hs (~1,36 m) em abril de 2013. Observa-se que a partir do final de abril até julho os valores de altura significativa de ondas foram maiores para o ano de 2015 do que para o ano 2013, atingindo valores máximos de Hs (~1,50 m) em maio de 2015. Porém, no período de agosto a dezembro, constatou-se que alturas significativas de ondas foram maiores em 2013 do que em 2015, a Hs chegou em torno de 1,60 m em agosto de 2013.

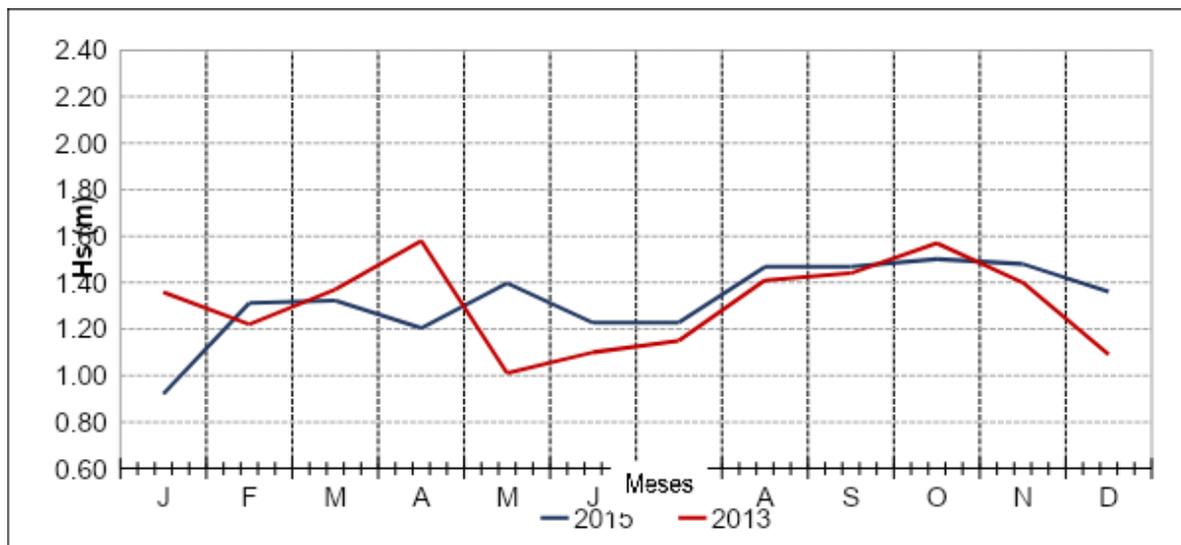
Figura 1 – Série temporal da altura significativa de ondas (em unidades de metros) para os anos de 2015 (em azul) e 2013 (em vermelho) para o ponto 3 junto à costa do Brasil (43° W e 23° S).



Fonte: Extraído de CAJAS (2018).

Na Figura 2 estão retratadas as séries temporais das alturas significativas de ondas (H_s) para o ponto próximo à costa sul do Brasil para os anos de 2015 e 2013. Avaliando essas séries pode-se constatar que de janeiro até abril a H_s foram superiores em 2013 que em 2015, alcançando valores de H_s (~1,60 m) em abril de 2013. Contudo, nos meses de maio a setembro a H_s foram maiores em 2015 do que em 2013, atingido a H_s (~1,50 m) em agosto e setembro de 2015. Para os meses de novembro e dezembro a altura significativa de ondas foram superiores em 2015 do que em 2013.

Figura 2 – Série temporal da altura significativa de ondas (em unidades de metros) para os anos de 2015 (em azul) e 2013 (em vermelho) para o ponto 4 próximo à costa do Brasil (50° W e 30° S).



Fonte: Extraído de CAJAS (2018).

1.3 Objetivos

A seguir serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos do estudo realizado.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal desta pesquisa consiste em identificar e quantificar os possíveis impactos causados pelo ENSO sobre o clima de ondas (altura significativa, período de pico e direção de propagação) na região oceânica do atlântico sudoeste.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar de forma integrada as variáveis pressão atmosférica ao nível médio do mar (Pa), velocidade do vento e altura significativa de ondas (Hs).
- Identificar em anos de *El Niño* e *La Niña* alterações (anomalias) nos campos das variáveis oceânicas e atmosféricas citadas no item anterior.
- A partir das análises das ondaletas identificar os eventos mais energéticos para o período em questão.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para atingir os objetivos desta pesquisa é preciso um prévio entendimento dos principais conceitos relacionados às ondas geradas pelo vento, El Niño-Oscilação Sul (ENSO), ENSO no Atlântico Sul, ciclones extratropicais, ciclogênese no Atlântico Sul: climatologia e variabilidade interanual e estudos climatológicos de ondas. A seguir serão apresentados e descritos alguns conceitos associados aos processos oceânicos e atmosféricos citados.

1.1 Ondas de Gravidade Superficial Geradas Pelo Vento

Na natureza, será dificilmente encontrada alguma massa de água aberta para a atmosfera que não tenha ondas em sua superfície. Essas ondas são uma manifestação de forças que atuam sobre o fluido tendendo a deformá-lo contra a ação da gravidade e da tensão da superfície, que juntos atuam para manter a superfície nivelada (DEAN & DALRYMPLE, 1984).

Nos oceanos existem diversos tipos de ondas que se propagam. Sejam ondas capilares até ondas com comprimentos de milhares de quilômetros. Existem ondas que se propagam na superfície e outras que se propagam internamente na coluna d'água. A classificação das mesmas se dá de acordo com seus mecanismos geradores (OPEN UNIVERSITY, 1999):

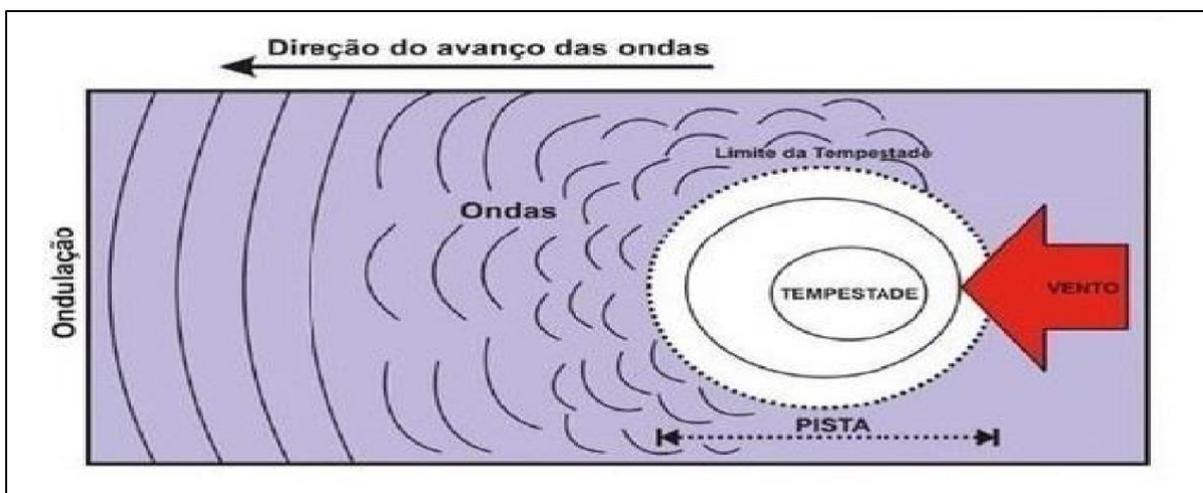
- Ondas capilares, ondas de gravidade superficial: Estas ondas são geradas primeiramente pela ação do vento sobre a superfície do mar e fluem sobre esta.
- Ondas internas: Podem acontecer quando há alterações verticais de densidade. Tais ondas fluem no interior da coluna d'água.
- Tsunamis: É formado a partir de abalos sísmicos no assoalho oceânico.
- Ondas planetárias: Apresentam grandes escalas temporal e espacial. Os mecanismos geradores podem ser mudanças no campo de ventos e alterações no campo de pressão.

Se dois fluidos (neste caso, atmosfera e oceano) com diferentes velocidades estão em contato, existirá transferência de energia entre eles. A atmosfera transfere energia para o oceano, a maior parte dessa energia transferida resultará na formação

de ondas e uma menor parte resultará na formação de correntes marinhas (OPEN UNIVERSITY, 2001).

Na zona de geração oceânica, as ondas crescem (aumentam a altura significativa) à medida que o vento aumenta sua velocidade, contudo, esse crescimento é limitado. Parte da energia do vento é perdida em forma de atrito (fricção), parcela é perdida em função da formação de correntes marinhas e outra porção é perdida pela formação dos chamados “carneiros”, pequenas quebras nas cristas das ondas, formando espumas esbranquiçadas na superfície do mar (POND & PICKARD, 1984). As ondas são produzidas pelo vento sobre a superfície do mar (Figura 3), promovendo ondulações que aumentam caso o vento continue fluindo à medida que o vento transfere quantidade de movimento para a superfície do mar (CASTELLO & KRUG, 2015).

Figura 3 – Desenho esquemático representando a atuação do vento sobre a superfície do oceano e a geração de ondas de gravidade superficial.

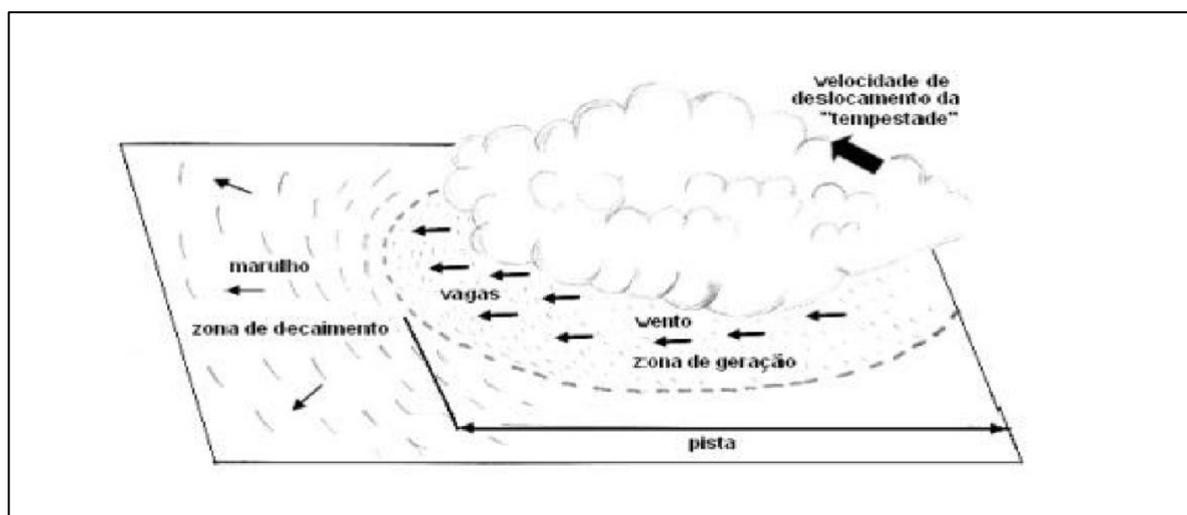


Fonte: Modificado de LIMA (2017).

As características das ondas tais como altura, período e energia são controladas pela intensidade e duração do vento que as forma e pelo tamanho da pista, área do oceano na qual o vento atua (Figura 4). Quanto maior o tempo e mais intenso for o vento, maiores serão as ondas geradas por ele. As ondas de superfície são divididas em dois tipos. As ondas designadas *Swell* ou *Marulho* são as ondas que já deixaram a zona de geração, e apresentam na maioria das vezes maiores alturas e períodos, sendo a forma mais regular. A onda do tipo *Sea* ou *Vaga* é a onda que

continua nos limites da tempestade/geração. Geralmente, apresentam alturas e períodos menores e sua forma é mais irregular. No oceano, na maioria das vezes, temos uma mistura desses dois tipos de onda e torna-se difícil diferenciar um tipo do outro. Mas, em determinadas ocasiões, em dias em que não há vento, notasse facilmente há presença apenas do *swell* (CASTELLO & KRUG, 2015).

Figura 4 – Desenho esquemático representando a dependência da geração de onda em relação à velocidade do vento e pista para a zona de geração, com a presença das vagas, e zona de decaimento, com presença dos marulhos.



Fonte: Modificado de PATERLINI (2009).

À medida que uma onda quebra, a energia transferida pelo vento para a superfície do mar é dissipada. Parte dessa energia é refletida de volta para o oceano, a outra porção é dissipada na forma de calor e na quebra de rochas e grãos de sedimentos em partículas menores. A maior parcela da energia é usada para modificar os perfis de praia. Quanto mais suave for o perfil de uma praia menos energia será refletida (CASTELLO & KRUG, 2015).

Outros processos físicos importantes que influenciam a direção de propagação e altura das ondas ao se aproximarem da costa (regiões mais rasas) são: a difração e a refração (OPEN UNIVERSITY, 2001).

À medida que as ondas passam de águas intermediárias para águas rasas, elas começam a sentir o efeito do fundo oceânico (DAVIS & FITZGERALD, 2004) e sofrem uma mudança, onde a velocidade e o comprimento de onda diminuem

gradualmente, a altura aumenta, e, o período permanece o mesmo, estas mudanças provocam refração da onda.

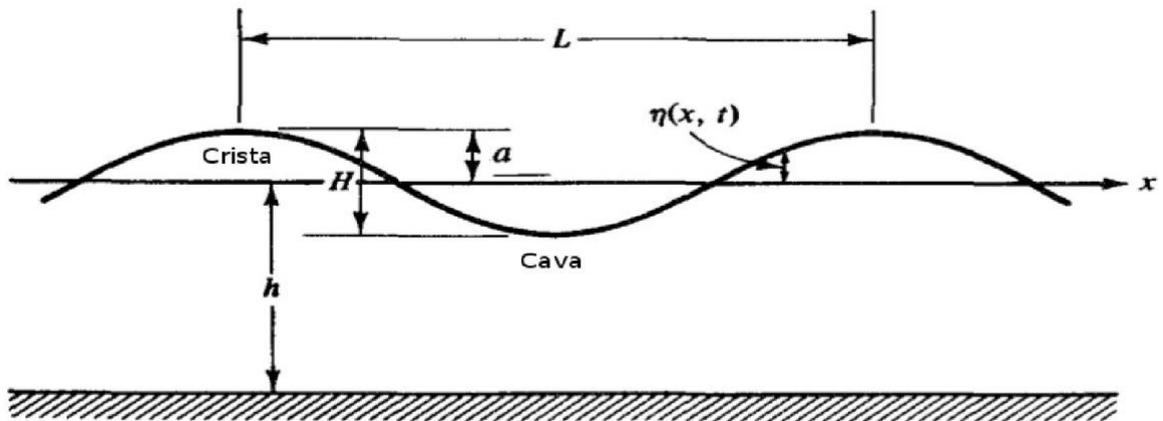
O processo de refração é o efeito da diminuição de velocidade da onda devido à interação com o fundo (DAVIS & FITZGERALD, 2004). Nesse processo as ondas alteram a direção de acordo com diminuição da profundidade, tendendo a tornar as cristas mais paralelas com a profundidade de contorno e a linha de costa (BIGG *et al.*, 2003).

O crescimento da onda ocorre devido à interação com o fundo, acontece para conservar a energia da onda e permanece até a onda se tornar instável e quebrar, quando ela dissipa sua energia (BIGG *et al.*, 2003).

1.1.1 Parâmetros Fundamentais de Ondas

Os parâmetros fundamentais no que se referem a descrição das ondas são: comprimento (L) e altura (H) da onda e a profundidade que se propaga (h). Todos os outros parâmetros, assim como velocidades orbitais induzidas pelas ondas e acelerações, podem ser teoricamente determinados a partir desses parâmetros fundamentais. Um esquema bidimensional (Figura 5) de uma onda com direção de propagação x . Comprimento da onda, L , é a distância horizontal entre duas cristas (ou cavas) consecutivas, analogamente, o período da onda, T , pode ser determinado como o tempo entre a passagem de duas cristas (ou cavas) consecutivas em um dado ponto. A partir desses parâmetros define-se, a celeridade da onda (ou velocidade de fase), C , determinada como $C = L/T$. Também é possível definir a altura, H , como a distância entre crista e cava, a amplitude, a , como $H/2$ e a elevação da superfície, η , como a distância entre a superfície da onda e o eixo x (NOGUEIRA, 2014).

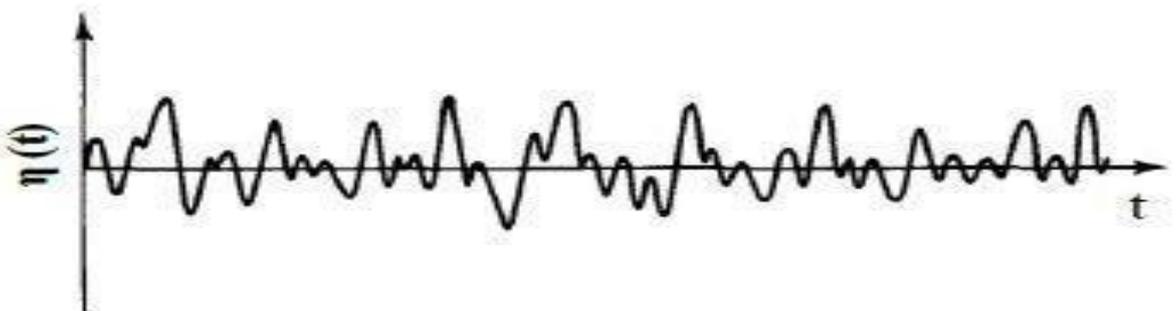
Figura 5 – Esquema bidimensional exibindo as principais características das ondas.



Fonte: Modificado de NOGUEIRA (2014).

A representação da onda em forma senoidal (Figura 5) representada acima consiste em uma simplificação da realidade. Se algum sensor para medir a elevação da superfície da água em relação ao nível médio de repouso, η , em função do tempo, for colocado em uma plataforma ou em um ponto qualquer do oceano, poderíamos obter o registro de ondas esquematizado na Figura 6. Como pode ser notado, as ondas mudam aleatoriamente em função do tempo (t) como um processo estocástico. Desse modo, a estimativa de seus parâmetros podem ser obtidos através da análise estocástica da superfície do mar, que inclui o domínio do tempo, da frequência e da probabilidade (NOGUEIRA, 2014).

Figura 6 – Representação do registro de Elevação do Mar (η) em função do tempo (t).



Fonte: Modificado de NOGUEIRA (2014).

Há diversas instituições no mundo que realizam e/ou divulgam previsões de ondas para a comunidade em geral. Na maioria das vezes, essas previsões são provenientes de modelos numéricos. Esses modelos podem ser definidos como ferramentas matemático-computacionais capazes de resolver sistemas de equações que expressam a física dos processos envolvidos nos fenômenos os quais se deseja prever (UFRJ, 2006).

Para o caso das ondas superficiais de gravidade oceânicas, esses parâmetros são a altura significativa, o período de pico e a velocidade do vento.

A altura significativa de ondas é uma definição estatística correspondente à média das maiores ondas, sendo estas um terço (1/3) do total de ondas consideradas.

O período equivalente à frequência com maior densidade espectral. É um parâmetro importante dado que é representativo das ondas mais energéticas, vale destacar que o T_p é de fundamental importância para o entendimento do clima de ondas de uma determinada região (RIBEIRO *et al.*, 2005).

Definido como o intervalo de tempo entre duas ondulações consecutivas, o período de onda (T) tem esse intervalo medido em segundos (PARISE, 2010). Ressalta-se que quando as ondas sentem a influência do fundo do oceano, sofrem uma mudança, onde a velocidade e o comprimento de onda diminuem gradualmente, a altura aumenta, porém, o período permanece constante (DAVIS & FITZGERALD, 2004).

1.2 El Niño – Oscilação Sul (ENSO)

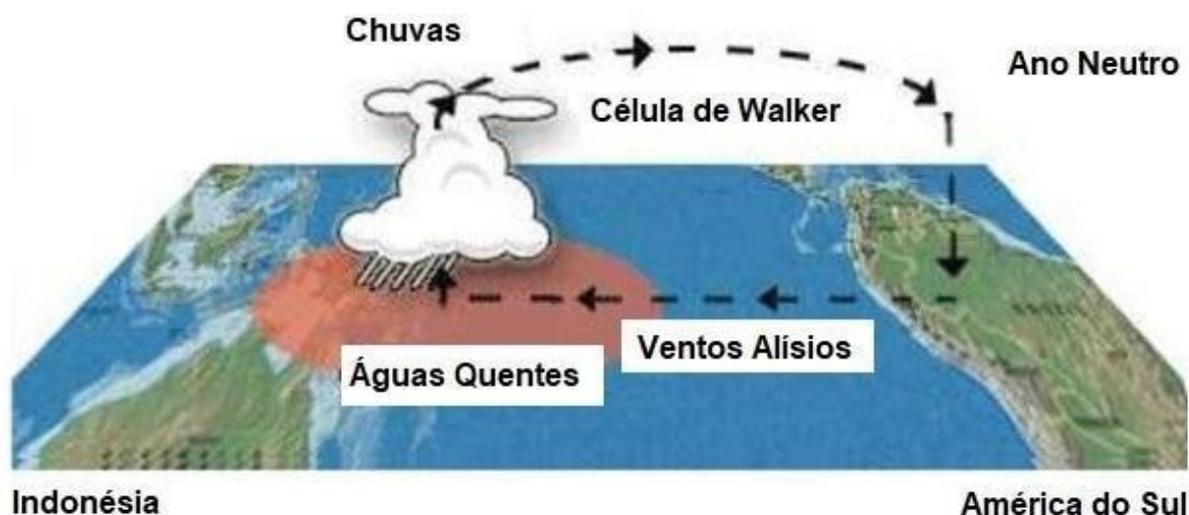
Fenômenos de ENSO incluem grandes trocas de calor entre oceano e atmosfera e influenciam as temperaturas médias globais, em outras palavras, apesar de ser gerado na região do Pacífico Equatorial o ENSO apresenta impacto no clima global (TRENBERTH *et al.*, 2007).

O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENSO) ou somente *El Niño*, apresenta duas fases: uma quente (*El Niño*) e outra fria (*La Niña*). É composto por uma componente oceânica (*El Niño/La Niña*) e outra atmosférica (Oscilação Sul) (CUNHA *et al.*, 2011). Em relação ao componente atmosférico, os trabalhos pioneiros Sir Gilbert Walker (WALKER, 1924), demonstram uma correlação inversa entre a pressão superficial dos Oceanos Pacífico e Índico, denominada Oscilação Sul (OS).

(BJERKNES, 1966) conectou a interação entre a OS e as alterações de TSM no oceano Pacífico Tropical ao fenômeno ENSO.

Na ausência de ENSO (Figura 7), o Pacífico Equatorial é definido por apresentar águas superficiais mais frias junto à costa oeste da América do Sul e águas mais quentes próximo à costa da Indonésia e a costa da Austrália. Visto que o atrito dos ventos alísios e a superfície do mar transportam as águas superficiais em direção ao continente asiático provocando o empilhamento dessa água próximo à costa oeste do oceano Pacífico (PHILANDER, 1990b). As águas superficiais mais quentes associada a alta incidência solar colaboram para a evaporação e resultam em uma maior precipitação na região (BJERKNES, 1969).

Figura 7 – Representação esquemática de condições de um ano neutro.



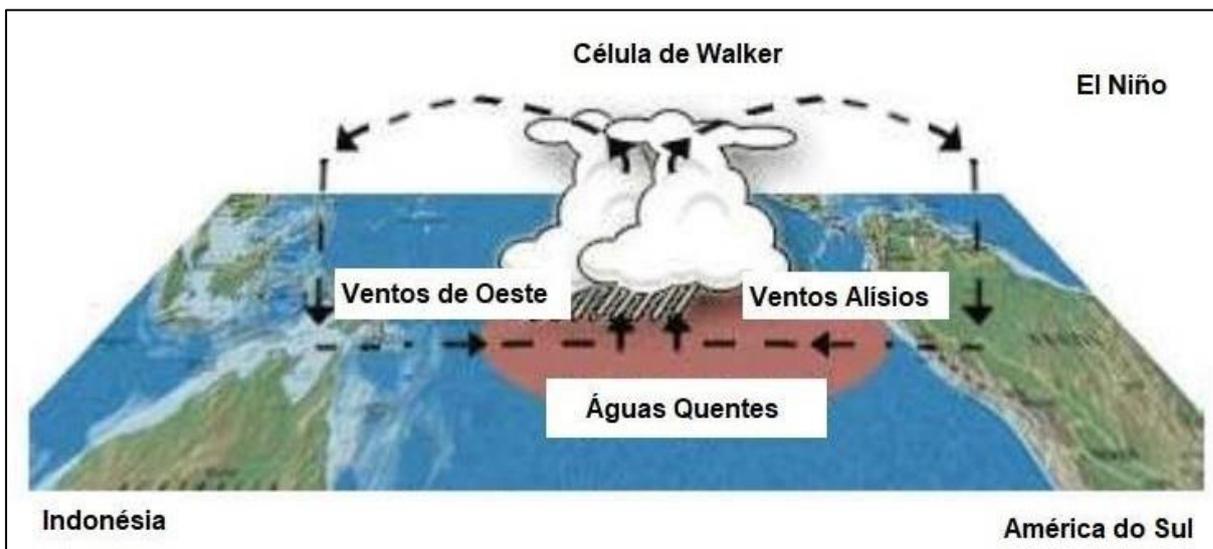
Fonte: Adaptado de OLIVEIRA FRANZÉ (2012).

Em anos de *El Niño* (Figura 8) a intensidade dos ventos alísios diminui permitindo que a camada de águas superficiais quentes do Pacífico se mova ao longo do Equador em direção à América do Sul. Os ventos alísios promovem o empilhamento de água quente superficial para leste. A convecção e a precipitação que geralmente ocorrem no Oceano Pacífico Ocidental seguem as águas superficiais quentes em seu deslocamento em direção ao continente, causando chuvas mais intensas no Peru, Equador e outras regiões tropicais da América do Sul. Contudo, a

precipitação cessa, ocasionado secas na Austrália e na Indonésia (BJERKNES, 1969).

É importante ressaltar que na sessão ENSO no Atlântico Sul serão expostos alguns trabalhos que reportam as consequências da dinâmica atmosférica e oceânica na bacia do Atlântico Sul em anos de ENSO.

Figura 8 – Representação esquemática de condições de um evento *El Niño*.

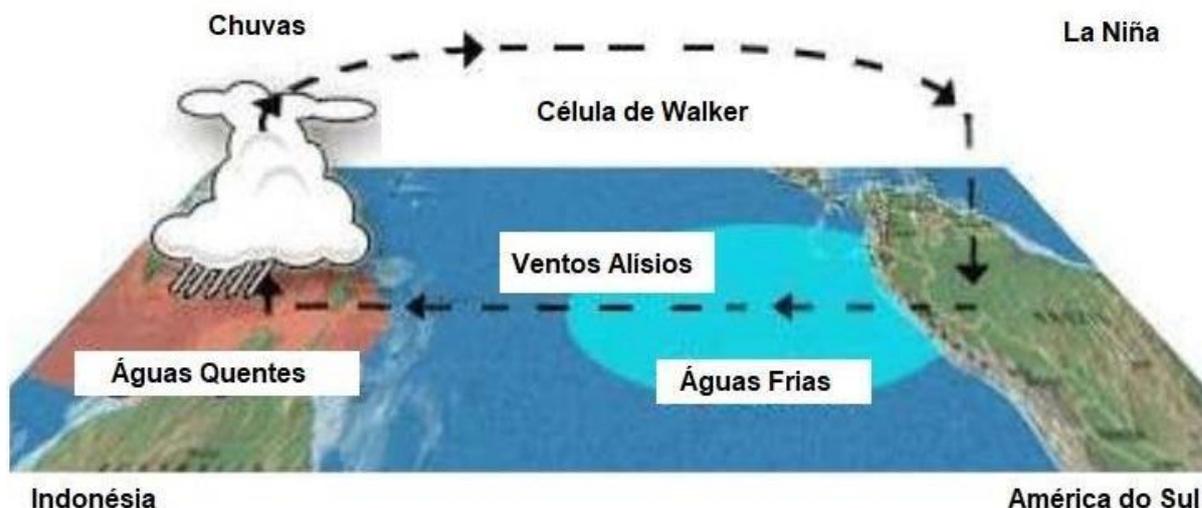


Fonte: Adaptado de OLIVEIRA FRANZÉ (2012).

A anormalidade na circulação de Walker para os períodos de *El Niño* atua diretamente a dinâmica atmosférica local, sobretudo a célula de Hadley. O ramo ascendente da célula de Walker induz uma subsidência na região Norte/Nordeste do Brasil, que por sua vez provoca em um ramo ascendente na região Sul, onde em uma condição atmosférica padrão nota-se ramo descendente da célula de Hadley (FERREIRA & MELLO, 2005) .

Em anos de *La Niña* (Figura 9) a intensidade dos ventos alísios aumenta permitindo resfriamento das águas do Oceano Pacífico Equatorial. Os ventos alísios estão mais intensos, e as águas mais quentes ficam represadas mais a oeste do que o normal. Portanto, com a evaporação e os movimentos ascendentes que geram nuvens de chuva, a célula de Walker, em anos de *La Niña*, fica mais alongada que o normal. A região do nordeste do Oceano Índico, a oeste do Oceano Pacífico, tem grande quantidade de chuva. No Pacífico Equatorial Central e Oriental ocorrem os movimentos descendentes da célula de Walker inibindo a formação de nuvens de chuva (TRENBERTH, 1997).

Figura 9 - Representação esquemática de condições de um evento La Niña.



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA FRANZÉ (2012).

De acordo com TRENBERTH (1997), relatos históricos, abordam que a ocorrência do ENSO é caracterizada a partir do uso de índices, que consideram, entre diversos fatores, a diferença de pressão e a anomalia de TSM no Pacífico equatorial. O valor resultante, a anomalia, entre a temperatura observada e um valor médio de referência, geralmente uma média de 30 anos.

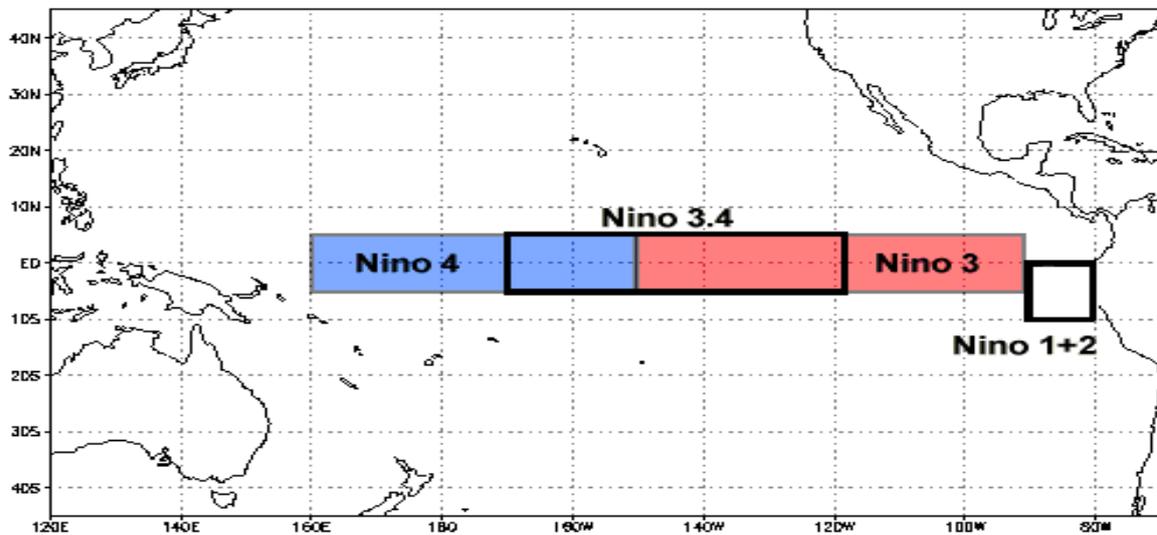
Um dos métodos para identificação da ocorrência de fenômenos *El Niño* e *La Niña* é baseado na construção de índices estatísticos estimados a partir do conhecimento de variáveis oceânicas e atmosféricas. Os índices mais utilizados pela comunidade científica são os Índices Oceânico Niño (ONI, do inglês), Índice de Oscilação Sul (IOS), e Índice Multivariado do ENOS (MEI, do inglês) (AZEREDO, 2017).

O ONI é calculado com o auxílio de um modelo computacional que usa as médias trimestrais (DJF, JFM, FMA, MAM, AMJ e assim sucessivamente) da anomalia de TSM na região do Niño 3.4 para determinar episódios de *El Niño* (Figura 10). Adota-se o critério de uma anomalia positiva de $0,5^{\circ}$ C ou acima em cinco períodos consecutivos. O referido índice também fornece a magnitude da intensidade do *El Niño*, catalogando-o como fraco, moderado, intenso e muito intenso. As anomalias negativas de TSM retratam os episódios de *La Niña* (TRENBERTH, 1997).

O IOS pondera as variações de maior escala da pressão atmosférica entre as regiões do Taiti (Polinésia Francesa) e Darwin (Austrália), que acontecem durante os

episódios de *El Niño/La Niña*. De modo geral, as séries temporais de IOS exibem relação direta com as alterações na temperatura do oceano na região do Pacífico Equatorial. Assim sendo, prolongados períodos de pressão atmosférica abaixo do esperado na região de Darwin coincidem com anomalias positivas/negativas de TSM típico de eventos de *El Niño/La Niña* (PHILANDER, 1990b).

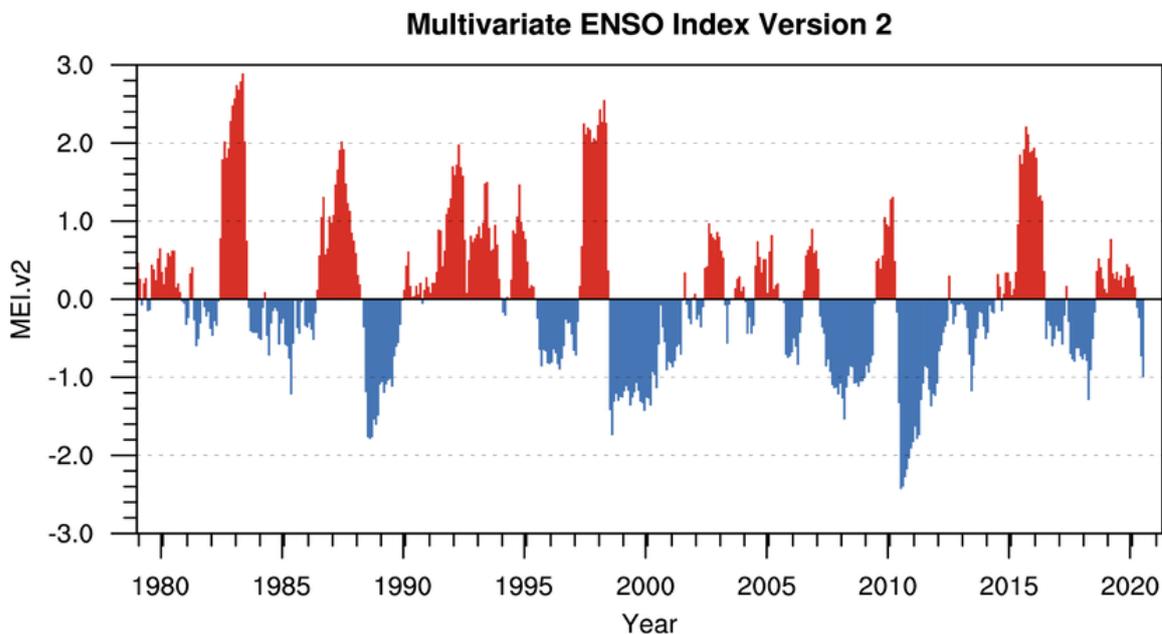
Figura 10 – Representação da localização das áreas onde são calculadas as anomalias que produzem os índices representativos de ENSO.



Fonte: Extraído do NOAA (ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/sst.php).

O MEI é um índice numérico o qual engloba diferentes elementos de caracterização do evento e que oscila entre valores positivos (*El Niño*) e negativos (*La Niña*) (Figura 11). O referido índice analisa as variáveis de pressão ao nível do mar, as componentes zonais e meridionais do vento, TSM, a temperatura do ar em superfície e um indicador de nebulosidade (LAY; AIELLO, 2001 apud AZEREDO, 2017). O MEI apresenta registros de valores desde início da década de 50 até os dias presentes e exhibe índices bimestrais.

Figura 11 – Série temporal do MEI. Em vermelho, encontram-se os valores que caracterizam os eventos de *El Niño*. Em azul, os valores que caracterizam os eventos de *La Niña*.



Fonte: Adaptado de (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>).

1.3 ENSO no Atlântico Sul e seu impacto sobre o clima de ondas

Alguns estudos demonstram que eventos de ENSO potencialmente impactam o clima de ondas na bacia do Atlântico Sul.

LOURENÇO (2012) avaliou a interferência da variabilidade interanual do clima de ondas nos processos costeiros do litoral Sudeste e Sul do Brasil, entre 1997 e 2010, a partir dos resultados do modelo WW3 com seis pontos de água profunda. Segundo a autora, o clima de ondas foi determinado a partir dos resultados produzidos pelo WW3, que forneceram altura significativa, período médio e direção média. Apresentou o clima de ondas com os dados completos apresentando as características gerais de cada ponto focando na variação mensal e padrões sazonais, e a variação espacial entre os pontos.

Os sistemas frontais gerados pelo Anticiclone Polar Migratório se movimentam para Nordeste e diminuem sua intensidade em direção ao Norte. Destes sistemas a fase pré-frontal gerou ondas de Sudoeste, Sul-Sudoeste, Sul, Sudeste-Sul, Sudeste e Leste-Sudeste em todos os pontos, mas elas exerceram menos influência que as ciclogêneses. A fase frontal gerou ondas de Leste ao longo da região estudada, sendo

a única responsável por estas ondas no Espírito Santo, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A fase pós-frontal gerou ondas de Norte (apenas no Espírito Santo), Norte-Nordeste, Nordeste e Nordeste- Leste em toda a região, mas foi a única responsável pela formação destas ondas no Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo, locais em que a altura da onda variou pouco. Consideraram que do Sul do Brasil até o Estado da Bahia ocorreu influência da passagem de frentes frias no inverno. Os maiores períodos associados às ondas Sul-Sudoeste a Leste- Sudeste sugerem forte influência de sistemas distantes. A ocorrência das ondas de Sudoeste-Oeste, Oeste, Oeste-Noroeste, Noroeste, Noroeste-Norte e Norte (com exceção do Espírito Santo) não foi explicada pelos fenômenos atmosféricos considerados, sugerindo que estas ondas foram geradas por eventos locais. Estes eventos foram mais presentes em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, e causou a maior variação na direção de onda nestes estados (PIANCA *et al.* 2010 apud LOURENÇO 2012).

LOURENÇO (2012) concluiu que: O clima de ondas completo e de tempestade encontrado na plataforma Sudeste e Sul do Brasil foi, de maneira geral, adequado com o encontrado na literatura. As eventuais diferenças podem ser relacionadas a variações espaciais (posição geográfica e profundidade) e temporais da série analisada. Os meses de outono e inverno correspondem aos períodos mais energéticos principalmente para as ondas do quadrante Sul. Como esperado, devido às forçantes envolvidas, houve um decréscimo na altura e energia das ondas de Sul para Norte. O clima de ondas encontrado foi explicado pelos três centros ciclogênicos atuantes no Oceano Atlântico Sul, pelos sistemas frontais gerados pelo Anticiclone Polar Migratório e, especialmente em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, por eventos locais. As ondas de tempestade foram de Sudeste a Sul-Sudoeste em todo o litoral Sudeste e Sul do Brasil. Não foram encontradas tendências na variação interanual provavelmente devido ao curto período analisado (14 anos). O único fenômeno de *El Niño* evidente no clima de ondas foi o de 1997/1998 que aumentou os valores de altura e direção médias no Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo. Foi possível determinar dois grupos a partir da variação interanual, um formado pelo Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná, e outro por Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

OLIVEIRA (2017), desenvolveu uma pesquisa na qual foi proposto um estudo sobre as alterações no clima de ondas na região oceânica de Santa Catarina e sua

relação com alguns índices climáticos. Para isso foram simulados trinta e dois anos de dados de ondas através do modelo Wavewatch III (WW3) em uma grade local, com resolução de 6 km para a região de Santa Catarina. Tal grade foi aninhada a outras duas grades (global e regional), com a finalidade de realizar um refinamento dinâmico das grades e aumentar a resolução para a estimativa do clima de ondas na costa de Santa Catarina. A primeira grade que foi realizada a simulação foi a com domínio global de resolução $1/2^\circ$, posteriormente foi a grade regional de resolução de $1/4^\circ$, e por último grade local.

A pesquisadora verificou que o clima de ondas vem sofrendo alterações espaciais e temporais consideráveis, sobretudo em relação à altura significativa de ondas (Hs), a qual exibiu a tendência de aumentar até 0,37 cm.ano⁻¹ na região norte do litoral e 0,15 cm.ano⁻¹ na porção sul. OLIVEIRA (2017), também identificou um gradiente de energia de Hs na direção de noroeste para sudeste, e que as estações energéticas são o inverno e a primavera. Para o período de pico (Tp) foi descoberto um aumento gradual na direção sudoeste para nordeste e que no outono e inverno ocorrem os maiores valores médios. É importante ressaltar que a autora demonstrou a influência de fenômenos climáticos na variabilidade do clima de ondas da região encontrando correlações estatisticamente significativas, principalmente com o *El Niño*, Índice Tropical Atlântico Norte e Modo Meridional do Atlântico. Este trabalho tem como objetivo principal traçar algumas considerações sobre.

FERNANDEZ & MUEHE (2006), desenvolveram um estudo que tem como objetivo principal delinear algumas considerações sobre a influência do efeito de *El Niño* no balanço de sedimentos em algumas regiões da costa brasileira. O efeito de *El Niño* atua ao longo do litoral, bloqueando a subida para as baixas latitudes como?. Dessa maneira uma vez que há influência direta desse processo no padrão do clima de ondas e nos ventos, forçantes fundamentais na dinâmica sedimentar da zona costeira foi verificado inconseqüências do padrão normal dessa dinâmica em alguns pontos da costa do Brasil.

Os resultados exibiram que na costa nordestina em anos de *El Niño* há intensificação do transporte eólicos no Ceará. Na Bahia a dinâmica de algumas praias encaixadas foi afetada na sua morfodinâmica. No litoral fluminense a dinâmica de sedimentos de um campo de dunas foi fortemente afetada em anos de *El Niño*. No

Sul do país foram notados efeitos erosivos significativos (FERNANDEZ & MUEHE, 2006).

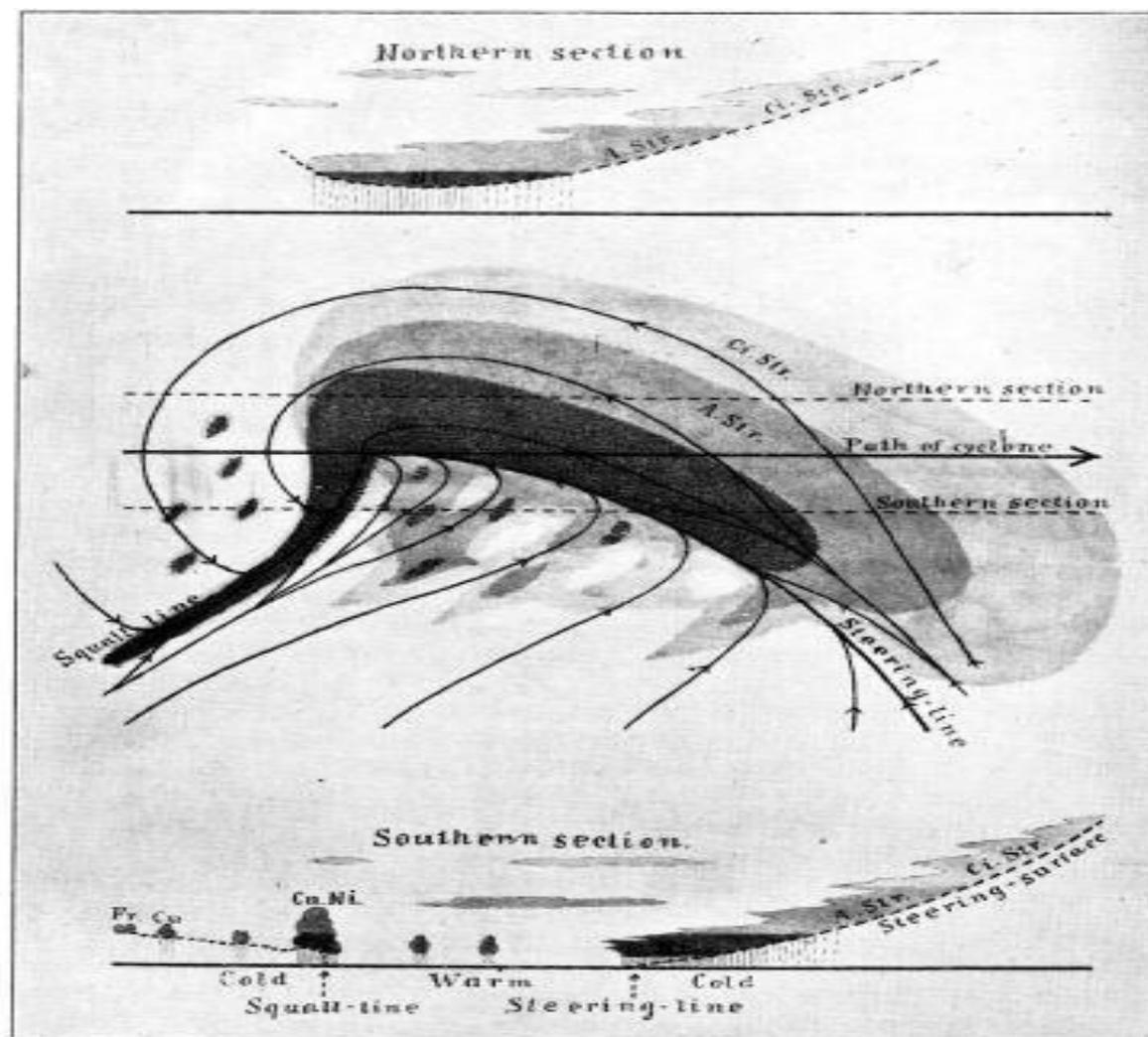
1.4 Ciclones Extratropicais

O vocábulo ciclone é utilizado para mencionar os sistemas de tempo com movimento circulatório associados a áreas de baixa pressão na superfície (REBOITA, 2008). O termo extratropical difere os ciclones formados nos extras trópicos dos formados nos trópicos, cuja formação é diferente. O processo de desenvolvimento ou intensificação de um ciclone é denominado ciclogênese, ao passo que sua dissipação, ciclólise (PETTERSEN & SMEBYE, 1971). O estudo da estrutura e do comportamento dos distúrbios extratropicais data de meados do século XIX com a introdução dos mapas sinóticos com frequência diária (PALMÉN & NEWTON, 1969).

Um dos primeiros estudos dedicados à estrutura dos ciclones extratropicais, foi desenvolvido por Fitz-Roy em 1863, onde ressaltou que os ciclones normalmente se desenvolviam na zona de interação de duas massas de ar com propriedades diferentes, uma de origem polar e outra de origem subtropical. Nos primeiros anos do século XX, Shaw e seus colaboradores pesquisaram o vento e a distribuição de precipitação associada com os ciclones móveis. O modelo de Shaw incluía as características essenciais do modelo de Fitz-Roy, contudo também não despertou a atenção dos pesquisadores sinóticos da época (REBOITA, 2008).

BJERKNES (1919) avaliou um extenso número de ciclones extratropicais por meio de observações em uma grande rede de estações meteorológicas na Escandinávia. Ao sintetizar os resultados, o pesquisador propôs um modelo conceitual para os ciclones extratropicais que, além de apresentar a estrutura típica de um ciclone móvel, indicava os processos dinâmicos fundamentais. No modelo a seguir (Figura 12) pode-se ver que o ar frio se encontrava sob o ar quente e assim forçando a ascensão do ar aquecido o qual contribuía para a redução do peso da coluna atmosférica, assim sendo, o início de um processo de convergência na superfície. O modelo de BJERKNES (1919) também apresentou que a distribuição das nuvens e a precipitação conseguiam ser explicadas como um efeito do resfriamento adiabático do ar quente ascendendo sobre as frentes quente e fria.

Figura 12 – Modelo conceitual de um ciclone no Hemisfério Norte desenvolvido por BJERKNES (1919).



Fonte: Extraído de REBOITA (2008).

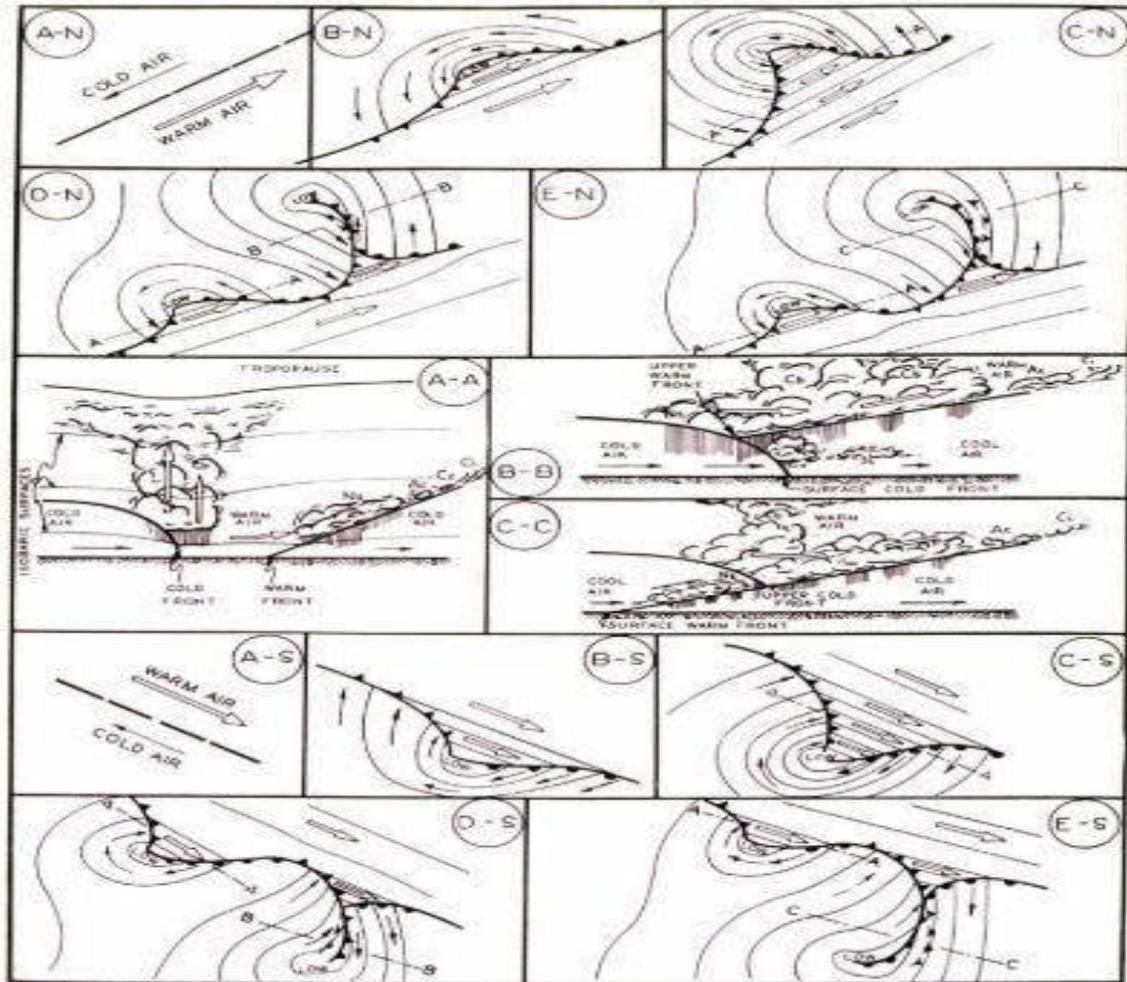
O modelo BJERKNES foi estudado pelos pesquisadores PETERSEN & SMEBYE (1971) o qual foi denominado de Teoria da Frente Polar, visto que apresentou que os ciclones de latitudes médias se estruturavam como uma consequência da interação de duas massas de ar: uma de origem polar e outra de origem tropical.

Os estudos de BJERKNES prosseguiram e, em 1992, com a colaboração de SOLBERG foi concebido que o ciclo de vida dos ciclones extratropicais possuía vários estágios (Figura 13) e não somente aquele proposto em 1919 (Figura 12). Os mecanismos de acoplamento entre o ar superfície com o de níveis superiores eram desconhecidos naquela época. A Figura 16 apresenta as fases de desenvolvimento de um ciclone extratropical para os hemisférios Norte e Sul segundo a teoria de

BJERKNES & SOLBERG (1922). Durante as etapas de formação de um ciclone várias forças atuam no sistema, merecendo destaque a força de Coriolis, encargada pelo sentido da circulação (horária no Hemisfério Sul), a força do gradiente de pressão, responsável por promover o deslocamento do sistema, e a força friccional, que atua como um sumidouro de energia e diminui a velocidade dos ventos.

Figura 13 – Fases do desenvolvimento de um ciclone extratropical com base na teoria da Frente Polar (GARSELL, 1947). Esta Figura exhibe que um distúrbio inicial pode ser distinguido como uma onda de pequena amplitude que se forma ao longo de uma frente quase-estacionária. Primeiramente as correntes ao longo das frentes quente e fria apresentam direções opostas (diagrama A-N para o Hemisfério Norte e A-S para o Hemisfério Sul) ou mesma direção. O distúrbio de onda inicial é exibido no diagrama B-N (B-S). Caso o distúrbio origine-se das condições apresentadas no diagrama A-N (A-S), o crescimento da amplitude da onda resultará na fase apresentada no diagrama C-N (C-S). De modo que o ar quente ascende e o ar frio penetra sob este, o setor quente diminui; a frente fria tende a ultrapassar a frente quente e o ciclone é chamado de ocluso. As características típicas de um

ciclone em fase de oclusão são apresentadas no diagrama D-N (D-S) e do ciclone ocluso no diagrama E-N (E-S).



Fonte: Extraído de REBOITA (2008).

Com base nos estudos sinóticos de ciclones extratropicais de outros autores e de duas tempestades por eles analisadas, os pesquisadores PETTERSSSEN & SMEBYE (1971) revelaram que a hipótese da ciclogênese estar associada à advecção de vorticidade ciclônica em níveis superiores nem sempre era satisfatória. Desse modo, concluíram que outros mecanismos deveriam influenciar o desenvolvimento dos ciclones extratropicais.

A fim de entender como as regiões de formação, tempo de vida, trajetória e distância percorrida pelos ciclones no Hemisfério Sul começaram com técnicas manuais baseadas na análise visual de mapas de pressão à superfície, como nos estudos de LOON (1965) e TALJAARD (1967).

Em 1965, LOON desenvolveu uma climatologia de ciclones no Hemisfério Sul com bases climatológicas adquiridas no intervalo de tempo de julho de 1957 a março de 1958, onde conseguiu maior periodicidade de ciclogêneses entre 40°-45°S no inverno e primavera e, entre 45°-55°S no verão. No inverno também foi visto um máximo secundário entre 25°-30°S. O pesquisador notou que o número máximo de ciclogêneses nas latitudes medianas correspondia com a frequência dos sistemas frontais.

Com o auxílio de mapas de pressão ao nível médio do mar no intervalo de julho de 1957 a dezembro de 1958, TALJAARD (1967) percebeu que a ciclogênese ocorre com maior frequência entre as latitudes médias, entre 35°-55°S, com máximo nos entornos de 45° S e diminuição nas proximidades do paralelo de 50° S, e junto do continente antártico. O pesquisador notou maior frequência de ciclogêneses no inverno, sobretudo sobre a América do Sul subtropical, oceano Atlântico e noroeste do Pacífico Sul. TALJAARD (1967) completou que o lado oeste dos oceanos subtropicais é mais adepto para a formação de ciclones que o lado leste o qual é ocupado, na maior parte do tempo, por anticiclones estáveis que se deslocam lentamente.

Os ciclones extratropicais são fontes constantes de estudos visto que tem papel fundamental na climatologia da precipitação na porção extratropical da América do Sul (LORENSI, 2012). De acordo com PARISE (2010), desde o começo da década de 90, ciclones extratropicais no Oceano Atlântico Sul estão sendo estudados frente a sua alta frequência e intensidade. Estudos desenvolvidos por GAN & RAO (1991), MURRAY & SIMMONDS (1991a e 1991b), JONES & SIMMONDS (1993), SINCLAR (1994), SINCLAR (1995), RAO *et al.*, (2002) e PARISE *et al.*, (2009) também contribuíram para o entendimentos desses sistemas.

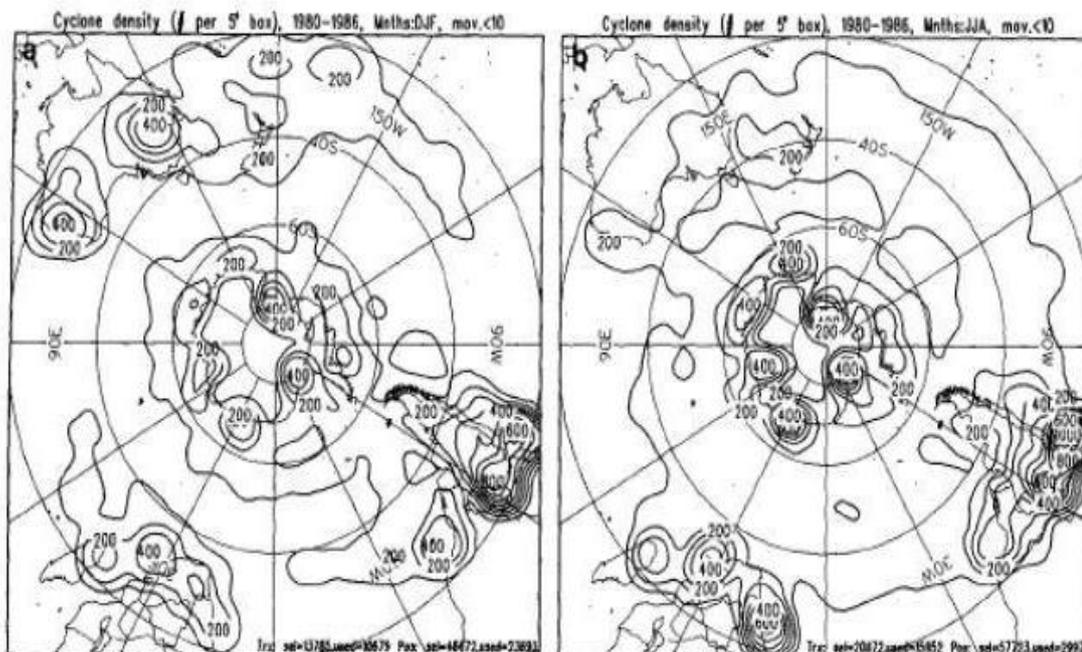
GAN & RAO (1991) avaliaram 14.600 cartas sinóticas, para um intervalo de 10 anos, na região entre 15°-50°S e 30°-90°W, para desenvolverem uma climatologia de ciclogêneses. Na climatologia proposta pelos autores a máxima frequência mensal de ciclogêneses acontece em maio e a mínima em dezembro, vale ressaltar que há uma variabilidade interanual das ciclogêneses com maior número de ocorrência nos anos de *El Niño* (1983 e 1987). No presente estudo foram apontadas duas regiões ciclogênicas uma sobre o Golfo de São Matias (42,5° S e 62,5° W), com extremos

no verão, e outra sobre o Uruguai (31,5° S e 55° W), com máximos no inverno, associada à presença da Cordilheira dos Andes.

MURRAY & SIMMONDS (1991b) usaram um esquema automático (descrito em MURRAY & SIMMONDS, 1991a), baseado em mínimos de pressão ao nível médio do mar, para detectar os sistemas. Os resultados obtidos foram comparados com os de outros pesquisadores que utilizaram dados de reanálises para identificarem os ciclones. MURRAY & SIMMONDS (1991b) verificaram um máximo de atividade ciclônica nos oceanos de latitudes altas, principalmente em torno de 60°S, além de grande densidade de sistemas na costa leste dos continentes. Notaram algumas características nos ciclones como: movimento para leste ou sudeste com maior velocidade nas latitudes médias (entre 40° S e 50° S) e ciclólise mais frequente ao sul de 60° S.

Em 1994, SINCLAR desenvolveu uma climatologia de ciclones extratropicais para o verão e inverno no Hemisfério Sul, entre os anos de 1980 a 1986, por meio de um esquema automático que mostrava os sistemas através de mínimos de vorticidade relativa geostrófica obtida da altura geopotencial de 1000 hPa (Figura 14). O autor notou que com essa metodologia ocorre maior frequência de ciclones em torno da Antártica e próximo aos continentes, nas latitudes medianas, sobretudo no inverno. Esse mesmo pesquisador em 1995, realizou um novo estudo para os ciclones no Hemisfério Sul utilizando o mesmo período de dados e metodologia usados no seu artigo publicado em 1994. Os resultados comprovaram como regiões ciclogênicas a costa leste da Austrália e da América do Sul, especialmente no inverno, e as regiões junto à zona baroclínica associada com as correntes de jato em altos níveis.

Figura 14 – Desenho esquemático de densidade dos ciclones móveis no período de 1980 a 1986 no verão (a) e no inverno (b).



Fonte: Extraído de SINCLAR (1994).

1.5 Ciclogênese no Atlântico Sul: Climatologia e Variabilidade Interanual

Diversos trabalhos mostram que há uma relação direta entre a ocorrência de ciclones extratropicais e eventos de ENSO. A seguir será exposto um compilado dos estudos mais relevantes.

Em 2003, PEZZA & AMBRIZZI usando o mesmo código de MURRAY & SIMMONDS (1991a) e a reanálise do NCEP, examinaram a variabilidade dos ciclones extratropicais no inverno austral do período de 1973 a 1996. Assim como SIMMONDS & KEAY (2000), notaram uma diminuição do número de sistemas sobretudo no final da década de 70, devido à redução de muitos sistemas fracos e domínio de sistemas mais intensos.

No trabalho desenvolvido por PEZZA & AMBRIZZI (2003), foram realizadas avaliações da frequência de formação de ciclones em anos de *El Niño* e de *La Niña* no período 1973 a 1996. Durante estes eventos o número total de sistemas no Hemisfério Sul não diferenciou dos anos neutros, entretanto foram achadas diferenças na densidade das regiões ciclogénicas, ou seja, anos de *El Niño* exibem maior frequência de sistemas sobre o Pacífico subtropical oeste, sul da Argentina e oceano

Índico e diminuição em outras áreas. Já nos anos de *La Niña* a frequência maior de sistemas é registrada no Atlântico subtropical e sul e sudeste da Austrália. Resultados análogos foram encontrados por BEU & AMBRIZZI (2006).

REBOITA *et al.* (2005), encontraram na costa sul e sudeste brasileira localizada entre 20° S e 35° S, uma terceira região ciclogênica (Figura 15).

Figura 15 – Regiões de ciclogênese no Oceano Atlântico Sul. Em azul descrito por GAN & RAO (1991) e em verde por REBOITA *et al.* (2005).



Fonte: Extraído de PARISE (2010).

Na pesquisa desenvolvida por HOSKINS & HODGES (2005), foi feita a análise de atividade ciclogênica no Hemisfério Sul, nas quatro estações do ano, entre os anos de 1958 a 2002, através da reanálise ERA-40 do ECMWF e do diagrama numérico de HODGES (1994). Da mesma forma que outros cientistas, também descobriram máximos de atividade ciclônica nos arredores da Antártica. Na costa leste da América do Sul apontaram três áreas ciclogênicas: junto ao sul da Argentina, no Uruguai e próximo ao Trópico de Capricórnio na costa do Brasil. Nesta última região a maior densidade de sistemas foi alcançada no verão. Os pesquisadores

argumentam que a formação de ciclones na costa leste da América do Sul é influenciada pelo jato subtropical e que no sul do continente (aproximadamente 45° S) os distúrbios que se proliferam do Pacífico ao atravessarem os Andes se destacaram e colaboram a ocorrência de ciclogêneses.

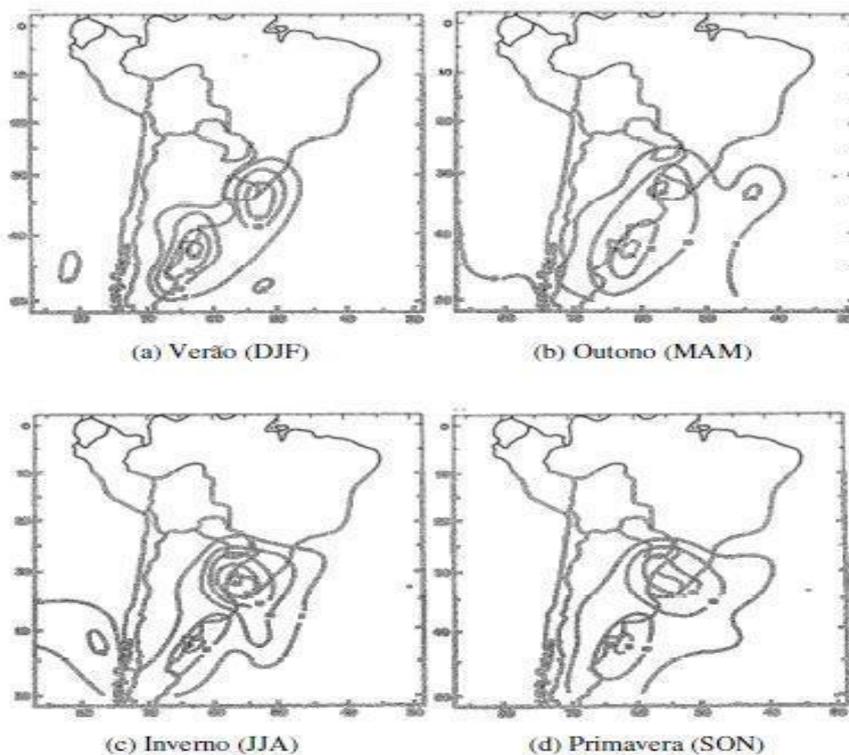
O monitoramento dos ciclones extratropicais relacionados a eventos de marés meteorológicas na Praia de Cassino (RS) nos anos de 2006 e 2007 e descobriram três padrões de trajetórias fundamentadas no mínimo de vorticidade relativa na porção central dos ciclones: Padrão I: Ciclogênese ao sul da Argentina com deslocamento para leste e trajetória entre 47.5° S e 57.5° S; Padrão II: Ciclogênese ao sul do Uruguai com distanciamento para leste e trajetória entre 35° S e 42.5° S; Padrão III: Ciclogênese ao sul do Uruguai com afastamento para sudeste e trajetória entre 35° S e 57.5° S (PARISE *et al.*, 2009).

Em anos de *El Niño*, para todas as latitudes, apresentam ligeiramente maiores ocorrências de ciclones, em torno de 5 %, com exceção do verão. Em anos de *La Niña* apresentam maiores quantidades de ciclones, acréscimo de 7 %. Entre as latitudes de 40° S e 70° S o número de ciclones atingem o máximo no outono e o mínimo na primavera, seja em anos neutros ou anos de *El Niño*, vale destacar que em anos de *La Niña* a incidência no outono diminui, bem como a amplitude entre as ocorrências máximas e mínimas (GAN & RAO, 1991).

GAN & RAO (1991) usaram 10 anos de cartas de superfície do intervalo de janeiro de 1979 a dezembro de 1988 para estudar a variabilidade sazonal e interanual da ciclogênese na América do Sul. Os autores encontraram dois núcleos de máxima ciclogênese (Figuras 16 e 17) um sobre o Uruguai e outro sobre o Golfo de San Mathias (Argentina). Na primavera e outono os dois núcleos têm aproximadamente a mesma intensidade, por volta de 15 sistemas a cada estação, isto é, em torno de 5 sistemas por mês. O núcleo do Uruguai no inverno apresenta maior frequência de ocorrência, e no verão a frequência de ocorrência de ciclogênese é menor, com os valores, respectivamente, de 25 e de 15 sistemas por estação. O contrário acontece no Golfo de San Mathias, que apresenta no verão (inverno) a maior (menor) frequência de ocorrência de ciclogênese, 20 (15) sistemas por estação. Os dois núcleos deslocam-se do norte do verão para o inverno. GAN & RAO (1991) atribuem distintos mecanismos físicos envolvidos nos dois núcleos encontrados, a instabilidade

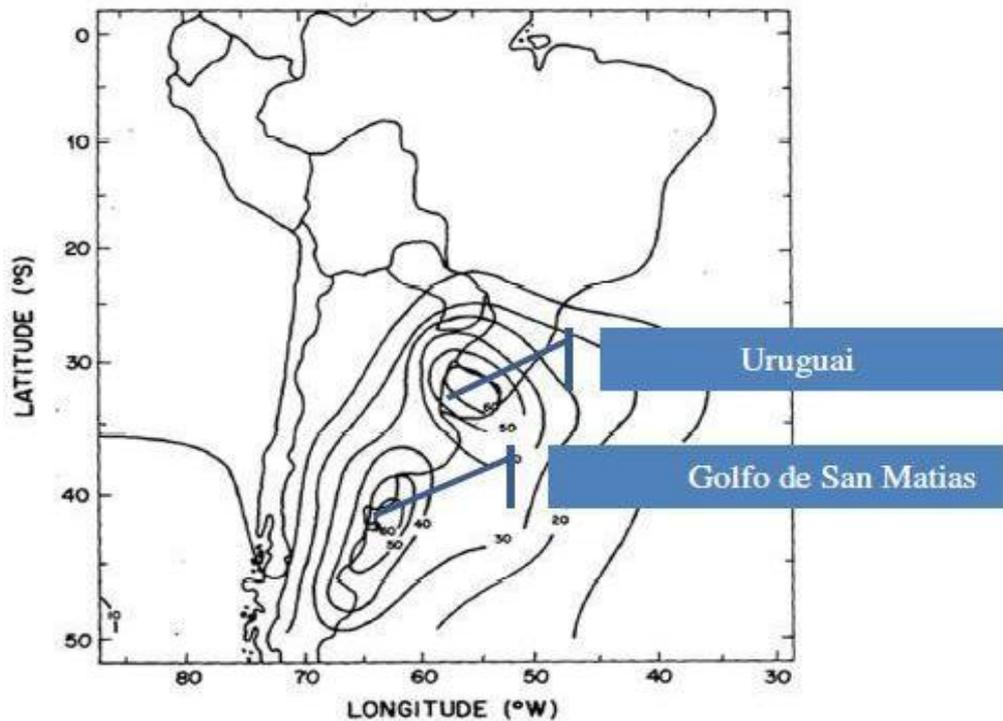
baroclínica local dos oestes no caso do máximo no Golfo de São Mathias e a ciclogênese orográfica devido à presença dos Andes no caso do máximo do Uruguai.

Figura 16 – Isolinhas de frequência de ciclogêneses: (a) verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA) e (d) primavera (SON) (GAN, RAO; 1991).



Fonte: Extraído de GAN & RAO (1991).

Figura 17 – Distribuição anual de isolinhas de frequência de ciclogênese.



Fonte: Extraído de GAN & RAO (1991).

Com relação à variabilidade interanual, GAN & RAO (1991) mostram que em anos de *El Niño*, acontece maior ocorrência de ciclogênese, e em anos de *La Niña* menor frequência de episódios de ciclogênese. Por exemplo, considerando o outono e inverno ocorreram no *El Niño* de 1983 ao todo 73 casos, enquanto no evento *La Niña* de 1981 nos mesmos meses ocorreram apenas 45 eventos.

Em 1990, SATYAMURTY *et al.*, a partir de imagens de satélite do intervalo de tempo de 1980 a 1986, desenvolveram uma climatologia dos vórtices ciclônicos em superfície entre as latitudes de 15° S e 60° S, e as longitudes de 30° W e 70° W. Os autores alcançaram uma frequência de 100 sistemas por ano, que teve acréscimo de 25 % no evento de *El Niño* de 1983, vale destacar que o evento desse ano foi classificado como forte. Também foi notada maior ocorrência de vórtices ciclônicos no verão seguido do inverno. GAN & RAO (1991) também tiveram maior ocorrência de ciclones na América do Sul em anos de *El Niño*.

Em anos de *El Niño* há intensa atividade convectiva no Pacífico tropical central e leste que provoca ondas de Rossby quase estacionárias em direção ao polo na troposfera superior (MAGAÑA & AMBRIZZI, 2005). De acordo com REBOITA (2008),

essas ondas mostram uma circulação anticiclônica sobre o Pacífico tropical centro-oeste, uma circulação ciclônica ao sul/sudeste deste e um escoamento anticiclônico sobre o sudeste da América do Sul. Por conservação de massa, a estrutura em baixos níveis é inversa à dos altos níveis, por exemplo, no sudeste da América do Sul dominaria a circulação ciclônica. Em 1987, MO & GHIL, definiram a conexão entre o oceano Pacífico e a América do Sul de *Pacific – South America Pattern* (PSA), que em português pode ser denominada de Pacífico– América do Sul (PAS). No sudeste da América do Sul, em anos de *El Niño*, o padrão PAS desencadeia uma anomalia ciclônica em baixos níveis, tornando favorável a convergência de umidade, especialmente a transportada pelo jato de baixos níveis a leste dos Andes também proveniente do Atlântico Sul pelo ramo oeste do anticiclone Subtropical do Atlântico Sul. A maior disponibilidade de umidade daria maior suporte ao desenvolvimento de ciclogêneses nessa área.

No trabalho desenvolvido por SINCLAR (1996), investigou a distribuição e o ciclo de vida das ciclogêneses na América do Sul e comparou seus resultados com os de GAN & RAO (1991). A climatologia de SINCLAR usou dados ECMWF nos anos de 1980 a 1994 e abrangeu todos os sistemas com tempo de vida superior a dois dias. SINCLAR (1996) alcançou a mesma localização da região ciclogênica no Uruguai exibida em GAN & RAO (1991), entretanto a região ciclogênica na Argentina surgiu deslocada para sul, entre 45° S e 50° S, estando de acordo mais com o trabalho de SATYAMURTY *et al* (1990).

Em 2003, BEU discorre, com base no trabalho de GAN & RAO (1991), que durante a fase quente do ENSO as ondas atmosféricas apresentam um ciclo de vida de caráter mais explosivo devido ao acréscimo da baroclinicidade e do jato em altos níveis. Entretanto os ciclones não crescem o suficiente para irradiar energia para os níveis mais altos e, como consequência, não alcançam um desenvolvimento tão intenso como na fase positiva da Oscilação Sul, refletindo em maior quantidade de ciclones intensos em anos de *La Niña*.

No estudo desenvolvido por PEREIRA *et al.*, (2012) buscaram relacionar o efeito dos ciclones extratropicais no aumento da salinidade no canal de acesso à lagoa dos Patos. Os pesquisadores realizaram uma análise dos ciclones extratropicais que se movem na direção nordeste / leste, ao longo da costa do Rio Grande do Sul, para dois períodos distintos: maio de 2006 a março de 2007 e maio de 2007 a março de

2008. O primeiro corresponde a um período de *El Niño* e o segundo de *La Niña*. Segundo PEREIRA *et al.* (2012) os ciclones extratropicais ocorreram, em maior número, durante a *La Niña*, entretanto durante o *El Niño* foram dominantes na mudança do clima na região, sobretudo no aumento da intensidade do vento sul, o que empurra a água salgada para o estuário.

No trabalho desenvolvido por MELLO, MUZA & QUADRA (2015) foi apresentada a ocorrência e o tempo de vida dos ciclones extratropicais na costa do Brasil, exibindo uma análise sazonal e interdecadal. O estudo sobre a variabilidade interdecadal da ocorrência de ciclones extratropicais foi realizado para três períodos referentes aos anos de 1957 a 2010: 1º período de 1957 a 1975 (maior ocorrência de *La Niña*); 2º período de 1976 a 1999 (maior ocorrência de *El Niño*); e, 3º período de 2000 a 2010 (período mais recente). De acordo com os pesquisadores a correlação entre a ocorrência de ciclones e os eventos do *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) para todo o período analisado foi 0,134. A interação entre a ocorrência anual de ciclones extratropicais com o *El Niño*-Oscilação Sul (ENSO) foi averiguada com o coeficiente de correlação linear entre a anomalia da mediana da quantidade de ciclones a cada ano e a mediana do índice do ENSO de cada ano, o resultado foi um coeficiente positivo e mostrando uma fraca relação, mas de acordo com PEZZA & AMBRIZZI (2003) demonstraram que em anos de *La Niña* o Atlântico Sudoeste apresenta os ciclones mais intensos.

1.6 Estudos Climatológicos – Ondas

Devido a sua variabilidade em todas as escalas temporais, o clima de ondas de uma região não é uma tarefa simples. Medições de boias, escalares ou direcionais, podem oferecer uma boa estimativa do estado do mar a partir de coleta com intervalo de amostragem de 20 a 30 minutos. Entretanto, é muito custoso financeiramente manter essas boias em funcionamento com a finalidade de ter a estimativa de longo termo do clima de ondas de uma estimada região (YOUNG, 1999). A costa brasileira apresenta mais de 8000 km de extensão (TESSLER & GOYA, 2005). Assim sendo, entendemos a dificuldade em assegurar uma cobertura de sensores de ondas que consigam registrar com consistência toda a variabilidade climatológica do clima de ondas na costa brasileira.

Com tudo, por conta da carência de dados *in situ*, muitos trabalhos realizados têm utilizado modelos numéricos para caracterizar o clima de ondas de determinados locais. No litoral do Brasil destaca-se o trabalho realizado por ALVES *et al.* (2008) que restauraram o clima de ondas no sul-sudeste brasileiro no período de janeiro de 1997 à dezembro de 2005, sendo nomeado de “Reconstituição dos Campos de Onda Pretéritos no oceano Atlântico Sul (COPAS)”. Os pesquisadores usaram o modelo numérico WW3 forçado pelos campos de vento à superfície, gradientes de temperatura ar-mar e cobertura de gelo obtidos a partir das análises do modelo atmosférico global do NCEP. Campos (2009), utilizou o modelo WW3, forçado com vento da Reanálise II do NCEP, para reconstituir 20 anos (1986 – 2005) de agitação marítima com objetivo de obter estimativas de ondas extremas na Baía de Campos – RJ.

O Oceano Atlântico Sul não possui um estudo de clima de ondas como um todo, alguns estudos foram feitos buscando caracterizar regiões da costa do Brasil (CANDELLA, 1997). Segundo o autor, as principais ondas presentes no Atlântico Sul são as originadas nas médias e altas latitudes, por tempestades geradas nos ciclones extratropicais associados às frentes frias. O deslocamento desses ciclones acontece de oeste para leste, no Atlântico Sul, produzindo ventos de Sudoeste a Sudeste. As ondas de nordeste e leste estão diretamente associadas à circulação imposta pelo ASAS, sendo dominantes, em termos de persistência, na região do Cabo Frio. Os ventos produzidos pelo ASAS chegam a alcançar 10m/s durante vários dias contínuos (CANDELLA, 1997).

Em alguns estudos como os desenvolvidos por SEIXAS (1997), VIOLANTE-CARVALHO (1998) e PARENTE *et al.* (2014), nos quais foram definidas as quatro principais categorias do estado de mar da Baía de Campos: Bom tempo; Bom Tempo com *swell*; Mau Tempo - tempestade de sudoeste; Mau Tempo - tempestade de sudeste.

VIOLANTE DE CARVALHO (1998) fez um trabalho, com dados de ondas recolhidos na Baía de Campos, sobre o clima de ondas nessa região e sua associação aos eventos meteorológicos geradores, diferenciando as ondulações de acordo com duas feições meteorológicas distintas, a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e os ciclones extratropicais produzidos em altas latitudes.

O Bom tempo ocorre com o domínio do ASAS sobre a Bacia de Campos, o que produz ventos de nordeste e um mar local na mesma direção dos ventos. O Bom Tempo com *swell* é caracterizado quando ocorre ao mar local ondulações distantes oriunda do sul. O Mau Tempo de sudoeste é definido por mares de sudeste e sul em que ocorre a passagem de frente fria seguida de um ciclone. O Mau tempo de sudeste é caracterizado quando após a passagem de uma frente fria, um anticiclone polar interfere na circulação da região (NOGUEIRA, 2014).

FERREIRA & GUEDES SOARES (1998) e GUEDES SOARES & SCOTTO (2007) desenvolveram pesquisas envolvendo extremos pontuais de ondas no Atlântico.

O litoral do Rio de Janeiro, devido à sua característica geográfica, recebe de modo direto as ondas oriundas dos ciclones gerados em altas latitudes, ficando exposto a grandes pistas, com ventos apresentando velocidades acima de 18 m/s capazes de produzir ondas com altura significativa de 5 a 6 m (INNOCENTINI *et al.*, 2000).

BRANCO (2005) averiguou a contribuição do marulho para o clima de ondas no litoral do Brasil e verificou que a formação de um ciclone na porção sul do continente africano no mês de maio foi o responsável pela chegada do *swell* na região Sudeste da costa do Brasil com altura significativa de aproximadamente 1 m e períodos de 14 s a 15s.

No estudo realizado por BRAGA (2007) destacam-se características do Atlântico Sul próximas ao litoral Argentino semelhantes as encontradas na porção sul do Brasil. Tais comportamentos também podem ser observados na porção leste da bacia do Atlântico Sul.

No litoral da África do Sul ocorrem eventos com ondas intensas como as que são registradas na costa sul-sudeste do Brasil, especialmente durante o outono, mais propriamente entre abril e junho (CANDELLA & SOUZA, 2013).

Como mencionado no trabalho realizado por NOGUEIRA (2014), a maioria dos estudos realizados na região da Bacia de Campos foram feitos a partir de resultados de modelos numéricos ou através da utilização direta de reanálises de vento e ondas disponibilizadas pelo NCEP e pelo ECMWF.

Vale ressaltar que essas análises tratam apenas os padrões gerais e sazonais dos parâmetros fundamentais das ondas, tais como Hs (Altura significativa), Tp (Período de pico), Tm (Período médio), Dp (Direção de pico) e Dm (Direção média), os quais estão distante da abordagem já estabelecida, por alguns trabalhos, na Baía de Campos (NOGUEIRA, 2014).

O trabalho de PIANCA *et al.* (2010), realizou uma análise do clima de ondas ao longo da costa do Brasil com base em série temporal de janeiro de 1997 a dezembro de 2007, obtida a partir dos resultados do modelo operacional WW3 disponibilizados pela NOAA.

O estudo de NASCIMENTO (2013), teve como objetivo investigar o padrão de categorias de classificação associado aos sistemas meteorológicos que dominam a circulação dos ventos para a Baía de Santos. As categorias de classificação estão definidas como: Situação de Bom Tempo, definido por mares de Norte, Nordeste e Leste (especialmente NE), com sistema de Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) predominante; Situação de Mau Tempo de Sudoeste, com mares de Oeste e de Sudoeste, no qual há a passagem de frente fria seguida de um ciclone extratropical; e Situação de Mau Tempo de Sudeste, quando após a passagem de uma frente fria a alta migratória pós frontal ou da retaguarda domina a circulação na região. Para isso, NASCIMENTO (2013) analisou os dados de vento e onda da região da Baía de Santos entre 1997 - 2011 (15 anos) de simulação do modelo WAVEWATCH III (WW3) versão 3.14.

No campo global, destaques para alguns trabalhos, como por exemplo, a pesquisa de BAUER (2001) que a partir do modelo numérico WAW (WAMDIG, 1988) reconstituiu a agitação marinha no intervalo de tempo de 12 anos (1981 – 1993) no Oceano Atlântico Norte. O projeto HIPOCAS “*Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe*” (GUEDES SOARES *et al.* 2002), que gerou 44 anos de dados de ondas ao longo da costa Europeia, usando o modelo WAW (WAMDIG, 1988) colaborando para a compreensão do clima de ondas da região. Também usando o modelo WAW (WAMDIG, 1988) e campos de ventos pretéritos do ECMWF (*European Center for Medium-range Weather Forecast*), GORMAN *et al.*, 2010 realizaram uma reconstituição de 20 anos (1979 – 1998) para determinar o clima de ondas da costa da Nova Zelândia.

A estimativa do clima de ondas é de suma importância para vários estudos, a modelagem numérica vem sendo usada também como um auxílio para estes estudos. SOOMERE *et al.* (2008), usaram o modelo WAM para gerar a climatologia de ondas da praia de Piritá, litoral da Estônia, e indicaram o comportamento do transporte de sedimentos ao longo de 21 anos (1981 – 2002). A definição do clima de ondas também se torna importante para estudos de mudanças climáticas, como mencionado por LIONELLO *et al.*, (2008). Esses autores reconstituíram a agitação marinha do Mar Mediterrâneo para 29 anos (1961 – 1990) para o mesmo modelo, WAM e, a partir do clima de ondas atual, foi possível estimar futuras mudanças climatológicas do padrão de ondas na região. Além do que, pode-se usar os conhecimentos do clima de ondas reconstituído por modelos numéricos para pesquisas sobre viabilidade da matriz energética com base nos movimentos das ondas (HILES, 2010).

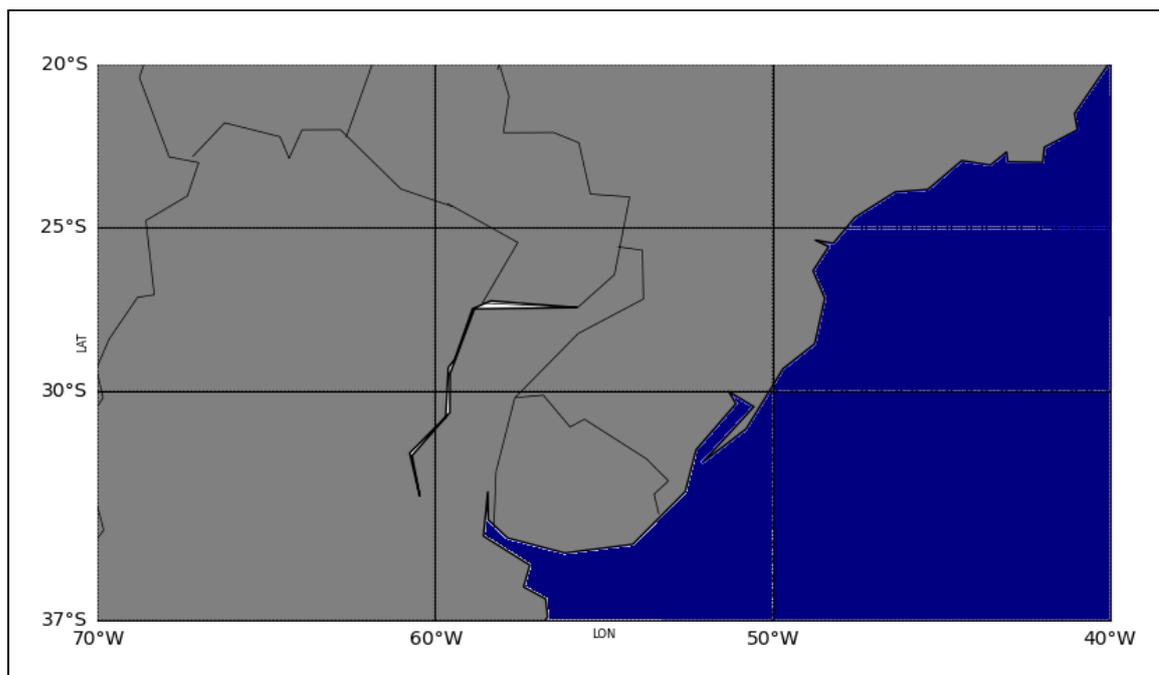
3. METODOLOGIA

Nesta sessão será apresentada a área de estudo, os dados a serem analisados e os métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1 Área de Estudo

A região está inserida na bacia do atlântico sul, delimitada pelos paralelos de 20° S e 37° S e pelos meridianos de 70° W e 40° W (Figura 18).

Figura 18 – Área de estudo: Delimitada pelos paralelos de 20° S e 37° S e pelos meridianos de 70° W e 40° W.



Fonte: A autora.

2.2 Aquisição de Bases Climatológicas

Para ter o devido embasamento científico e conforme a Organização Meteorológica Mundial (OMM) estabelece para estudos comparativos de clima foram calculadas médias climatológicas para períodos de 30 anos de observação (TOMASINI, 2011). Assim sendo, foram adquiridas bases climatológicas de variáveis atmosféricas e oceânicas, como: Pressão atmosférica ao nível médio do mar (Pa), velocidade do vento (direção e intensidade do vento), altura significativa de ondas (Hs) e a direção de propagação de ondas para o período de 1979 – 2009 (30 anos). Foram usadas médias mensais oriundas das reanálises do ERA5 (Disponível em <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/yourrequests>).

ERA5 é a reanálise produzida pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas a Médio Prazo, em inglês, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Necessita-se salientar que até agora ERA5 é a primeira reanálise elaborada como um serviço operacional, em lugar de um projeto de pesquisa (BASTAZINI, 2018).

Os dados atmosféricos apresentam resolução espacial horizontal de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, os oceânicos têm resolução espacial horizontal de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ e a resolução temporal utilizada nesse trabalho é a mensal.

Ressalta-se que todos os cálculos, os campos e as séries foram realizados por meio de rotinas computacionais construídas em linguagem de programação *Python*.

2.3 Cálculo da Média Climatológica (MC)

A média climatológica ($\underline{M_c}$) foi calculada a partir das médias mensais adquiridas na base ERA 5, e a fórmula matemática para seu cálculo está representada na equação 3.1. Vale destacar que essa média foi realizada para todos os parâmetros citados na sessão anterior.

$$\underline{M_c} = \frac{Mm1 + Mm2 + Mm3 + \dots + Mm30}{n} \quad (3.1)$$

A média climatológica ($\underline{M_c}$) foi realizada a partir da soma de todos os valores das médias mensais e a soma resultante foi dividida pela quantidade de valores (n), ou seja, 30, visto que para este estudo foi determinado um período de 30 anos.

2.4 Cálculos das Anomalias (AM)

Foram feitas as diferenças entre as médias mensais e média climatológica, para produzir as anomalias (A_m). Vale frisar que tal diferença foi feita para todas as variáveis. Para isso usou-se a equação 3.2.

$$A_m = \underline{M_m} - \underline{M_c} \quad (3.2)$$

No caso de anomalias positivas ($Am > 0$), significa que intensidade da média mensal é maior que a intensidade da média climatológica; E no caso de anomalias negativas ($Am < 0$), expressa que a intensidade da média mensal é menor que a intensidade da média climatológica.

2.5 Análise Temporal

Foram calculados os valores médios das anomalias médias mensais das variáveis pressão atmosférica, da velocidade do vento, e altura significativa das ondas, na área de estudo de 20° S até 37° S e de 70° W até 40° W. Tal procedimento foi feito para todos os anos do estudo, e desse modo, foram geradas as séries temporais mensais. Na elaboração das séries temporais das variáveis atmosféricas não foram considerados os pontos sobre o continente.

2.6 Seleção dos Eventos de *El Niño*, de *La Niña* e Neutros (1979-2009)

Dez eventos de *El Niño*, quatro fenômenos de *La Niña* e seis períodos neutros ocorreram dentro do intervalo de 30 anos (1979-2009). Com o propósito reconhecer quais foram os anos que aconteceram tais eventos, foram utilizados os resultados obtidos por TRENBERTH (1997), o qual classificou os fenômenos em função das temperaturas do Pacífico nas regiões Niño 3.4. Para esse cálculo foi analisado o intervalo entre agosto de um ano até julho do ano seguinte. De acordo com o autor, os anos que a intensidade do fenômeno foi considerada forte são aqueles em que a anomalia de temperatura da superfície do mar (TSM) foi superior a 1,5°C em algum dos meses pertencentes ao intervalo analisado, enquanto os eventos de intensidade moderada apresentaram valores inferiores à 1,5°C, porém superiores à 1,0°C, e, os episódios de intensidade fraca são aqueles com valores inferiores à 1,0°C, mas superiores à 0,5°C. A seguir a classificação dos períodos de *El Niño* de 1979 a 2009 (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação dos anos de *El Niño* de 1979 a 2009 de acordo com TRENBERTH (1997).

Eventos de <i>El Niño</i>	
Anos	Classificação
1979-1980	Moderada

1982-1983	Forte
1986-1987	Moderada
1987-1988	Forte
1991-1992	Forte
1992-1993	Fraca
1997-1998	Forte
2002-2003	Moderada
2006-2007	Moderada
2009	Moderada

Fonte: A autora.

Para a classificação de anos de *La Niña* utilizou-se os mesmos resultados do trabalho mencionado, porém os anos que apresentaram anomalias da TSM inferior a $-1,5^{\circ}\text{C}$, a intensidade do fenômeno foi considerada forte, enquanto os eventos de intensidade moderada exibiram valores superiores à $-1,5^{\circ}\text{C}$, todavia inferiores à $-1,0^{\circ}\text{C}$, e por último, os fenômenos de intensidade fraca são aqueles com valores superiores à $-1,0^{\circ}\text{C}$, entretanto inferiores à $-0,5^{\circ}\text{C}$. A seguir a classificação dos anos de *La Niña* 1979 a 2009 (Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação dos anos de *La Niña* de 1979 a 2009 segundo TRENBERTH (1997).

Eventos de <i>La Niña</i>	
Anos	Classificação
1988-1989	Moderada
1998-1999	Fraca
1999-2000	Moderada
2007-2008	Moderada

Fonte: A autora.

Logo, foi plausível reconhecer os anos dos eventos de *El Niño* (vermelho), de *La Niña* (azul) e neutros (cinza) para o intervalo de estudo (1979-2009) (Tabela 3)

Tabela 3 – Representação dos anos dos fenômenos de *El Niño* (vermelho), de *La Niña* (azul) e neutros (cinza) para o período de estudo (1979-2009).

Anos	El Niño	La Niña	Neutros
1979			
1980			

1981			
1982	Red		
1983	Red		
1984			Grey
1985			Grey
1986	Red		
1987	Red		
1988		Blue	
1989		Blue	
1990			Grey
1991	Red		
1992	Red		
1993	Red		
1994			Grey
1995			Grey
1996			Grey
1997	Red		
1998	Red		
1999		Blue	
2000		Blue	
2001			Grey
2002	Red		
2003	Red		
2004			Grey
2005			Grey
2006	Red		
2007	Red		
2008		Blue	
2009	Red		

Fonte: A autora.

Dessa forma, foi possível identificar os seguintes anos de ocorrência de *El Niño*: 1979-1980; 1982-1983; 1986-1987; 1991-1992; 1992-1993; 1997-1998; 2002-2003; 2006-2007; e 2009. Anos que aconteceram os eventos de *La Niña*: 1988-1989; 1999-2000 e 2008. E anos neutros: 1981; 1984-1985; 1990; 1994-1996; 2001 e 2004-2005.

2.7 Identificação dos Períodos Analisados

Com base nas análises das séries temporais e a partir dos resultados obtidos por TRENBERTH (1997), foi possível selecionar os anos que ocorreram os fenômenos. Desta forma, foram selecionados alguns períodos os quais apresentavam os picos extremos das anomalias da altura significativa de ondas e assim, realizar as análises mensais.

A partir dessas análises, foram escolhidos dois meses (um no verão e outro no inverno) para cada evento, e para tais meses, foram feitas as análises dos campos das variáveis pressão atmosférica ao nível médio do mar, velocidade do vento e altura significativa de ondas.

2.8 Análises das Cartas Sinóticas

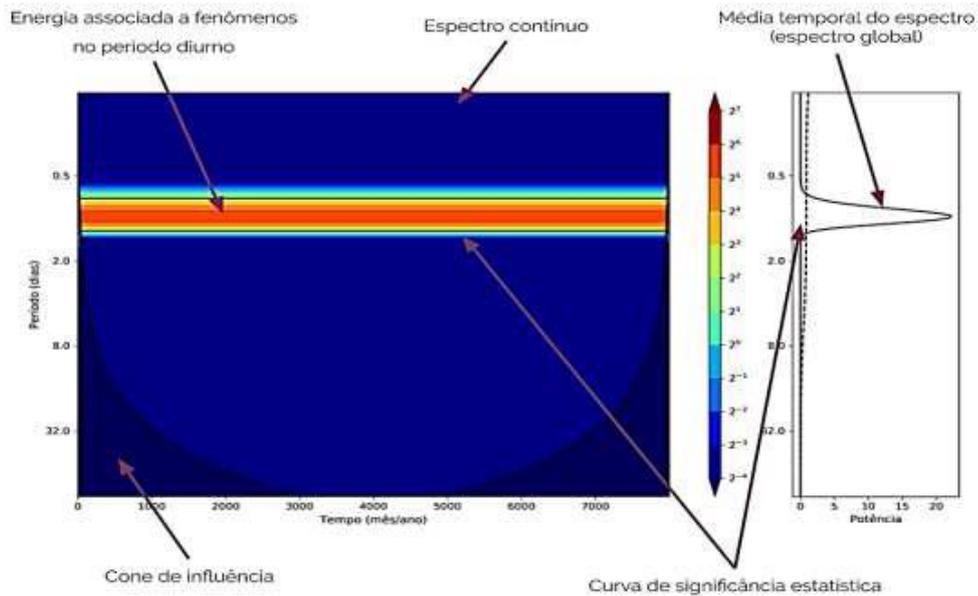
Foram analisadas as cartas sinóticas de superfície marinha do Brasil, para os meses de fevereiro de 2004, julho de 2005, julho de 1997, janeiro de 1998, julho de 1988 e dezembro de 1989. Com a finalidade de identificar os principais sistemas atmosféricos, para uma melhor compreensão das análises integradas dos campos das variáveis pressão atmosférica, velocidade do vento e altura significativa das ondas.

2.9 A Técnica de Ondaletas

Outra técnica utilizada na metodologia do trabalho para identificação de eventos ENSO mais e menos energéticos foi a de análise de ondaletas. A análise de ondaleta possibilita a investigação de sinais não estacionários nos domínios do tempo e da frequência, sendo eficaz na localização de fenômenos que atuem simultaneamente em várias escalas de tempo. Este método apresenta-se como uma alternativa a análise de Fourier, que exhibe limitações para a investigação de fenômenos não-estacionários ou que sofrem variações bruscas no sinal (Farge, 1992). Segundo Weng e Lau (1994) o termo ondaleta refere-se a um conjunto de funções formados de pequenas ondas geradas por dilatações e translações de uma função simples $\psi(t)$, chamada de ondaleta-mãe. Esta função pode dar origem a outras derivadas, as quais são denominadas ondaletas filhas, ou ondaletas. E as ondaletas foram analisadas para identificar os eventos mais energéticos nos períodos analisados.

A visualização gráfica da aplicação da técnica de ondaleta pode ser observada na Figura 19. Na figura estão destacados os espectros contínuo e global e suas respectivas curvas de confiança estatística, e a região hachurada indica o cone de influência (Figura 19).

Figura 19. Visualização gráfica da aplicação da técnica de ondaleta para uma série sintética.



Fonte: (Adaptado de Dragaud, 2021).

4. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentadas as análises integradamente referentes às séries temporais, assim como, dos campos médios mensais e das anomalias para dois meses dos anos neutros (2004-2005), fevereiro de 2004 e julho de 2005, para dois meses do fenômeno do *El Niño* (1997-1998), janeiro de 1998 e julho de 1997, e

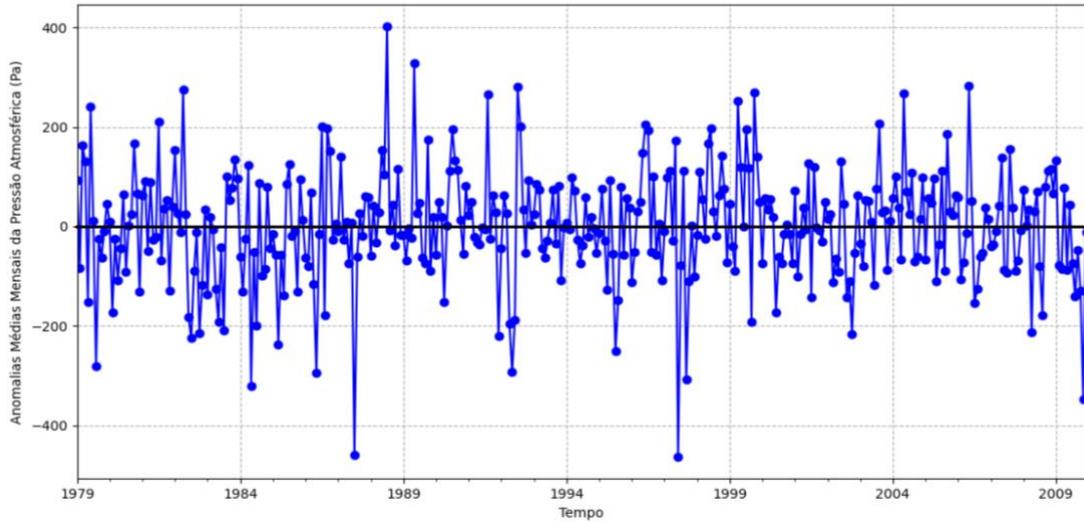
para dois meses do evento de *La Niña* (1988-1989), dezembro de 1989 e julho de 1988.

3.1 Análises das séries temporais das anomalias médias mensais (1979-2009)

Nas figuras (20, 21 e 22) estão representadas as séries temporais das anomalias médias mensais da pressão atmosférica ao nível médio do mar (Pa), velocidade do vento (m/s) e da altura significativa de ondas (m) para a região delimitada pelos paralelos de 20° S e 37° S, e pelos meridianos de 70° W e 40° W para o período de 30 anos (1979-2009). A partir da análise integrada juntamente com os resultados obtidos por TRENBERTH (1997), foi possível reconhecer alguns anos que apresentaram os picos extremos das anomalias da altura significativa de ondas potencialmente associados aos eventos ENSO discriminados anteriormente. Os mesmos são: Anos Neutros (2004-2005) em cinza, Anos de *El Niño* (1997-1998) em vermelho e Anos de *La Niña* (1988-1989) em azul.

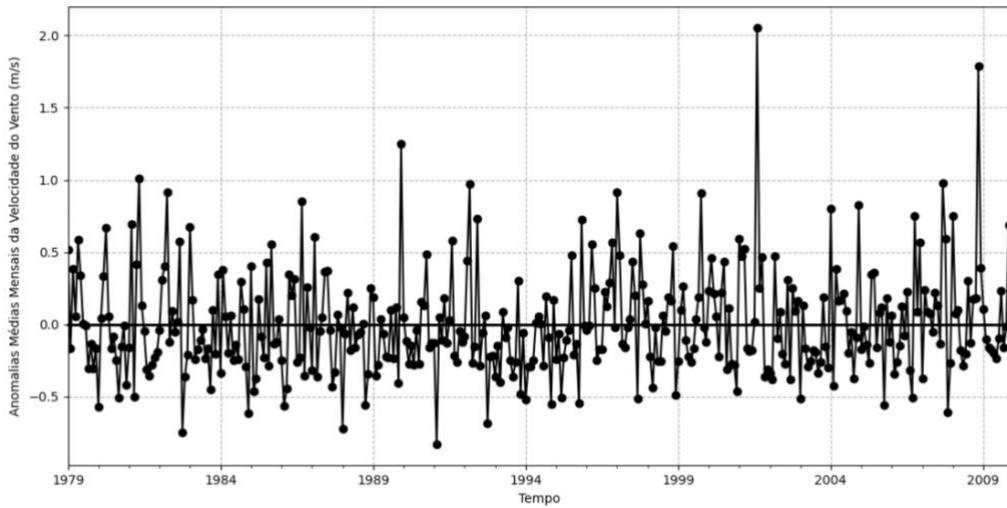
Figura 20 – Anomalias médias mensais da pressão atmosférica ao nível médio do mar (Pa) para o período de (1979-2009). Os círculos azuis representam os anos de *La Niña* (1988-1989), os círculos vermelhos representam os anos de *El Niño* (1997-1998) e em cinza, estão os anos neutros (2004-

2005).



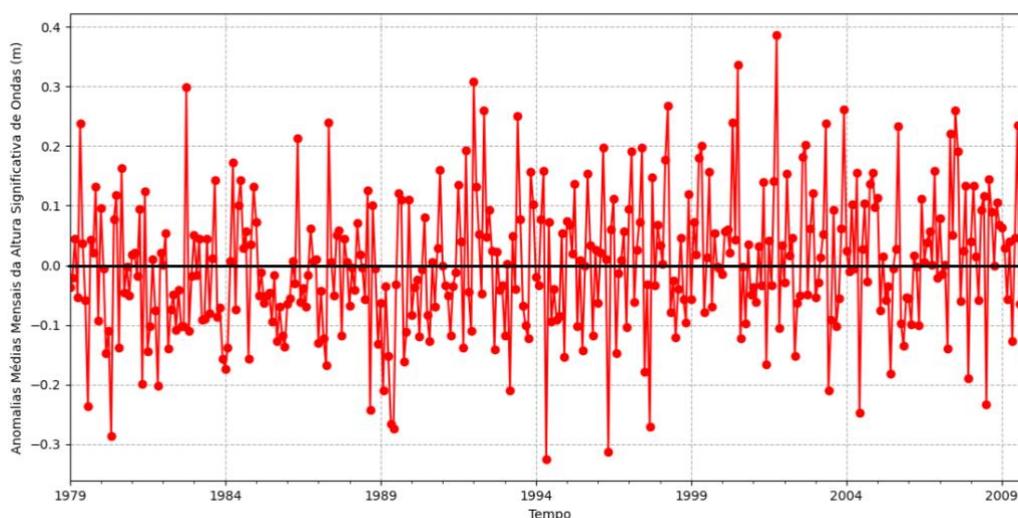
Fonte: A autora.

Figura 21 – Anomalias médias mensais da velocidade do vento (m/s) para o intervalo de (1979-2009). Os círculos azuis representam os anos de La Niña (1988-1989), os círculos vermelhos representam os anos de El Niño (1997-1998) e em cinza, estão os anos neutros (2004-2005).



Fonte: A autora.

Figura 22 – Anomalias médias mensais da altura significativa de ondas (m) para o período de (1979-2009). Os círculos azuis representam os anos de *La Niña* (1988-1989), os círculos vermelhos representam os anos de *El Niño* (1997-1998) e em cinza, estão os anos neutros (2004-2005).



Fonte: A autora.

3.2 Análises das séries temporais dos anos neutros (2004-2005)

Na figura 23, foram observados valores positivos da pressão para os meses de janeiro, março, maio, junho, julho, agosto, novembro e dezembro. Contudo, nos meses de abril, julho, setembro e outubro, foi possível identificar valores abaixo da média climatológica.

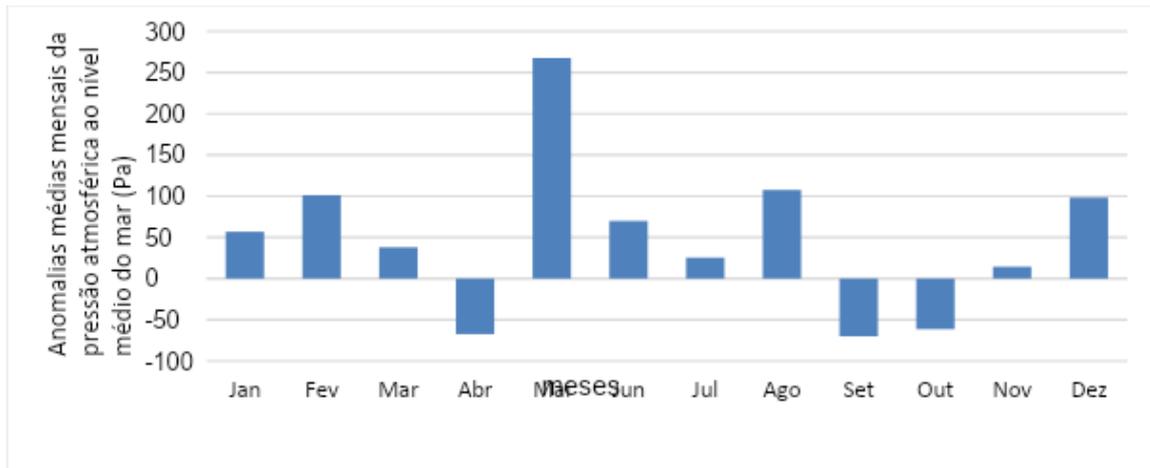
Em relação às anomalias médias da velocidade do vento (Figura 24), para os meses de janeiro, março, abril, maio, junho, julho e dezembro, podemos destacar a presença de valores positivos da velocidade do vento. Em contrapartida, para o intervalo de agosto a novembro observou-se a diminuição da velocidade do vento.

Na figura 24, destacam-se os meses de janeiro, março, maio, julho, agosto, outubro, novembro e dezembro que exibiram anomalias positivas da Hs. Para os meses de abril, junho e setembro foram observados valores abaixo da média climatológica.

Considerando as séries temporais do ano de 2004 (Figuras 23,24 e 25) nota-se que existem anomalias positivas da pressão atmosférica no mês de fevereiro, tal como ventos menos intensos (anomalias negativas), possivelmente relacionados a

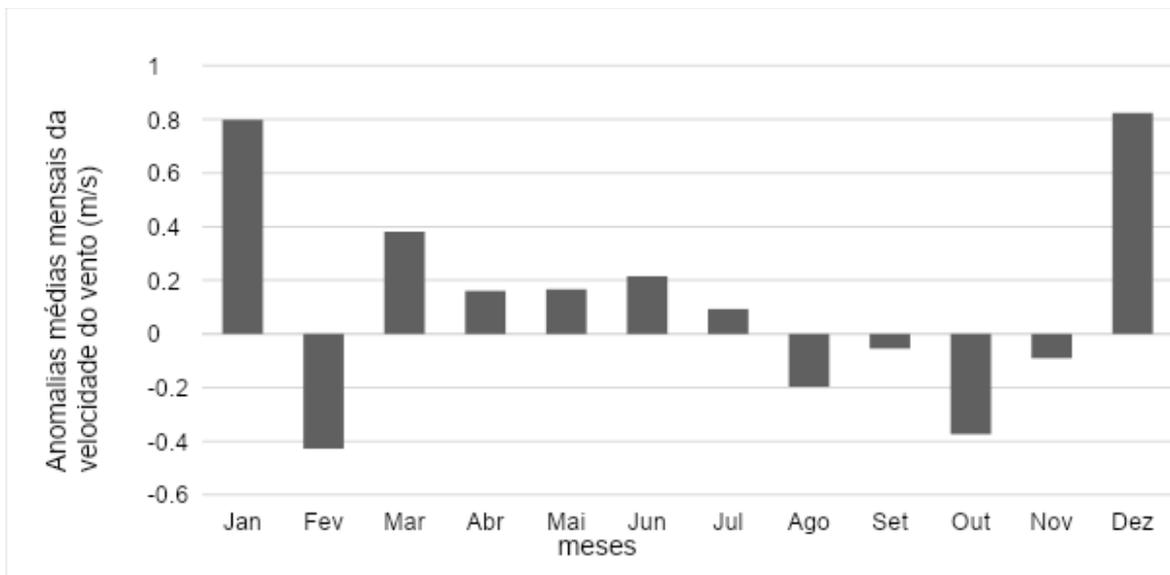
diminuição da formação de ciclones, assim como há presença de anomalias negativas da Hs.

Figura 23 – Anomalias médias mensais da pressão atmosférica ao nível médio do mar (Pa) para o ano de 2004.



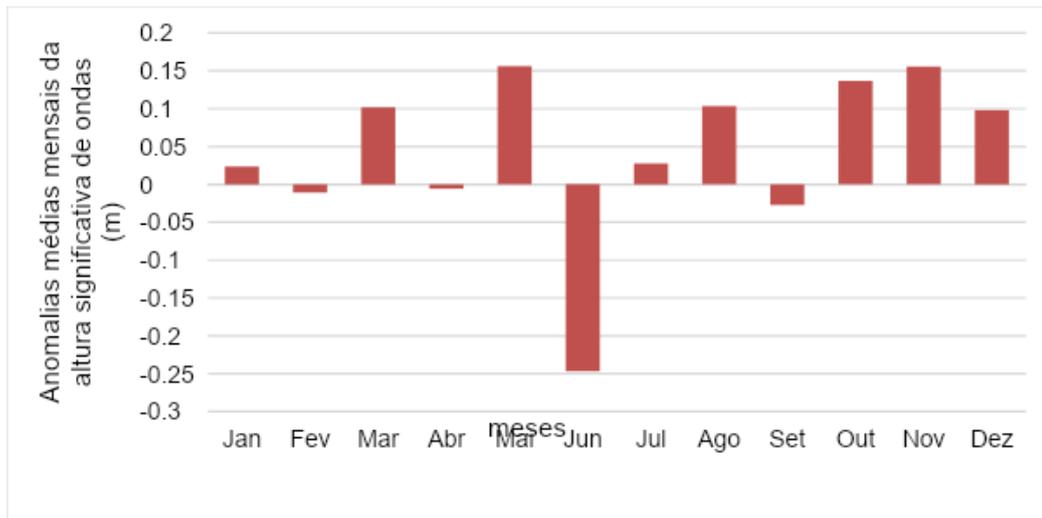
Fonte: A autora.

Figura 24 – Anomalias médias mensais da velocidade do vento (m/s) para o ano de 2004.



Fonte: A autora.

Figura 25 – Anomalias médias mensais da altura significativa de ondas (m) para o ano de 2004.



Fonte: A autora.

Notam-se valores abaixo da média climatológica da pressão, para os meses de janeiro, maio e agosto. Porém, nos meses de setembro e novembro há valores positivos da pressão (Figura 26).

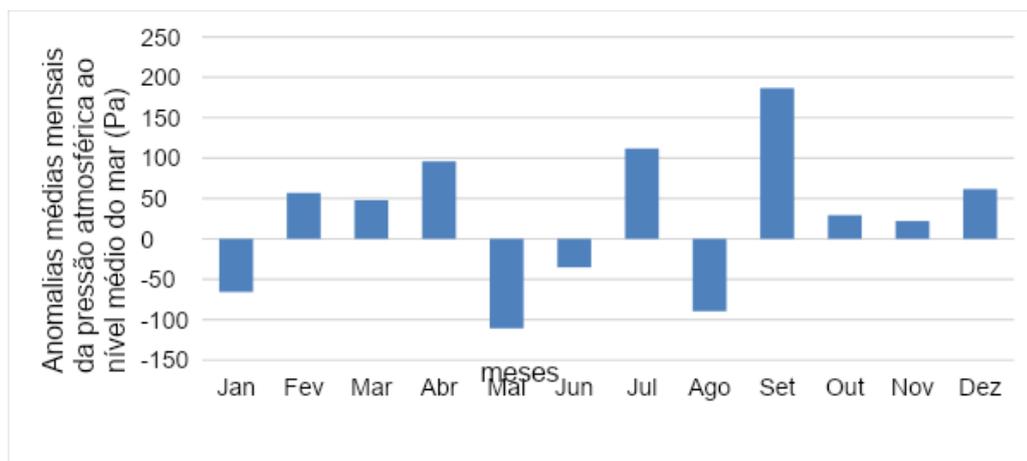
Podemos descartar na figura 27, os meses de maio, junho, agosto, setembro e novembro que apresentavam valores positivos da velocidade do vento. Todavia, para o mês de março há presença de anomalias negativas da velocidade do vento.

A análise da figura 28, mostra que para os meses de janeiro, março e setembro existem anomalias positivas da altura significativa das ondas. Mas, em novembro foi possível observar a presença de anomalias negativas da altura significativa das ondas.

Examinado as séries temporais do ano de 2005 Figuras (26, 27 e 28) pode-se perceber a presença de anomalias positivas da pressão atmosférica nos meses de fevereiro, abril, julho, outubro e dezembro, bem como ventos menos intensos (anomalias negativas), potencialmente relacionados à diminuição da formação dos ciclones e anomalias negativas da Hs.

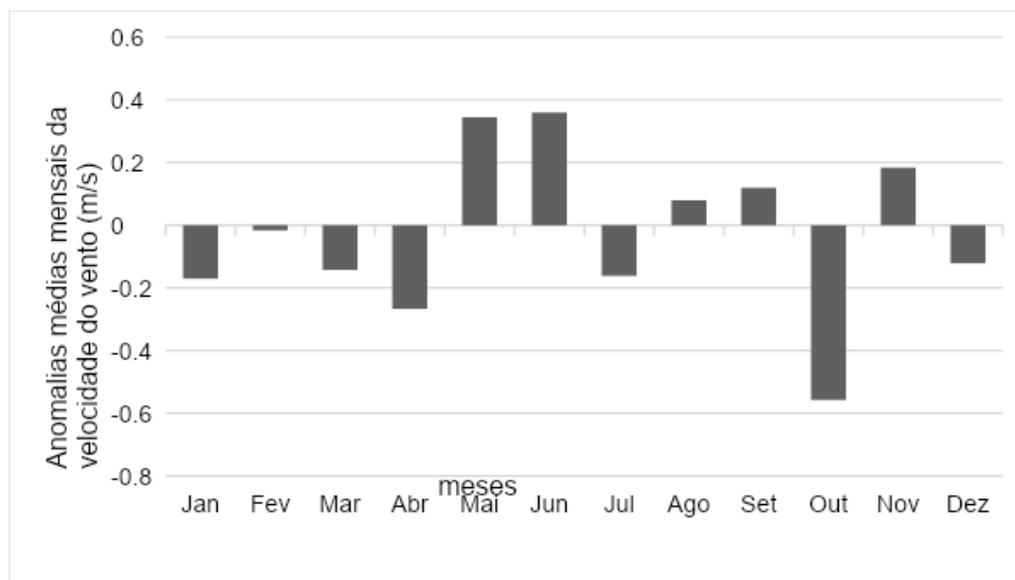
No entanto, para o mês de agosto de 2005 foi possível notar há presença de anomalias negativas da pressão atmosférica, ventos mais fortes (anomalias positivas), provavelmente associados ao aumento da atividade ciclogênica, e como há presença de anomalias positivas da Hs.

Figura 26 – Anomalias médias mensais da pressão atmosférica ao nível médio do mar (Pa) para o ano de 2005.



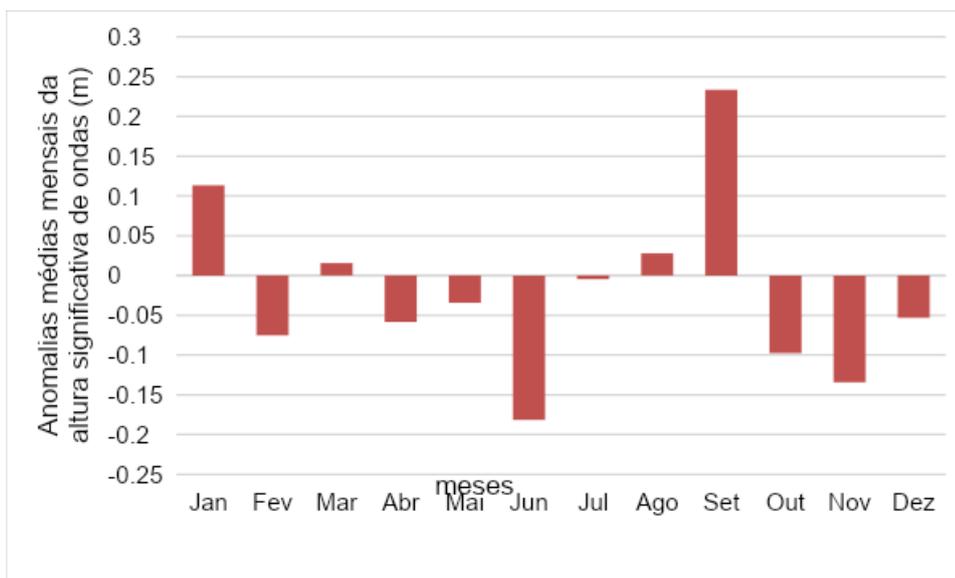
Fonte: A autora.

Figura 27 – Anomalias médias mensais da velocidade do vento (m/s) para o ano de 2005.



Fonte: A autora.

Figura 28 – Anomalias médias mensais da altura significativa de ondas (m) para o ano de 2005.



Fonte: A autora.

3.3 Análises das séries temporais dos anos de *El Niño* (1997-1998)

Na figura 29, nos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro destacamos há presença de valores positivos da pressão. Já nos meses de abril e setembro foram identificados valores abaixo da média climatológica.

Avaliando a figura 30, foi possível perceber a presença de anomalias positivas da velocidade do vento para os meses de fevereiro, agosto e novembro. Já para os meses de abril, maio e setembro foram observados valores negativos da anomalia da velocidade do vento.

Destaque para os meses de fevereiro e maio que foram identificadas há presença de anomalias positivas da altura significativas das ondas. Nos meses de setembro e novembro observam-se anomalias negativas da altura significativa das ondas (Figura 31).

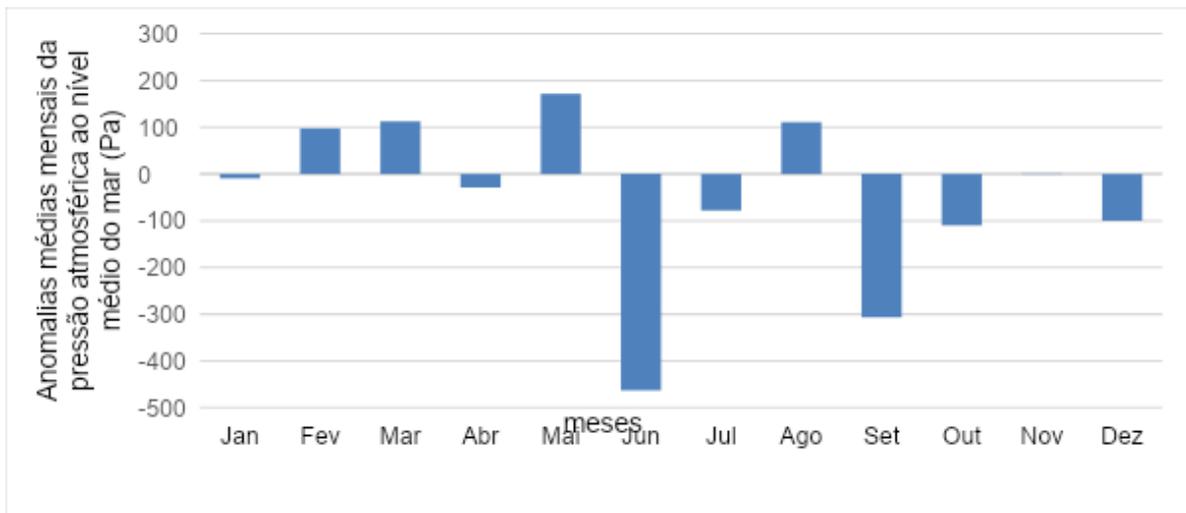
Observando as séries temporais do ano de 1997 (Figuras 29, 30 e 31) pode-se perceber que existem anomalias positivas da pressão atmosférica no mês de março, ventos menos intensos (anomalias negativas), provavelmente associados a diminuição da formação de ciclones, conseqüentemente houve a diminuição da Hs.

Para os meses de janeiro, junho, outubro e dezembro de 1997 foi possível verificar anomalias negativas da pressão atmosférica, ventos mais fortes (anomalias

positivas) potencialmente relacionadas ao aumento da ciclogênese, bem como a presença de anomalias positivas da Hs.

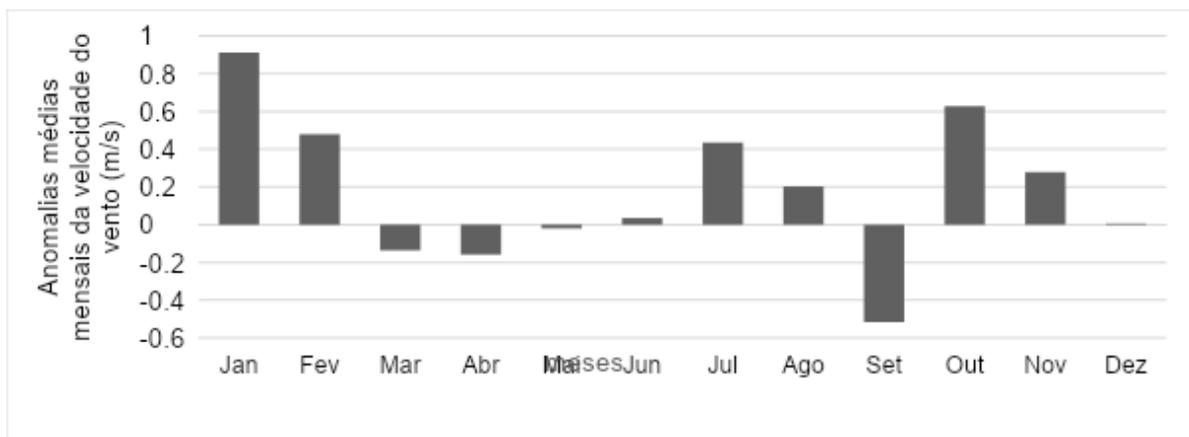
Para o mês de julho de 1997, foi possível perceber anomalias negativas da pressão, anomalias positivas da velocidade do vento, mas constatou-se a diminuição na Hs (anomalias negativas).

Figura 29 – Anomalias médias mensais da pressão atmosférica ao nível médio do mar (Pa) para o ano de 1997.



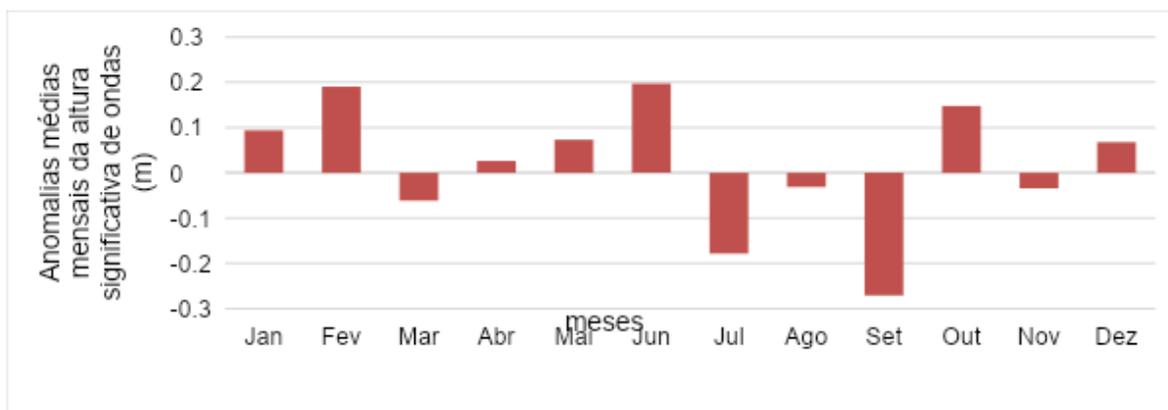
Fonte: A autora.

Figura 30 – Anomalias médias mensais da velocidade do vento (m/s) para o ano de 1997.



Fonte: A autora.

Figura 30 – Anomalias médias mensais da altura significativa de ondas (m) para o ano de 1997.



Fonte: A autora.

Em relação à análise da figura 32 pode-se salientar que existem valores positivos da pressão atmosférica para os meses de fevereiro, março, julho, setembro, outubro e novembro. Porém, para abril e agosto foi identificado o comportamento oposto.

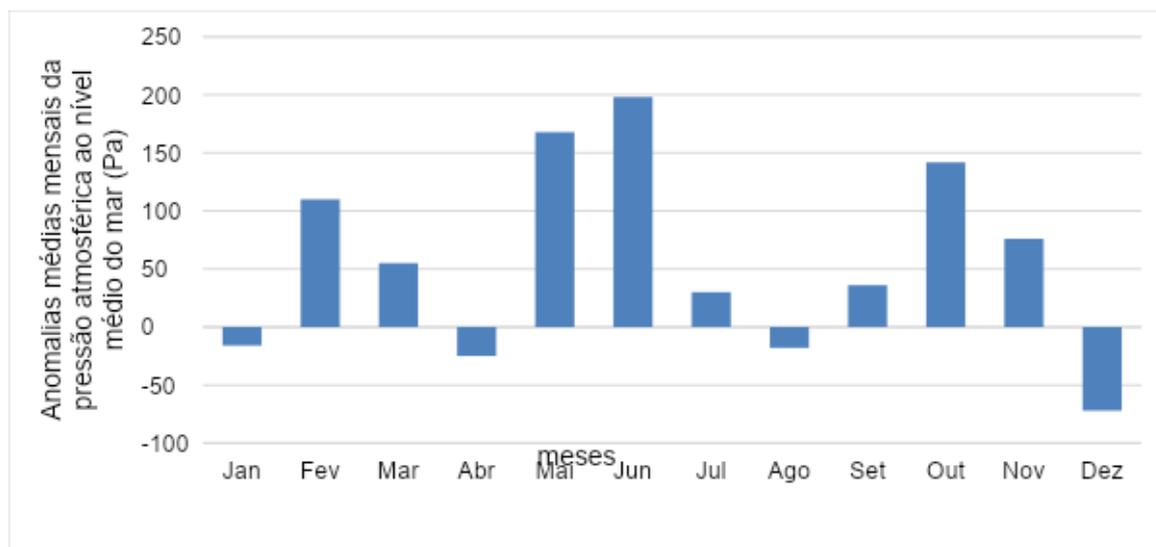
Ao analisar o comportamento da série temporal para o vento, nota-se através da figura 33, para os meses de julho, setembro, outubro e novembro há presença de anomalias positivas da velocidade do vento. Além disso, para os meses de fevereiro, março, abril, agosto e dezembro existem valores abaixo da média.

Avaliando a figura 34 pode-se destacar que nos meses de fevereiro até abril, setembro e dezembro foi possível observar a presença de valores positivos de anomalia de altura significativa de ondas. Por outro lado, nos meses de julho, outubro e novembro há valores negativos.

Analisando as séries temporais de 1998 (Figuras 32, 33 e 34) nos meses de maio e junho pode-se verificar a presença de anomalias positivas da pressão atmosférica, tal como ventos menos intensos (anomalias negativas) possivelmente relacionados a diminuição da ciclogênese e anomalias negativas da Hs.

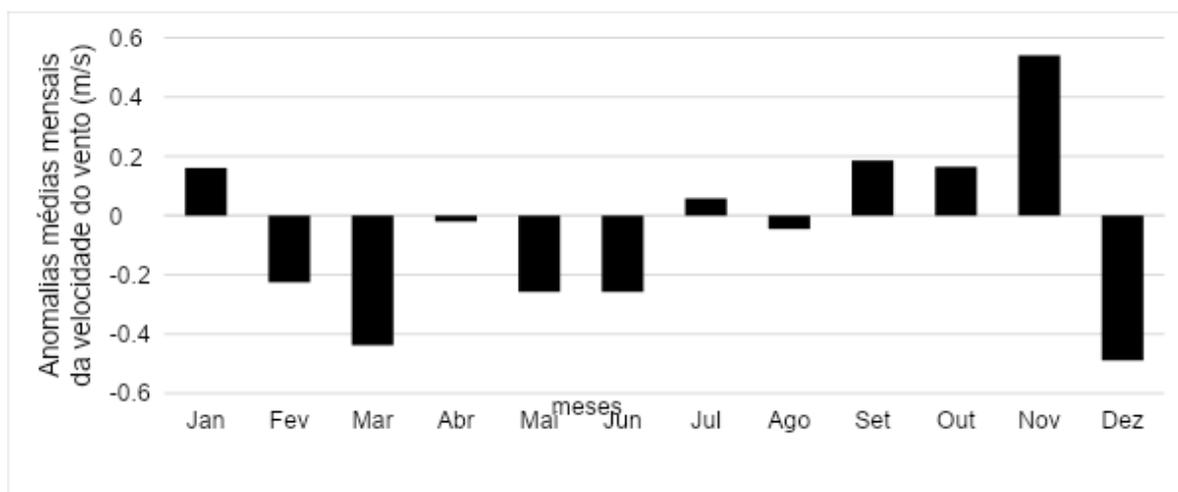
Já em janeiro de 1998 foi possível ver anomalias negativas da pressão, ventos mais fortes (anomalias positivas), potencialmente relacionadas ao aumento da ciclogênese, mas há presença de anomalias negativas da Hs.

Figura 32 – Anomalias médias mensais da pressão atmosférica ao nível médio do mar (Pa) para o ano de 1998.



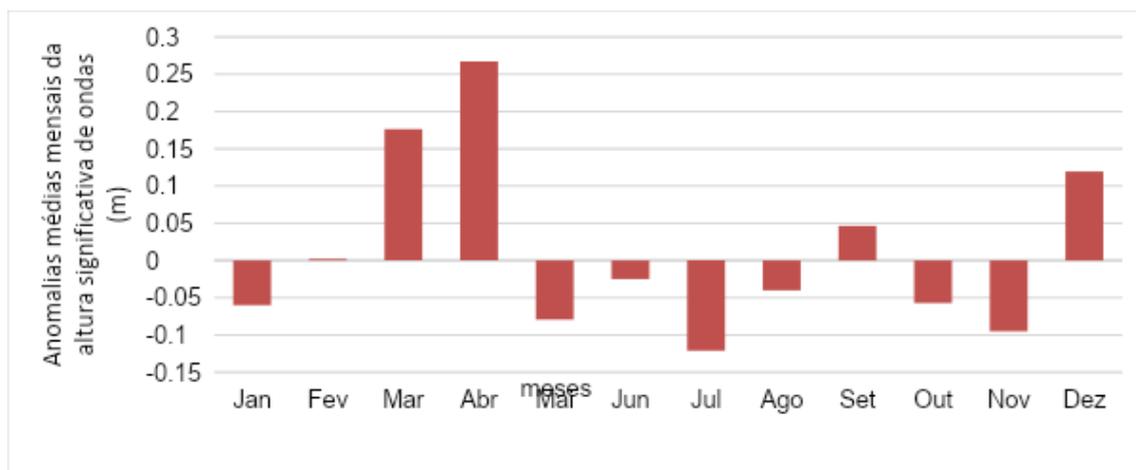
Fonte: A autora

Figura 33 – Anomalias médias mensais da velocidade do vento (m/s) para o ano de 1998.



Fonte: A autora.

Figura 34 – Anomalias médias mensais da altura significativa de ondas (m) para o ano de 1998.



Fonte: A autora.

3.4 Análises das séries temporais dos anos de *La Niña* (1988-1989)

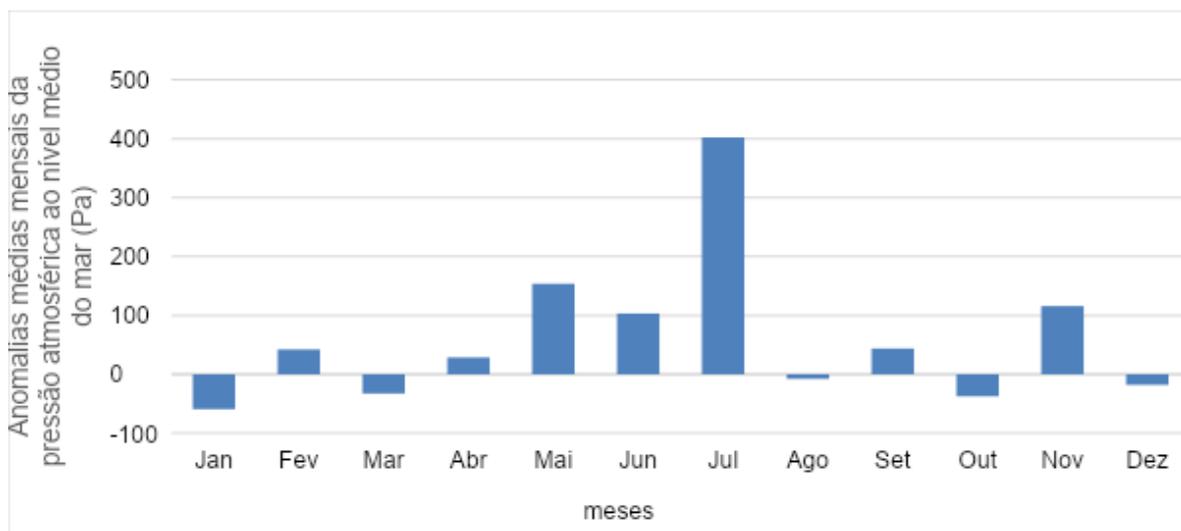
Em relação às anomalias médias mensais da pressão (Figura 35) pode-se perceber nos meses de abril e maio anomalias positivas da pressão. E nos meses de janeiro, março, agosto, outubro e dezembro foi possível identificar valores abaixo da média.

A figura 35 ilustra que existem anomalias positivas da velocidade do vento nos meses de março, maio, setembro e dezembro. Também foi aceitável ver valores negativos para os meses de janeiro, abril, agosto, outubro e novembro.

Considerando figura 37, foi observado nos meses de janeiro, março e dezembro a presença de anomalias negativas da altura significativa das ondas. Entretanto, para os meses de maio e agosto foi constatado valores acima da média.

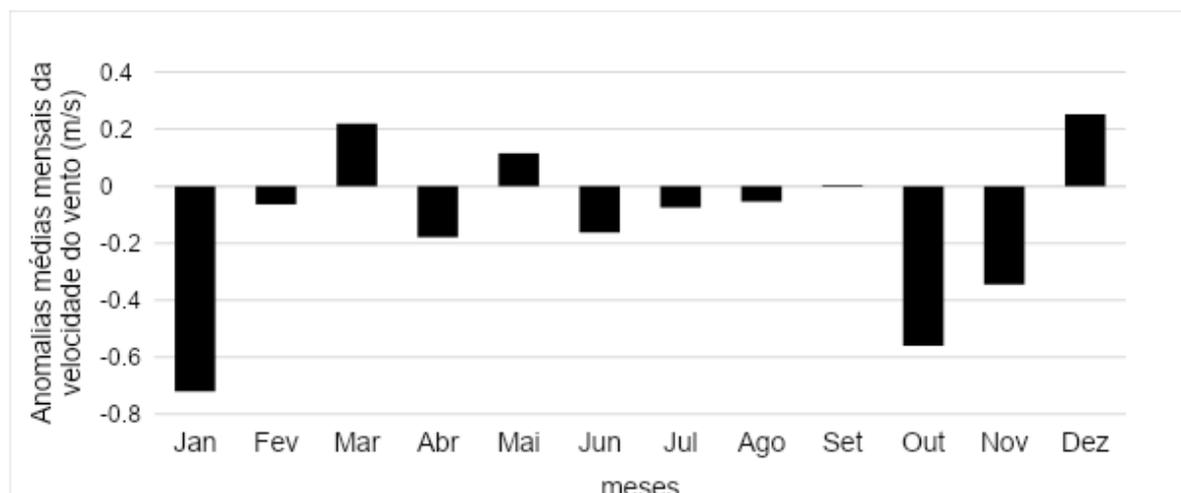
A partir das análises dessas séries (Figuras 35, 36 e 37) percebe-se que para os meses de fevereiro, junho, julho, setembro e novembro de 1988 a presença de anomalias positivas da pressão atmosférica, da mesma maneira que ventos menos intensos (anomalias negativas), potencialmente associados à diminuição na formação dos ciclones, como também anomalias negativas da Hs.

Figura 35 – Anomalias médias mensais da pressão atmosférica ao nível médio do mar (Pa) para o ano de 1988.



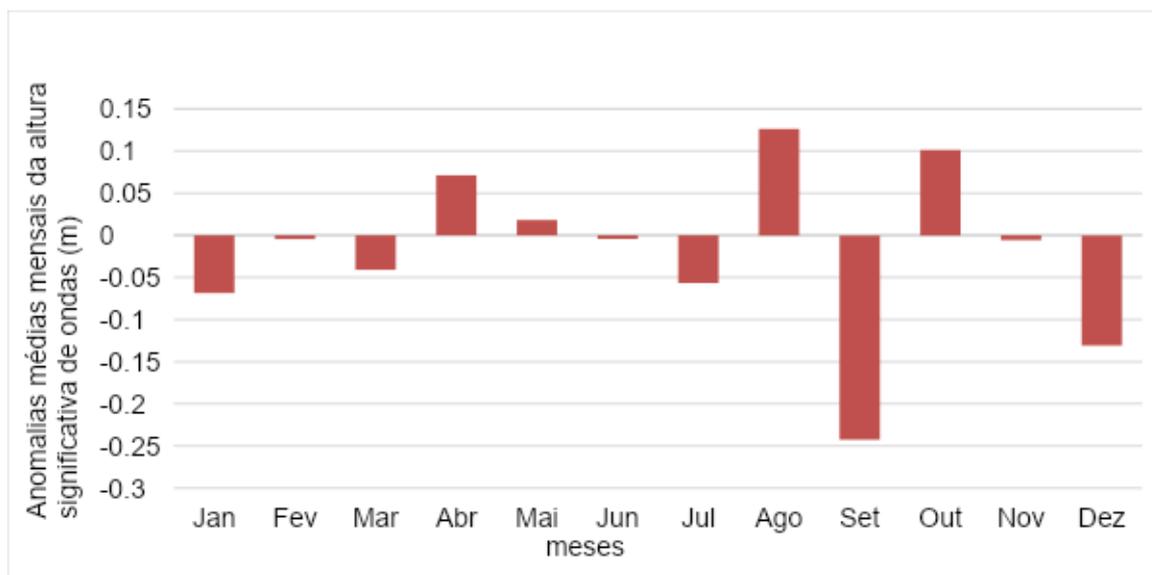
Fonte: A autora.

Figura 36 – Anomalias médias mensais da velocidade do vento (m/s) para o ano de 1988.



Fonte: A autora.

Figura 37 – Anomalias médias mensais da altura significativa de ondas (m) para o ano de 1988.



Fonte: A autora.

Em relação à figura 38 foi constatado nos meses de janeiro até abril, agosto, setembro e novembro valores negativos da pressão.

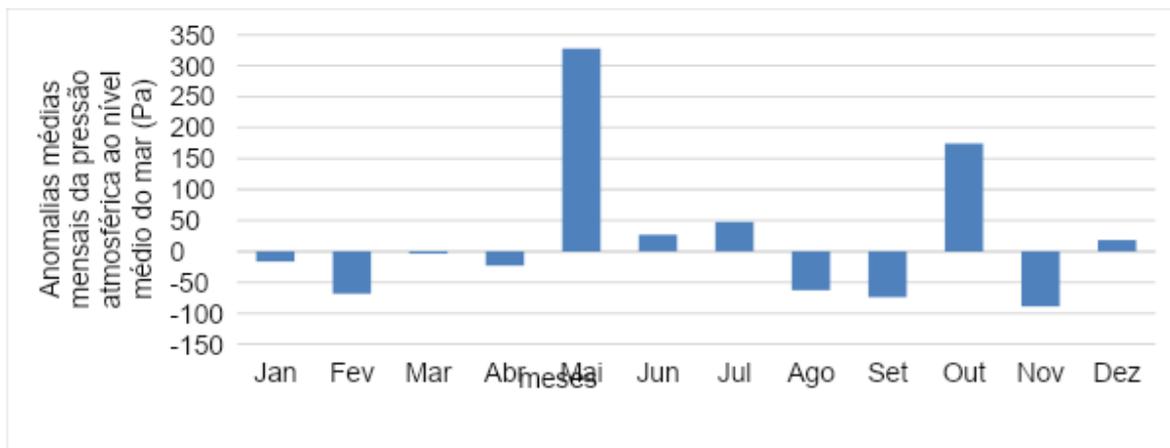
Observando a figura 39 notamos nos meses de janeiro, abril e setembro anomalias positivas da intensidade do vento. Por outro lado, nos meses de fevereiro, março, abril e outubro foi identificado o comportamento oposto.

Ao analisarmos a figura 40 foi visto que nos meses de janeiro até abril, foi possível ver valores abaixo da média. Assim como, para os meses de agosto e setembro notou-se a presença de anomalias positivas da altura significativa das ondas.

Avaliando as séries temporais do ano de 1989 (Figuras 38, 39 e 40) pode-se verificar que existem anomalias positivas da pressão atmosférica nos meses de maio, junho e julho, anomalias negativas da velocidade do vento, possivelmente associadas a diminuição da ciclogêneses, tal como anomalias negativas da Hs.

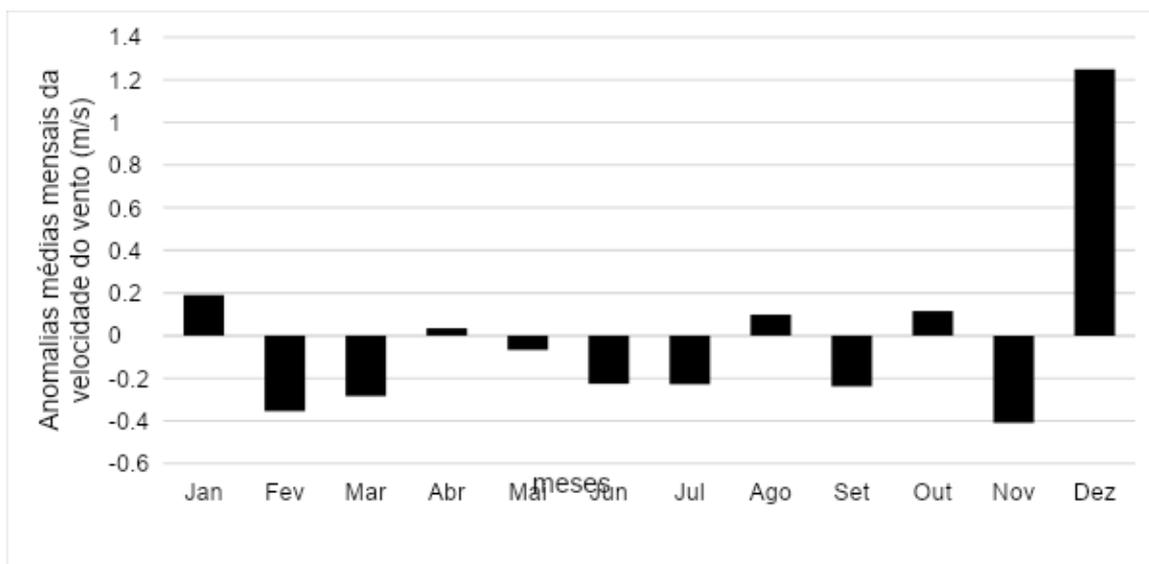
Em dezembro de 1989 foi possível observar anomalias positivas da pressão atmosférica, apesar disso constatou-se o aumento da velocidade do vento, conseqüentemente, ondas com Hs maiores foram observadas (anomalias positivas).

Figura 38 – Anomalias médias mensais da pressão atmosférica ao nível médio do mar (Pa) para o ano de 1989.



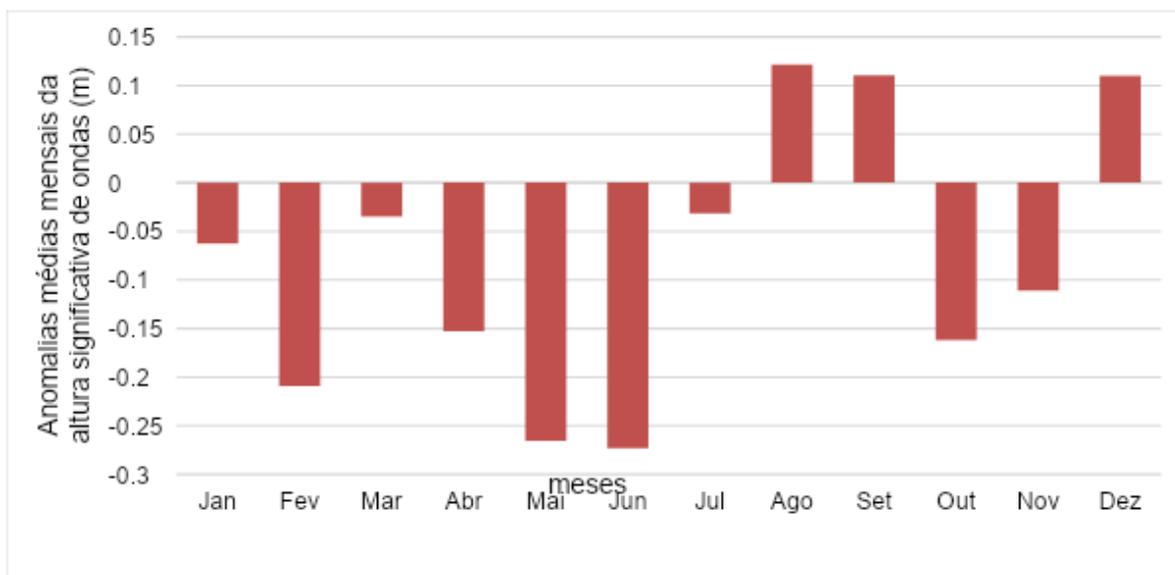
Fonte: A autora.

Figura 39 – Anomalias médias mensais da velocidade do vento (m/s) para o ano de 1989.



Fonte: A autora.

Figura 40 – Anomalias médias mensais da altura significativa de ondas (m) para o ano de 1989.

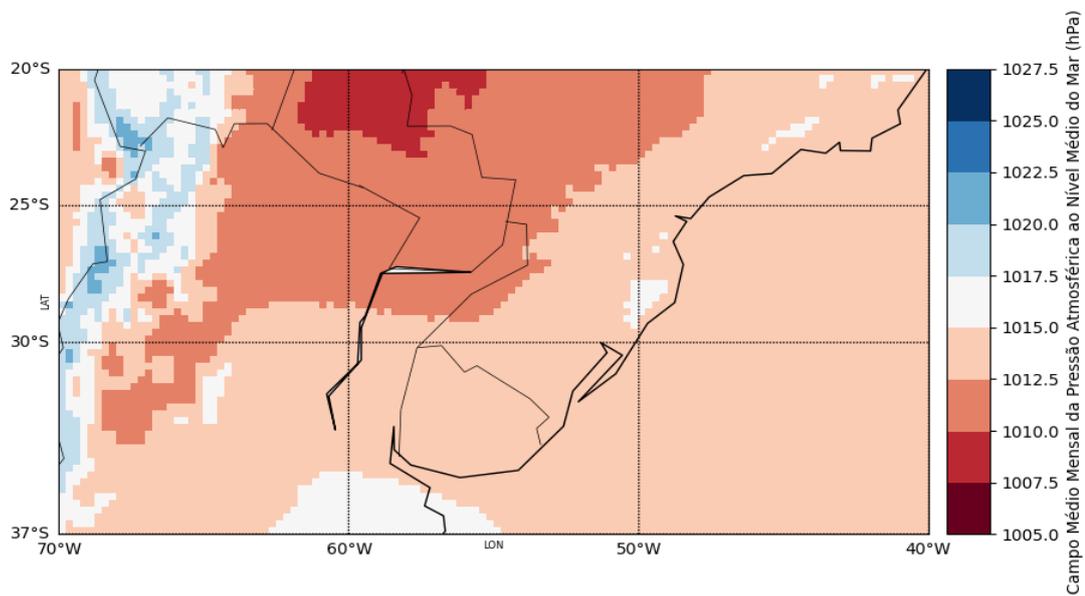


Fonte: A autora.

3.5 Análises dos campos médios da pressão atmosférica para o período neutro de (2004)

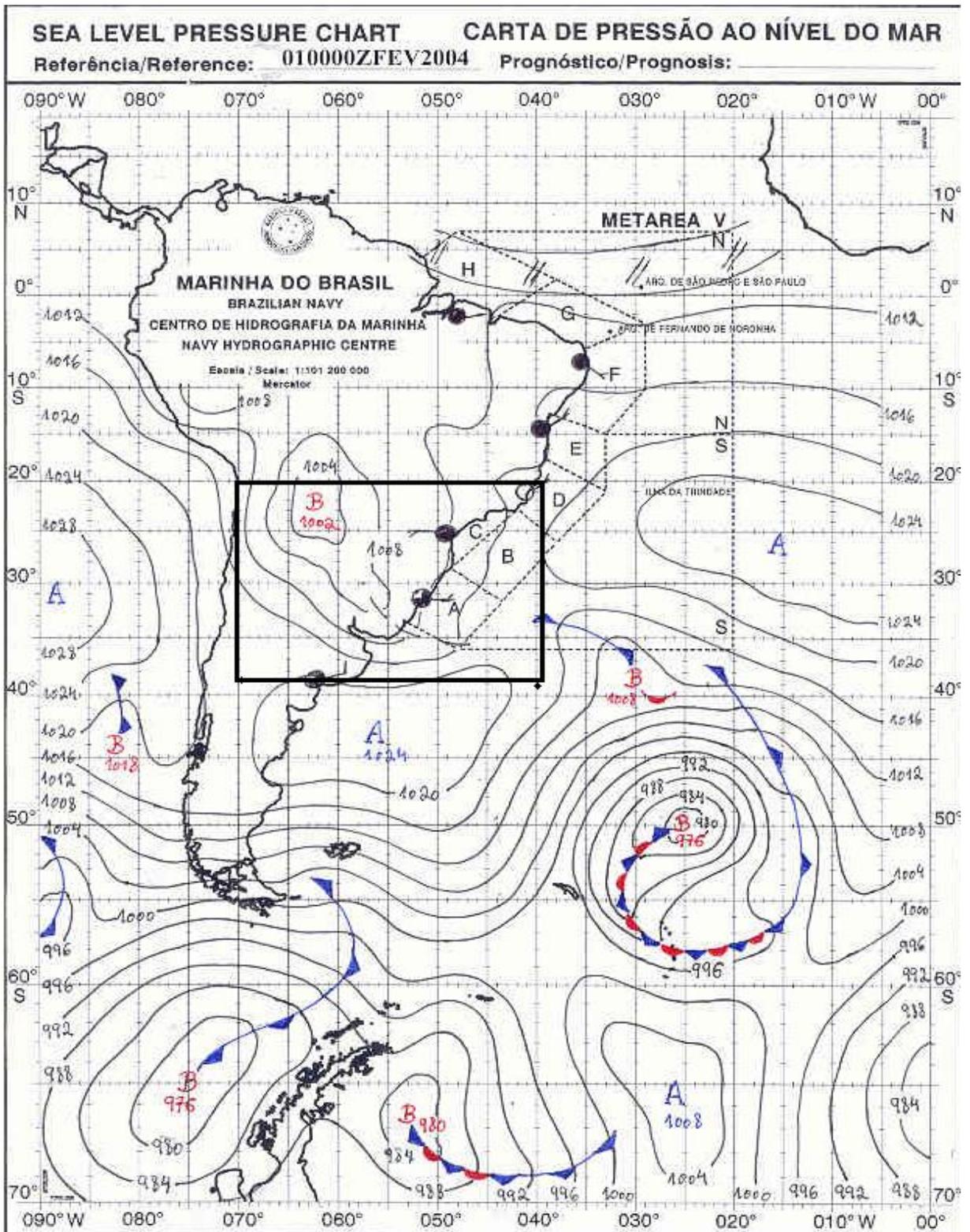
No verão, devido ao maior aquecimento do continente em relação ao mar, há o enfraquecimento do anticiclone semifixo do Atlântico (ASAS). A depressão térmica continental (Baixa do Chaco) e a depressão do Alto Amazonas, encontram-se aprofundadas (NIMER, 1989). A figura 41 apresenta o campo médio mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar para o mês de fevereiro de 2004, resultados dos seguintes sistemas de atuação, sistemas de baixa pressão na região da Argentina, Paraguai e no estado do Mato Grosso do Sul; e na área de interesse a pressão exibiu valores entre 1012hPa e 1015hPa. A carta sinótica representativa para o mês de fevereiro foi a carta sinótica de superfície do dia 01 de fevereiro de 2004 (Figura 42), a análise sinótica revela que existe uma área de baixa pressão cujo centro encontra-se localizado em (22 °S e 64°W), bem como a presença de um cavado.

Figura 41 – Campo médio mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) para o mês de fevereiro de 2004.



Fonte: A autora.

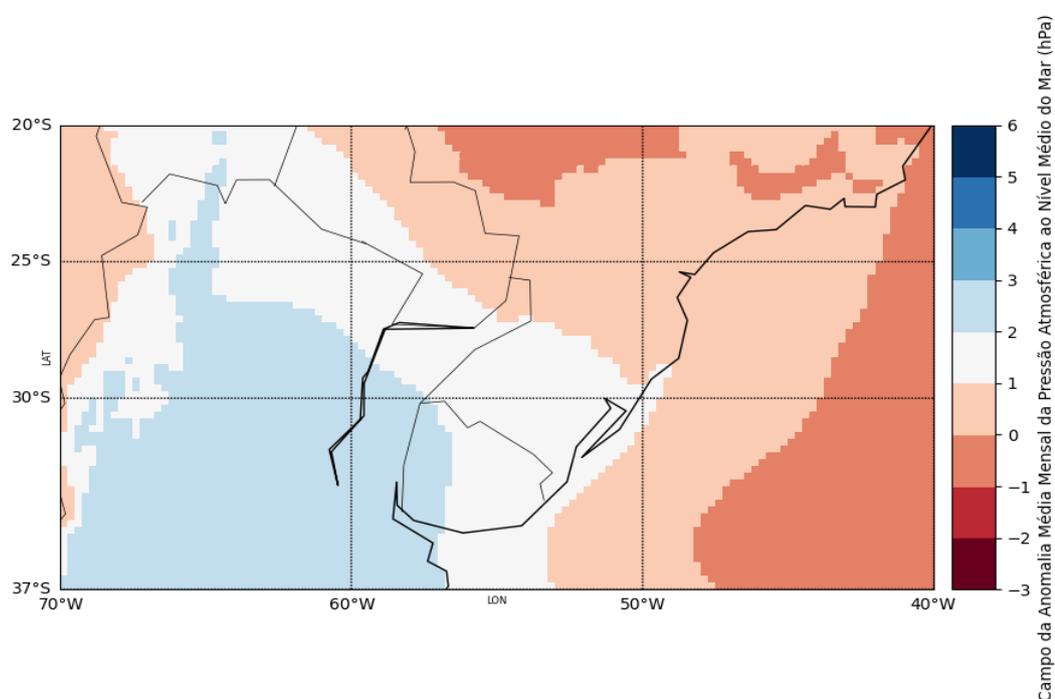
Figura 42 – Carta sinótica da marinha do Brasil do dia 01-02-2004. A área de estudo encontra-se representada pelo retângulo preto.



Fonte: Marinha do Brasil.

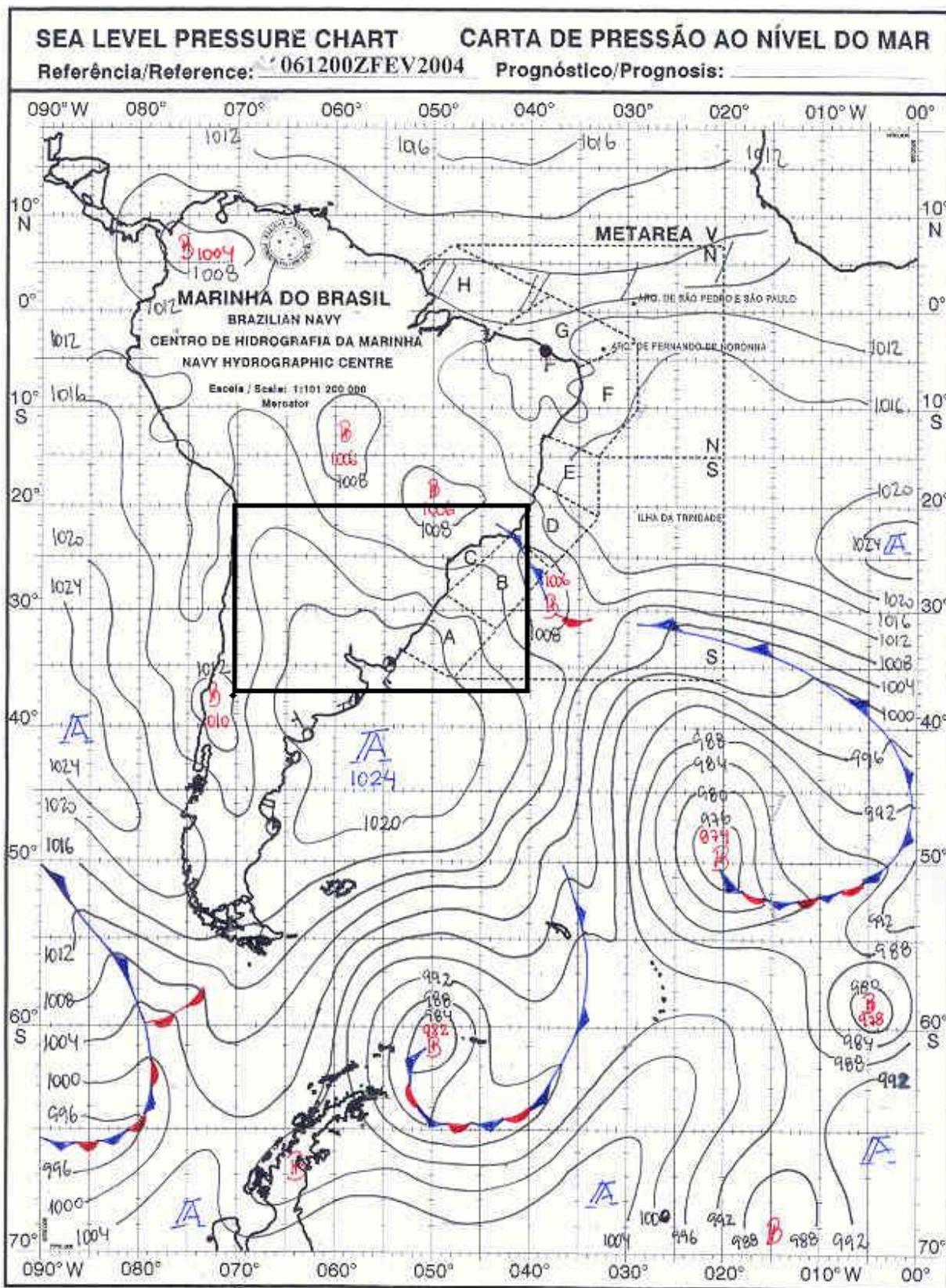
No campo da anomalia média mensal da pressão atmosférica para o mês de fevereiro de 2004 (Figura 43), pode-se perceber o domínio de anomalias positivas da pressão atmosférica. A carta sinótica representativa para o presente mês foi carta sinótica de superfície do dia 06 de fevereiro de 2004 (Figura 44), na qual foi possível identificar a presença de sistemas transientes de alta pressão, com o seu centro em (42 °S e 55 °W).

Figura 43 – Campo da anomalia média mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) para o mês de fevereiro de 2004.



Fonte: A autora.

Figura 44 – Carta sinótica da marinha do Brasil do dia 06-02-2004. A área de estudo encontra-se representada pelo retângulo preto.

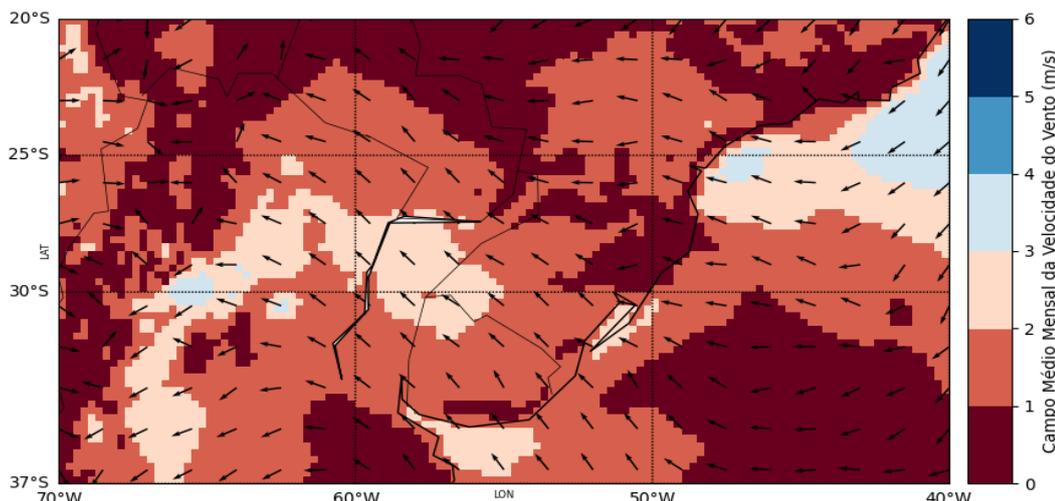


Fonte: Marinha do Brasil

3.6 Análise do campo médio da velocidade do vento para o ano neutro de (2004)

Examinado o campo médio da velocidade do vento a 10 metros da superfície do mar para o mês de fevereiro de 2004 (Figura 45), foi possível constatar ventos de leste/nordeste associados ao ASAS, conforme foi visto na figura 41, com intensidade aproximada de 3,0 m/s, próximo à costa sudeste brasileira. Tal como, ventos de leste/sudeste relacionados aos transientes, com velocidade aproximada de 2,0 m/s, próximo ao litoral sul do Brasil.

Figura 45 – Campo médio mensal da velocidade do vento (m/s) para o mês de fevereiro de 2004.



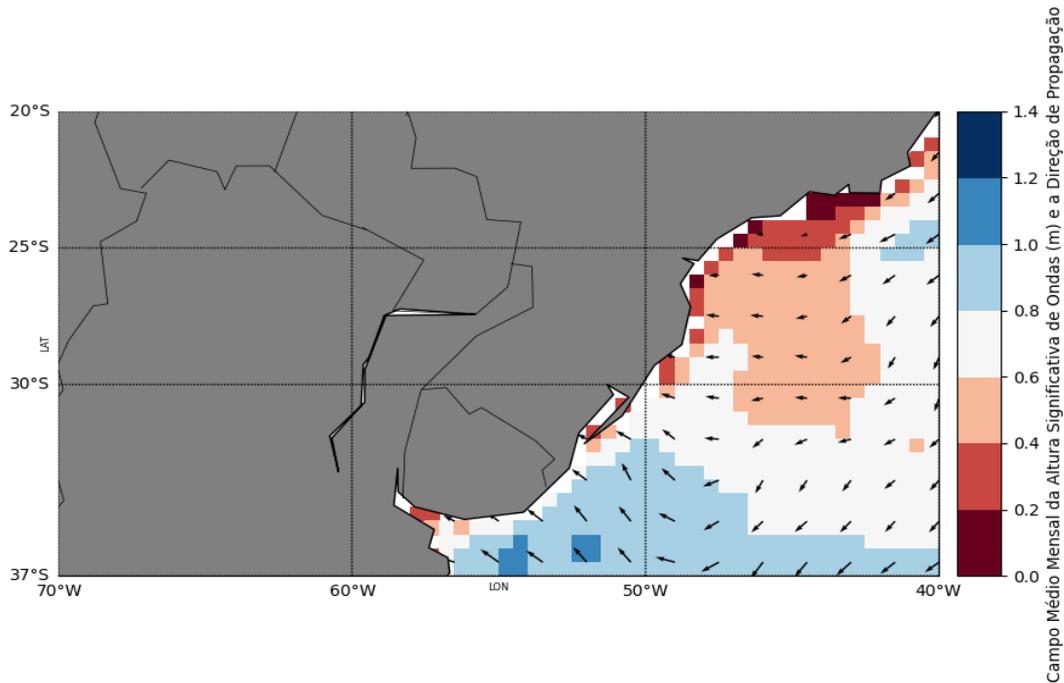
Fonte: A autora.

3.7 Análise do campo médio da altura significativa de ondas para o ano neutro de (2004)

Apesar dos ventos se apresentarem mais intensos no quadrante superior (figura 45), a análise do campo médio mensal da altura significativa de ondas (m) e a direção de propagação (figura 46), mostra que existem ondas com H_s variando entre 0,4 e 0,6 m, com direção de propagação de leste/nordeste na região oceânica do sudeste do Brasil. Como, ondas com H_s com valores entre 0,8 e 1,0 m com direção de propagação de leste/sudeste na área oceânica do sul brasileiro. Essas ondas com

alturas significativas maiores na região oceânica do sul do Brasil, possivelmente ocorreram devido ao tamanho da pista ser maior.

Figura 46 – Campo médio mensal da altura significativa de ondas (m) e direção de propagação para o mês de fevereiro de 2004.



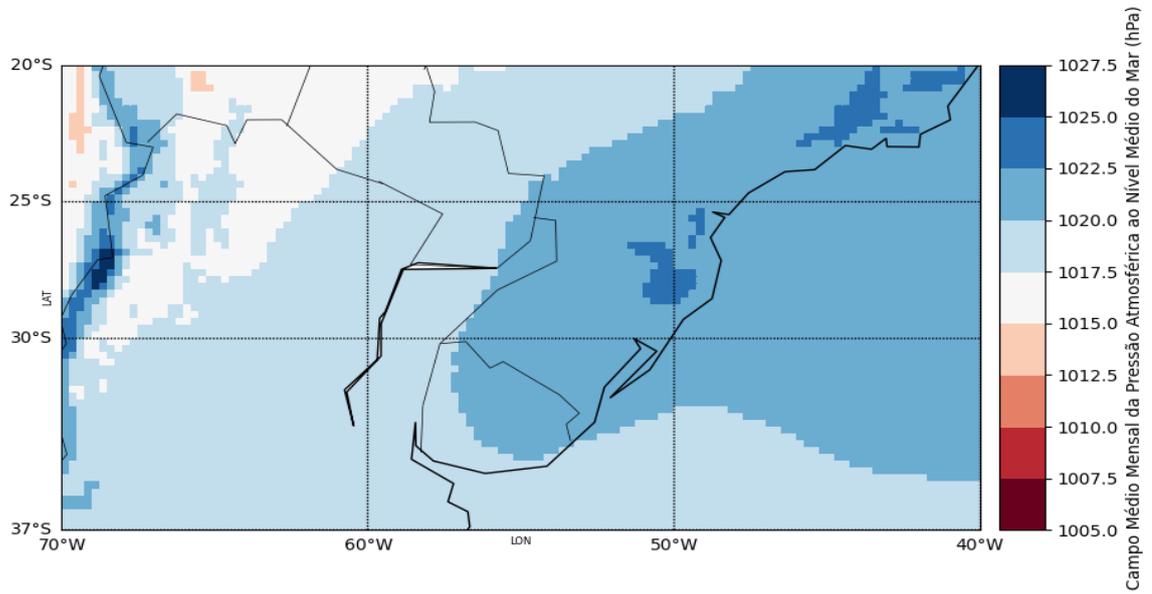
Fonte: A autora.

3.8 Análises dos campos médios da pressão atmosférica para o período neutro de (2005)

No inverno, não há depressão continental o que possibilita que o Anticiclone do Atlântico Sul (ASAS), agora com pressão máxima, avance sobre o continente (NIMER, 1989).

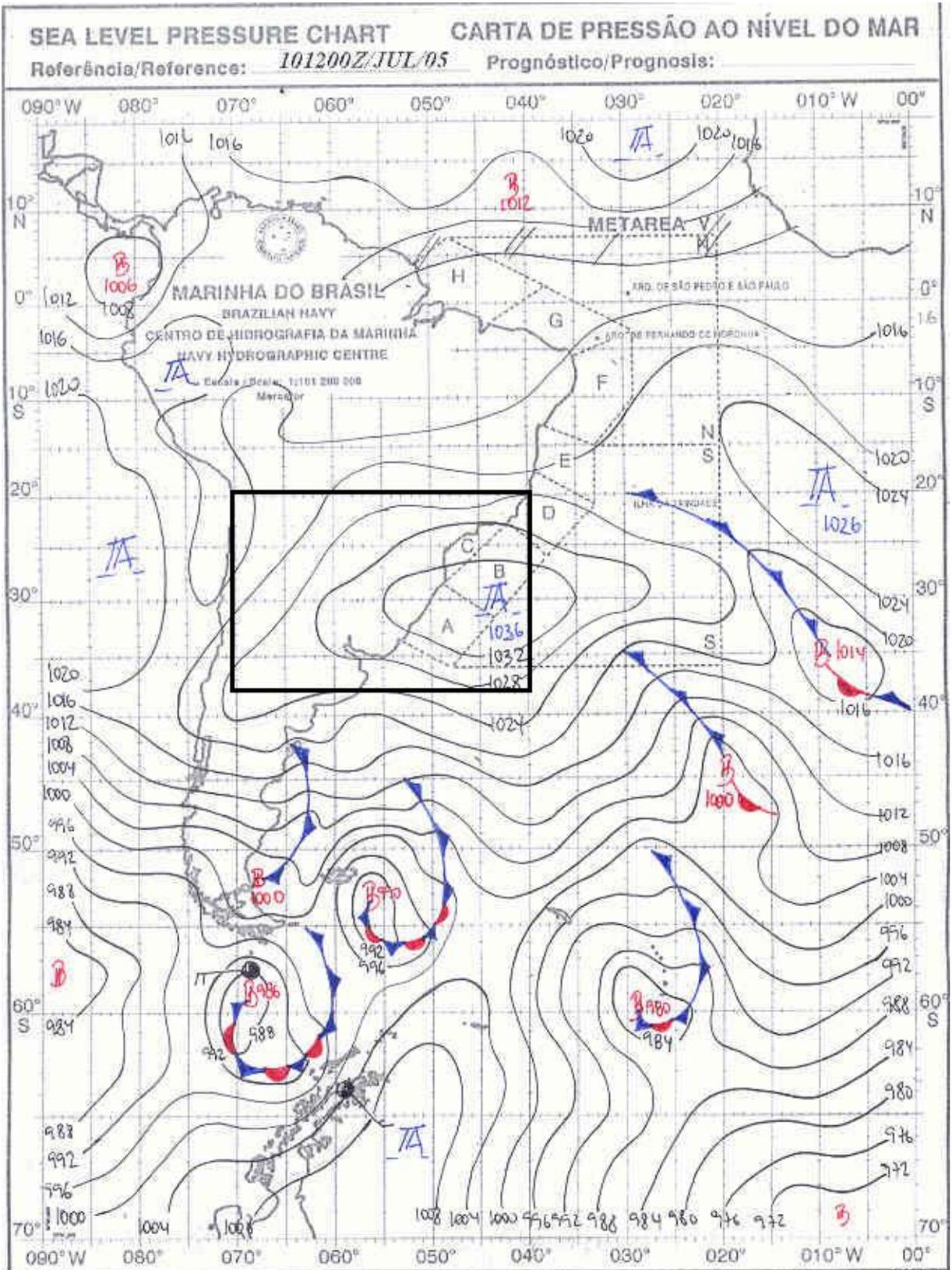
Na sequência será avaliado o campo médio mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar para o mês de julho de 2005 (Figura 47). Foi possível identificar sistemas de alta pressão em todo o domínio. Em relação às cartas sinóticas do mês de julho de 2005, a representativa foi a carta sinótica de superfície do dia 10 de julho de 2005 (Figura 48) na qual pode-se identificar sistemas de alta pressão, associados aos sistemas transientes de alta pressão, assim como ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

Figura 47 – Campo médio mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) para o mês de julho de 2005.



Fonte: A autora.

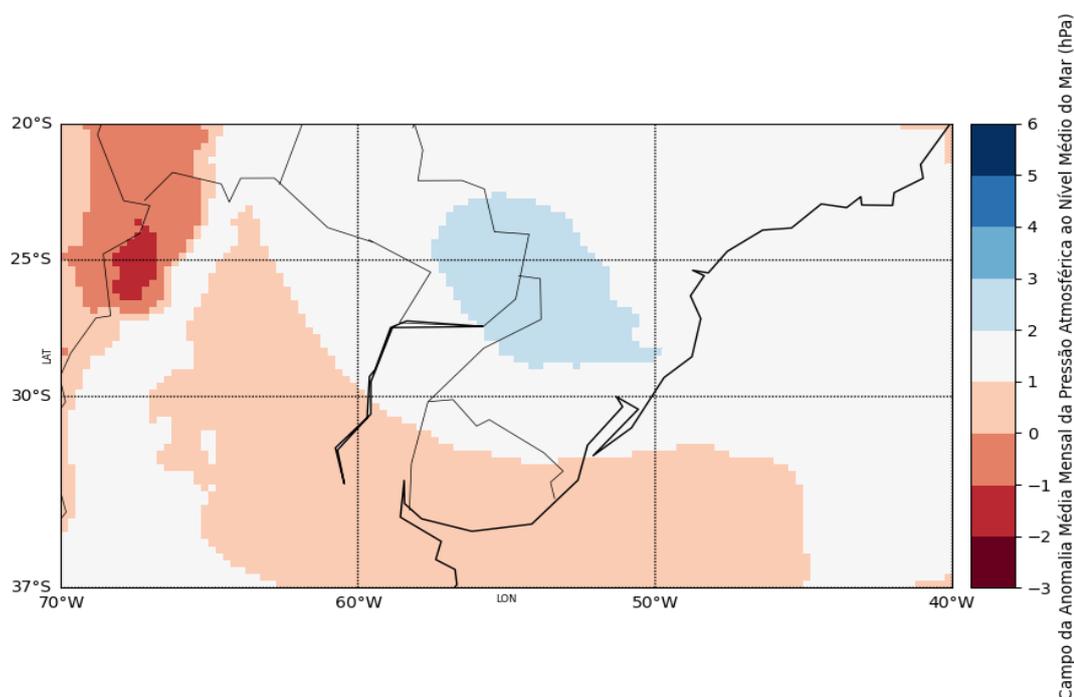
Figura 48 – Carta sinótica da marinha do Brasil do dia 10-07-2005. A área de estudo encontra-se representada pelo retângulo preto.



Fonte: Marinha do Brasil.

Em relação ao campo da anomalia média mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar para o mês de julho de 2005 (Figura 49), foi possível notar o domínio de anomalias positivas da pressão atmosférica. A carta representativa para este período foi a carta sinótica de superfície dia 20 de julho de 2005 (Figura 50). Visto que, foi possível constatar a presença de sistemas transientes de alta pressão, cujo centro encontra-se localizado em (33 °S e 55 °W).

Figura 49 – Campo da anomalia média mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) para o mês de julho de 2005.

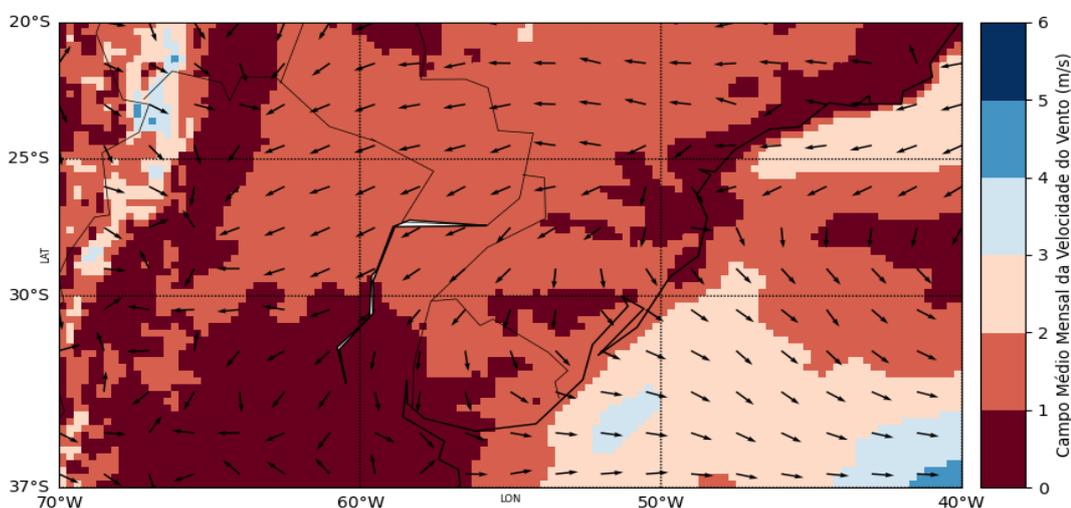


Fonte: A autora.

3.9 Análise do campo médio da velocidade do vento para o ano neutro de (2005)

No campo médio mensal da velocidade do vento para o mês de julho de 2005 (Figura 51), foi constatado na região sudeste ventos de leste/nordeste associados ao ASAS, em torno 2,0 m/s, como pode ser visto na figura 47. Da mesma maneira que, ventos de oeste (~3,0 m/s), junto ao litoral sul brasileiro, ligados a presença dos transientes.

Figura 51 – Campo médio mensal da velocidade do vento (m/s) para o mês de julho de 2005.

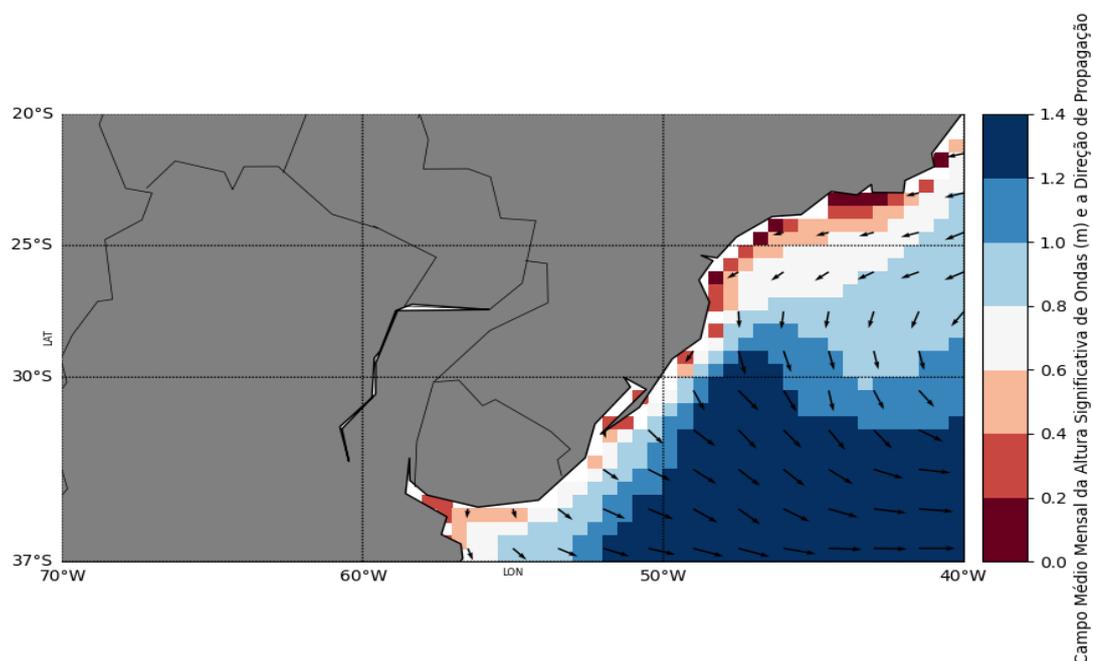


Fonte: A autora.

3.10 Análise do campo médio da altura significativa de ondas para o período neutro (2005)

Analisando a figura 52 foi possível identificar a presença de ondas com H_s variando entre 0,6 e 0,8 m, com direção de propagação de leste/nordeste na área oceânica do sudeste brasileiro. Da mesma forma que ondas mais energéticas, como era esperado, nessa região foram vistos ventos mais intensos (Figura 51), com H_s maior (~1,4 m) com direção de propagação de oeste na região oceânica do sul do Brasil.

Figura 52 – Campo médio mensal da altura significativa de ondas (m) e direção de propagação para o mês de julho de 2005.

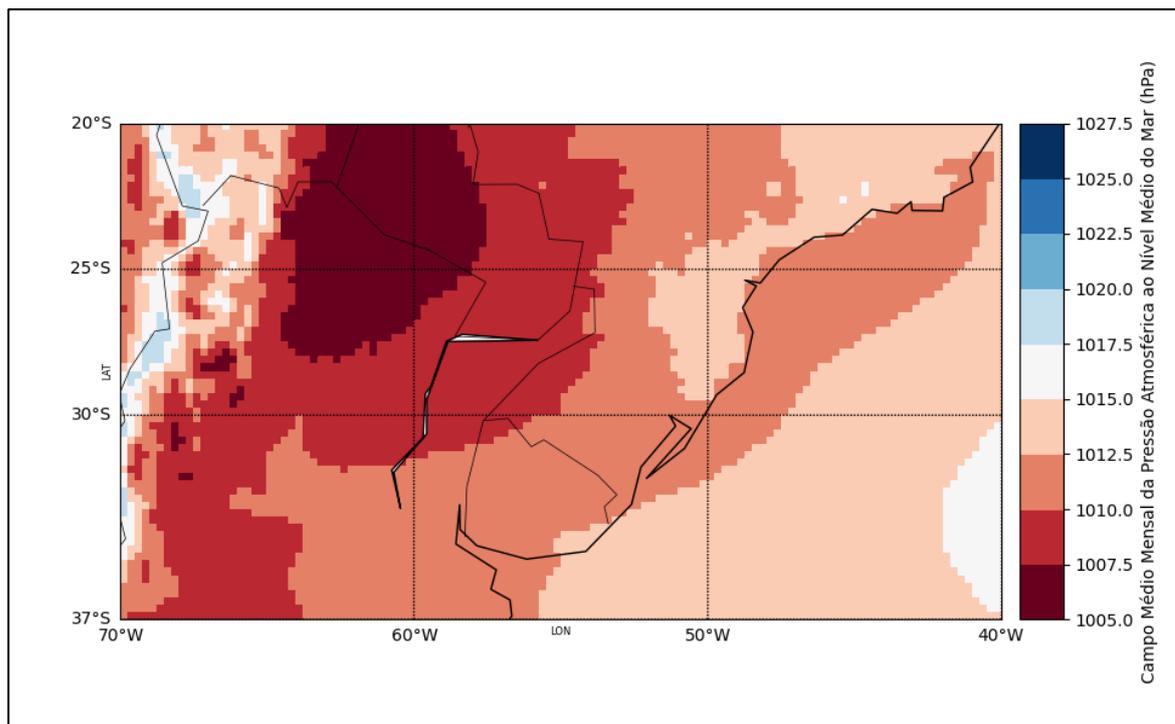


Fonte: A autora.

3.11 Análises dos campos médios da pressão atmosférica para o episódio de *El Niño* (1998)

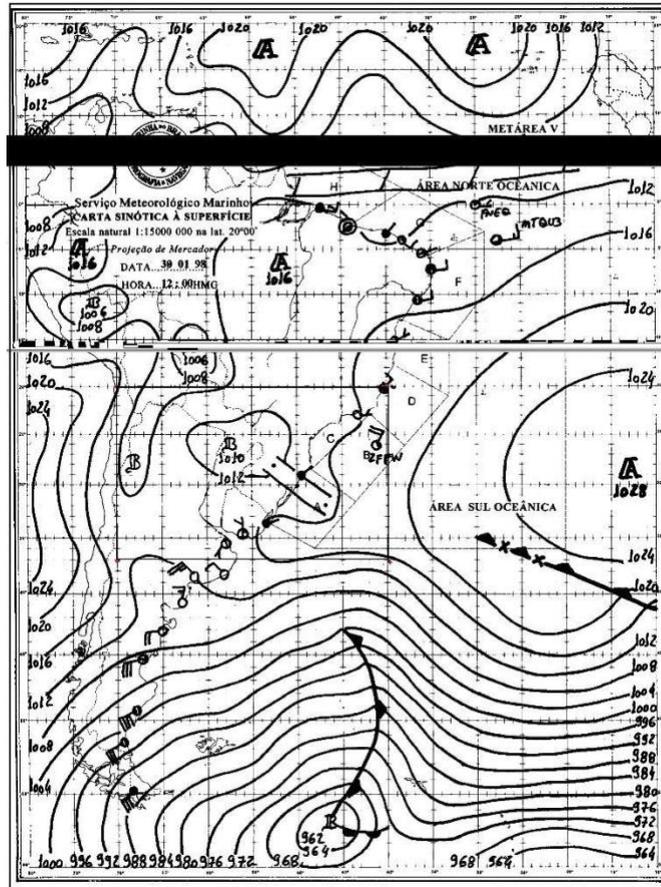
A seguir será analisado o campo médio mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar para o mês janeiro de 1998 (Figura 53). Foi possível perceber sistemas de baixa pressão em quase todo o continente, e na região de interesse, foi observado que a pressão apresentou valores entre 1012hPa e 1015 hPa. A carta sinótica representativa para o mês de janeiro foi a carta sinótica de superfície do dia 30 de janeiro de 1998 (Figura 54), pode-se observar que a região do noroeste da Argentina, Paraguai e o Mato Grosso do Sul estão sob a influência de um sistema de baixa pressão. Pode-se notar também a presença de um cavado no Paraná e no seu litoral.

Figura 53 – Campo médio mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) para o mês de janeiro de 1998.



Fonte: A autora.

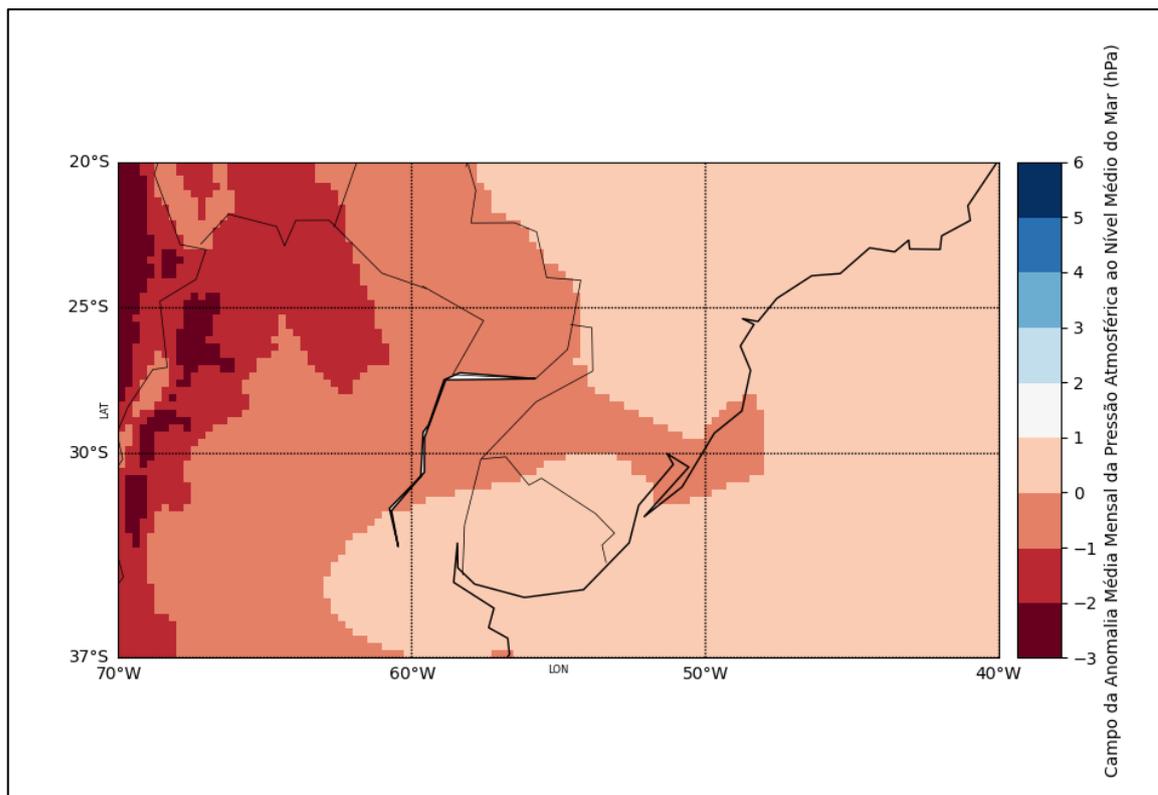
Figura 54 – Carta sinótica da marinha do Brasil do dia 30-01-1998. A área de estudo encontra-se representada pelo retângulo preto.



Fonte: Marinha do Brasil.

A figura 55 apresenta o campo de anomalia média mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar para o mês de janeiro de 1998. Observa-se que durante este período as anomalias negativas da pressão se concentraram sobre a Bolívia, Paraguai, noroeste da Argentina e sobre o estado de Santa Catarina. Nota-se também que na região de interesse os valores da pressão atmosférica estão próximos aos valores mensais. A carta sinótica característica para esse período foi a carta sinótica de superfície do dia 14 de janeiro de 1998 (Figura 56). Percebe-se que o Paraguai e a Argentina encontram-se sob a influência de um sistema de baixa pressão, bem com um cavado avançando sobre o Uruguai.

Figura 55 – Campo da anomalia média mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) para o mês de janeiro de 1998.

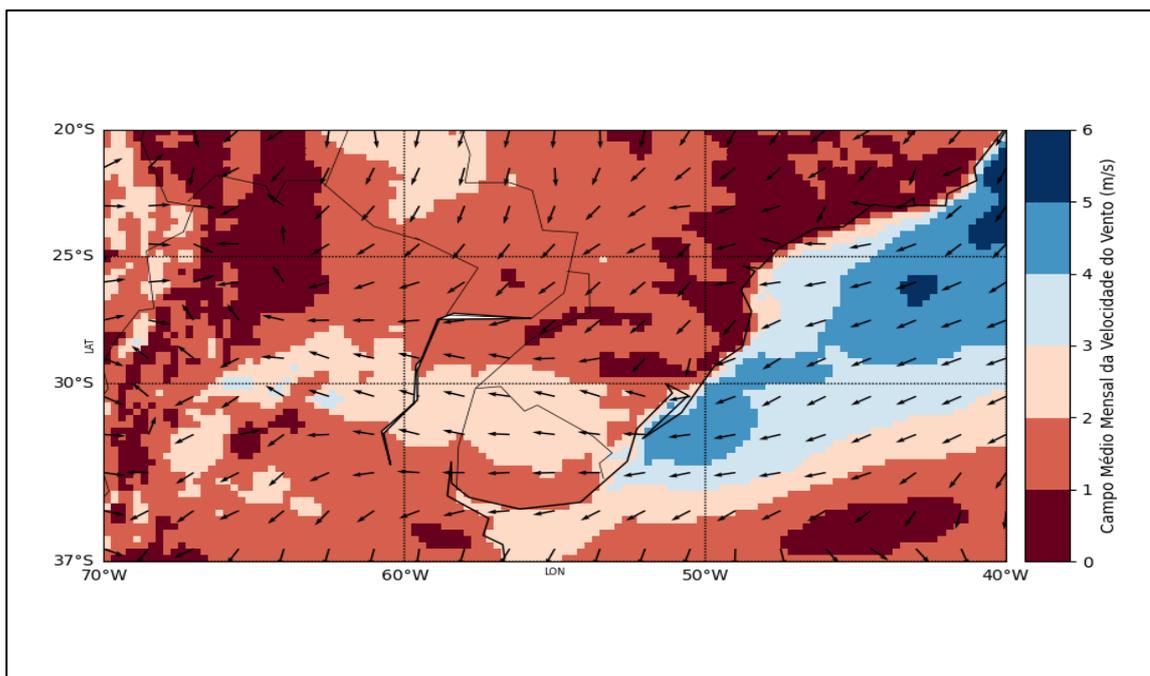


Fonte: A autora.

3.12 Análise do campo médio da velocidade do vento para o fenômeno de *El Niño* (1998)

No campo médio mensal da velocidade do vento para o mês de janeiro de 1998 (Figura 57), observaram-se ventos de leste/nordeste relacionados ao ASAS, tal como foi visto na figura 53, com velocidade ($\sim 4,0$ m/s) junto ao litoral sudeste brasileiro. Próximo à costa sul do Brasil foi visto ventos de nordeste associados aos transientes, com intensidade em torno de 5,0 m/s.

Figura 57 – Campo médio mensal da velocidade do vento (m/s) para o mês de janeiro de 1998.

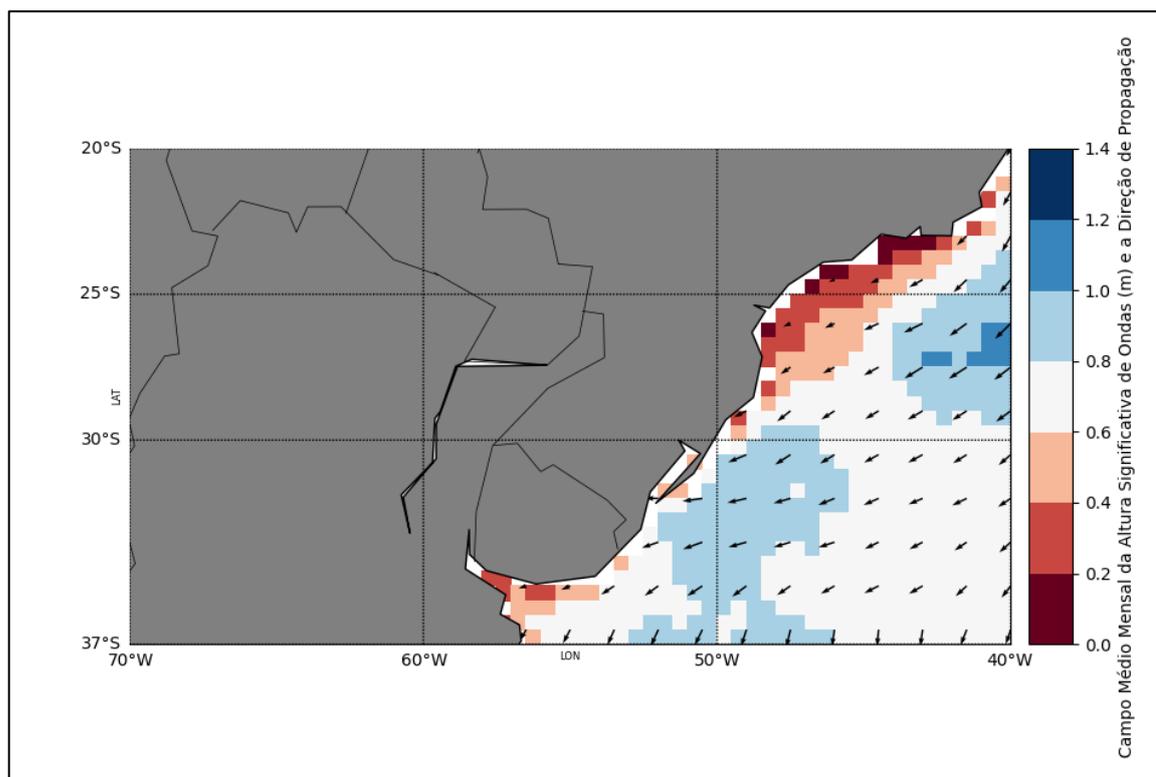


Fonte: A autora.

3.13 Análise do campo médio da altura significativa de ondas para o evento de *El Niño* (1998)

Assim como foi visto no quadrante superior ventos de leste/nordeste associados ao ASAS em torno de 4,0 m/s (Figura 57), foi possível perceber no campo médio da altura significativa de ondas (m) e a direção da propagação para o mês de janeiro de 1998 (Figura 58) ondas com H_s em torno de 0,6 m e direção de propagação de leste/nordeste. Na região oceânica do sul brasileiro foram identificadas ondas com H_s maiores de até 1,0 m, cuja direção de propagação é de nordeste.

Figura 58 – Campo médio mensal da altura significativa de ondas (m) e direção de propagação para o mês de janeiro de 1998.

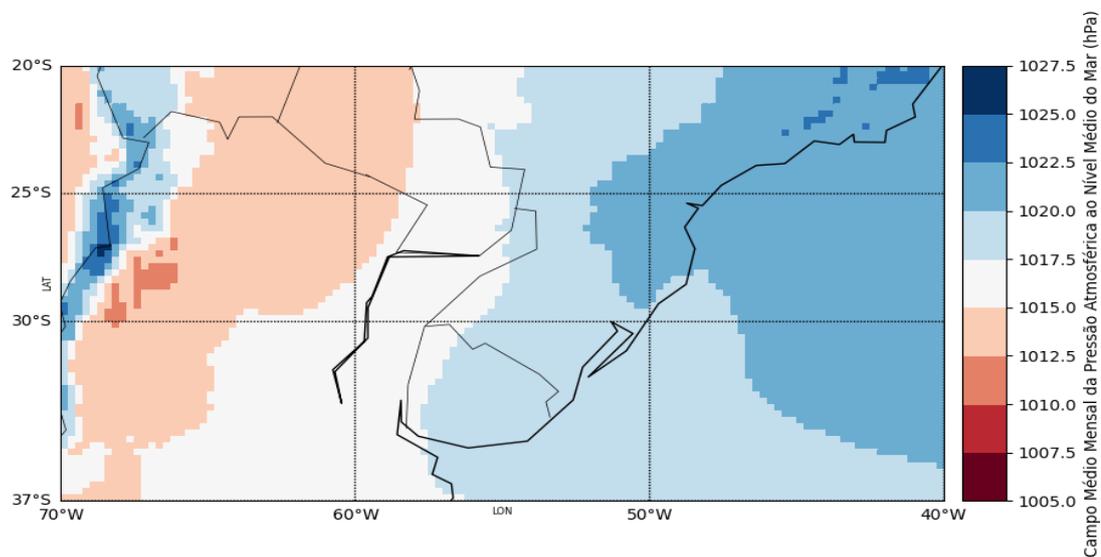


Fonte: A autora.

3.14 Análises dos campos médios da pressão atmosférica para o episódio de *El Niño* (1997)

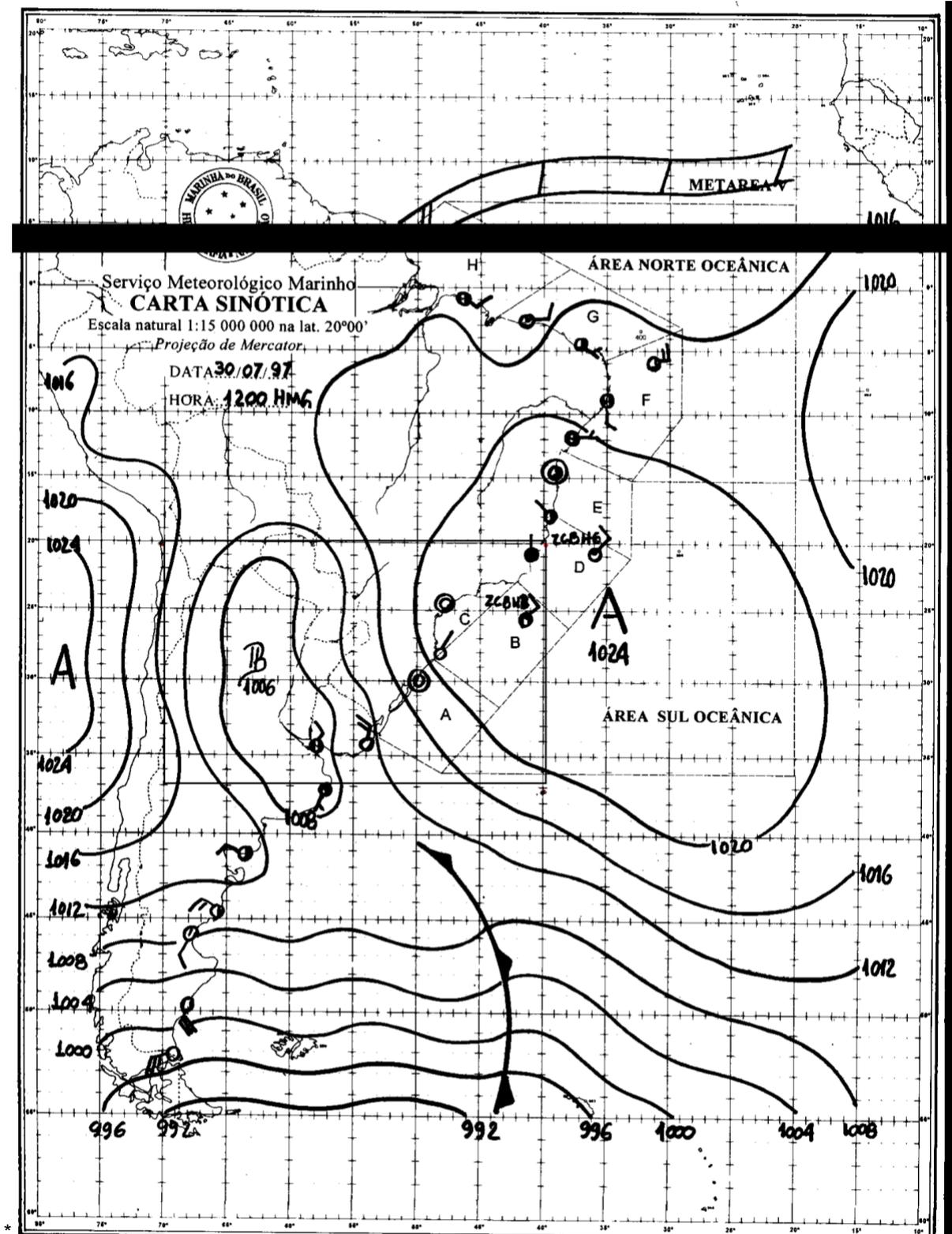
Na figura 59 está representado o campo médio mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar para o mês de julho de 1997, pode-se observar sistemas de alta pressão com valores em torno de 1020 hPa e 1022hPa. A carta sinótica representativa para este período foi a carta sinótica de superfície do dia 30 de julho de 1997 (Figura 60), já que foi possível a constatar a presença do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), com o centro localizado em (25 °S e 35 °W).

Figura 59 – Campo médio mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) para o mês de julho de 1997.



Fonte: A autora.

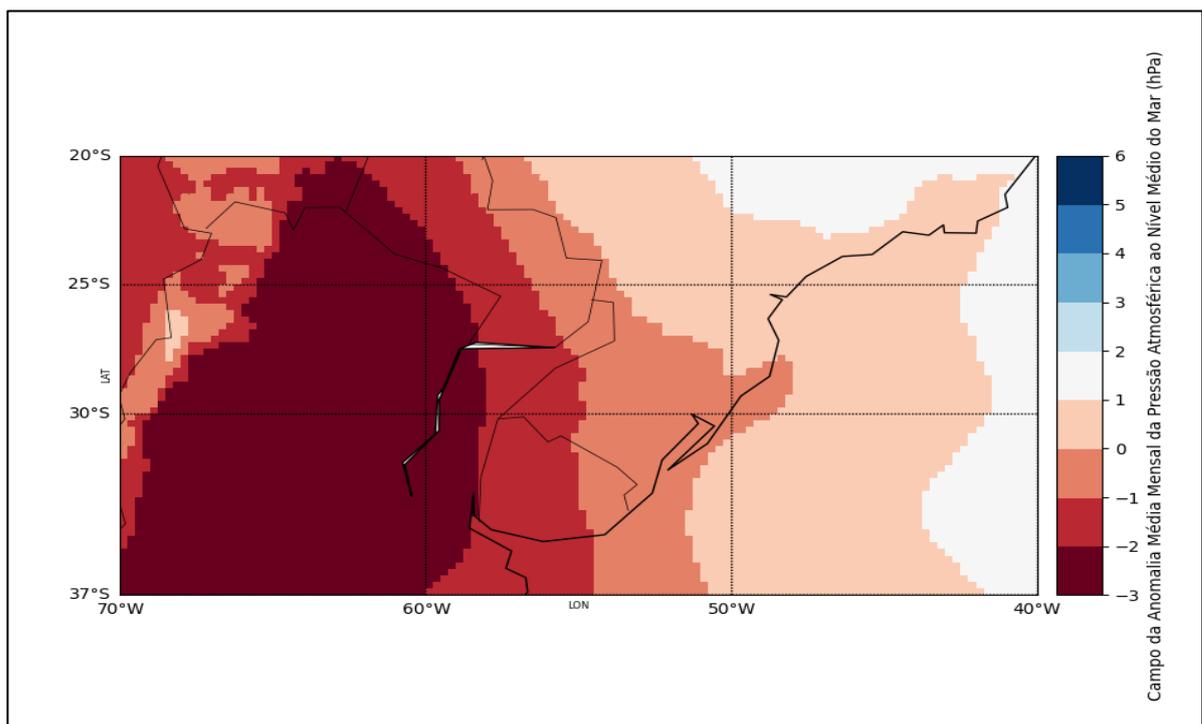
Figura 60 – Carta sinótica da marinha do Brasil do dia 30-07-1997. A área de estudo encontra-se representada pelo retângulo preto.



Fonte: Marinha do Brasil.

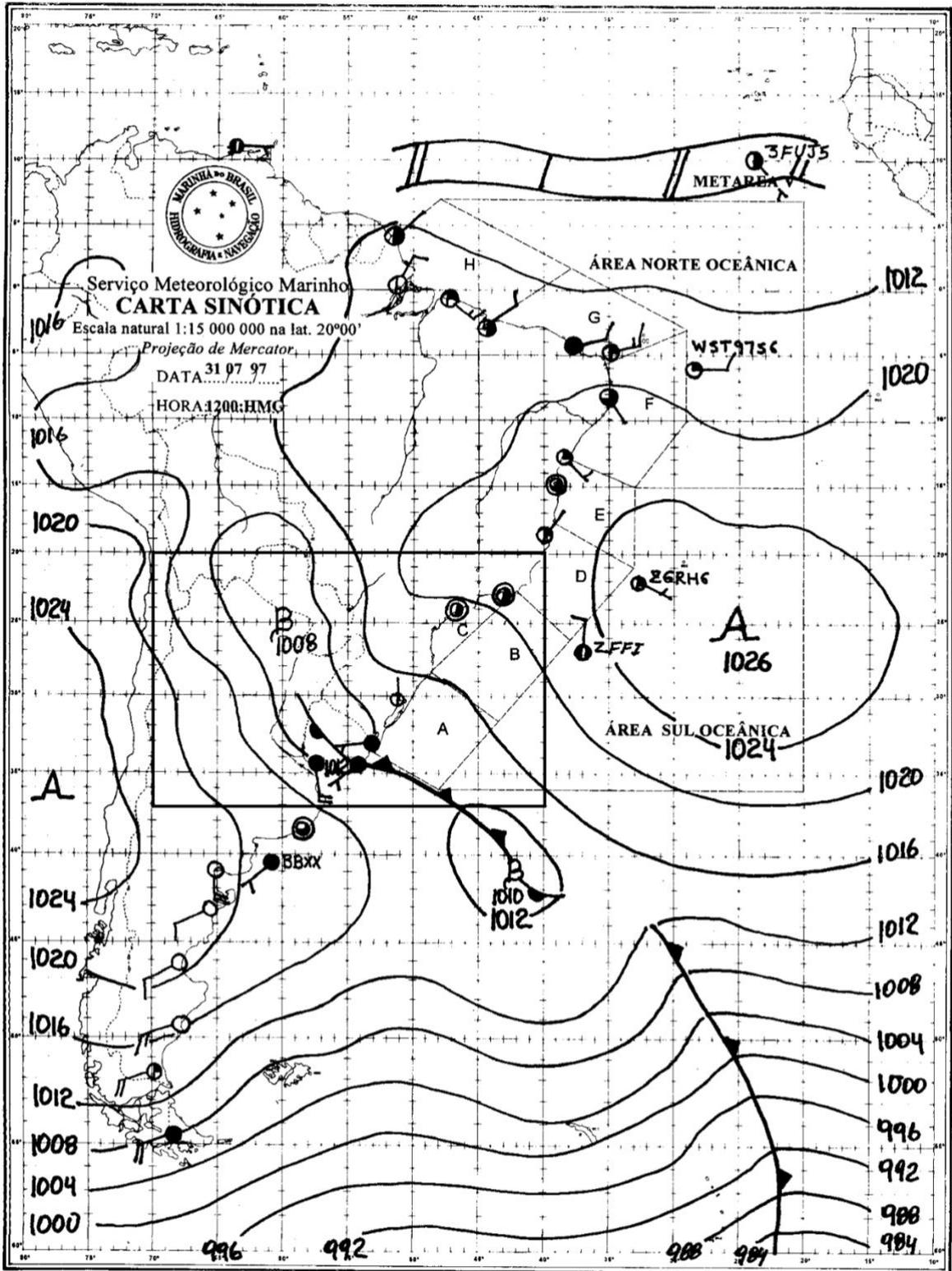
A figura 61 mostra o campo de anomalia média mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar para o mês de julho de 1997. Percebe-se a presença de anomalias negativas da pressão sobre a Bolívia, Paraguai, Argentina, Uruguai e nos estados do sul do Brasil. Além disso, foram observadas anomalias positivas da pressão atmosférica na região de interesse, tais valores estão próximo da climatologia. A carta sinótica representativa para este período foi a carta sinótica de superfície do dia 31 de julho de 1997 (Figura 62). A análise desta carta possibilita observar que a região da Bolívia, Paraguai, Argentina, Uruguai e no estado de Santa Catarina encontram-se sob a influência de um sistema de baixa pressão. Também foi possível perceber a passagem de sistemas frontais.

Figura 61 – Campo da anomalia média mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) para o mês de julho de 1997.



Fonte: A autora.

Figura 62 – Carta sinótica da marinha do Brasil do dia 31-07-1997. A área de estudo encontra-se representada pelo retângulo preto.

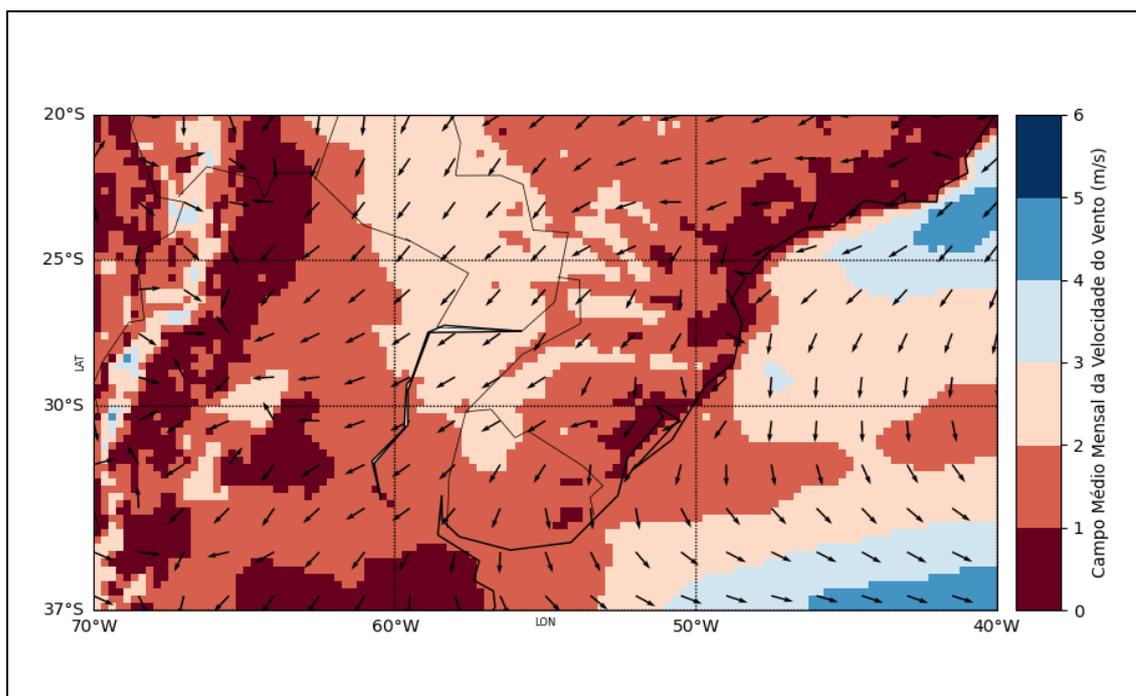


Fonte: Marinha do Brasil.

3.15 Análise do campo médio da velocidade do vento para o evento de *El Niño* (1997)

No campo médio mensal da velocidade do vento do mês de julho de 1997 (Figura 63), foi possível observar ventos associados ao ASAS, em torno de 3,0 m/s, em toda a região de interesse do estudo. Concordando com o que foi observado na figura 59.

Figura 63 – Campo médio mensal da velocidade do vento (m/s) para o mês de julho de 1997.

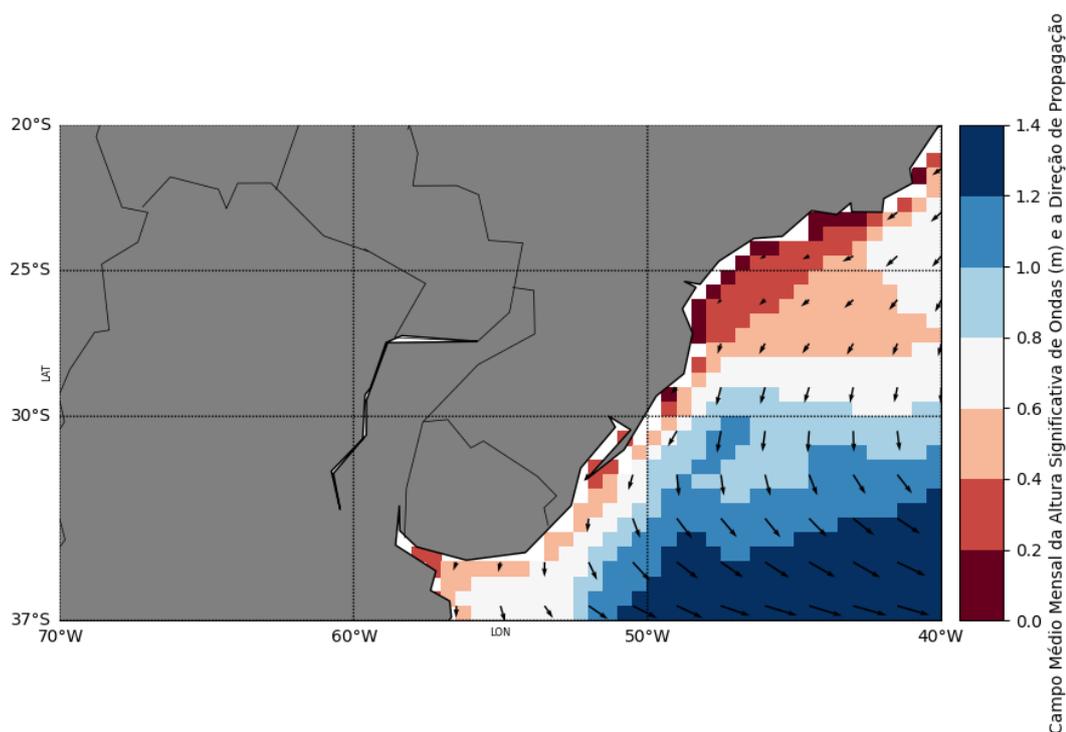


Fonte: A autora.

3.16 Análise do campo médio da altura significativa de ondas para o fenômeno de *El Niño* (1997)

Devido a presença dos ventos relacionados ao ASAS (Figura 63), a análise do campo médio mensal da altura significativa de ondas (m) e a direção de propagação (Figura 64), mostra que existem ondas com H_s variando entre 0,4 e 0,6 m, com direção de propagação de nordeste na área oceânica do sudeste do Brasil. Como, ondas com H_s maior (~1,2 m), com direção de propagação de norte e oeste na região oceânica do sul brasileiro.

Figura 64 – Campo médio mensal da altura significativa de ondas (m) e direção de propagação para o mês de julho de 1997.

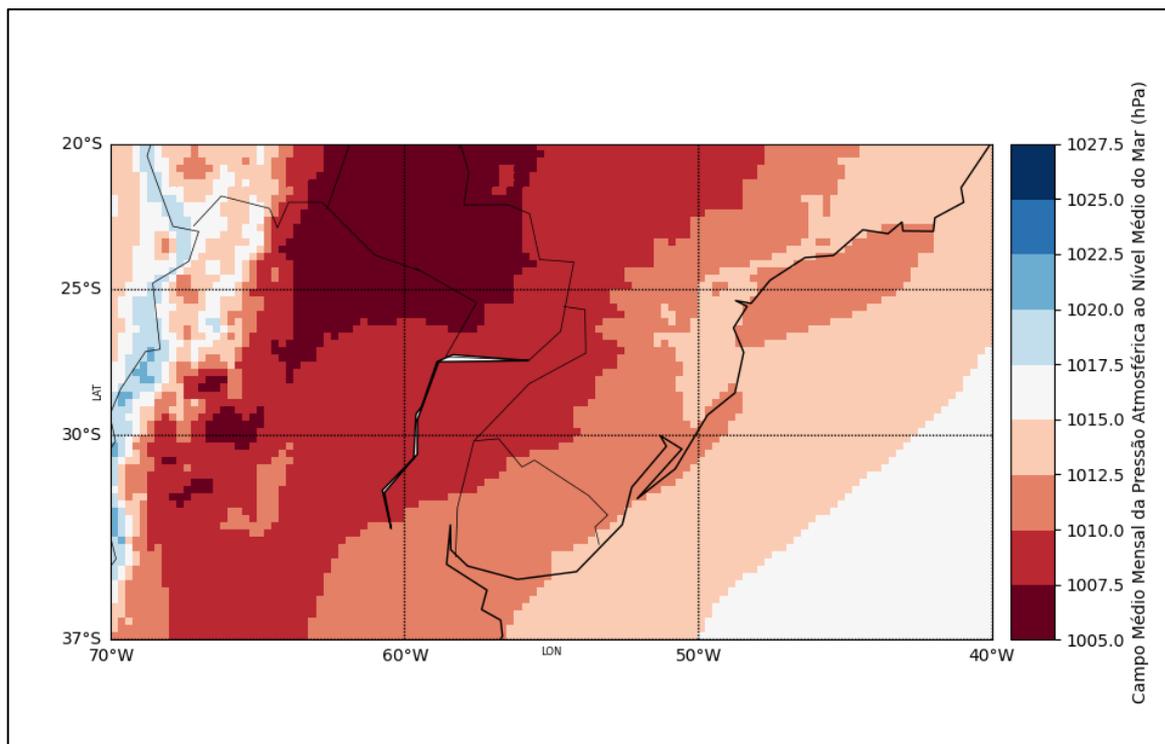


Fonte: A autora.

3.17 Análises dos campos médios da pressão atmosférica para o episódio de *La Niña* (1989)

A seguir será analisado o campo médio mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar para o mês de dezembro de 1989 (Figura 65). Foi plausível perceber que no Mato Grosso do Sul, Paraguai e Argentina existem sistemas de baixa pressão. No Rio de Janeiro e em São Paulo, foi constatado áreas de baixa pressão, e na região de interesse a pressão exibiu valores entre 1012 hPa e 1015 hPa. Em relação às cartas sinóticas do dia mês de dezembro de 1989, a representativa para esse período foi a carta sinótica de superfície do dia 13 de dezembro de 1989 (Figura 66). Com base na figura 66, podemos notar a ação de sistemas de baixa pressão no Paraguai e Argentina. Nos estados do Rio de Janeiro e em São Paulo, foi possível identificar 11 dias com a atuação de sistemas de baixa e/ou a passagem de frentes frias.

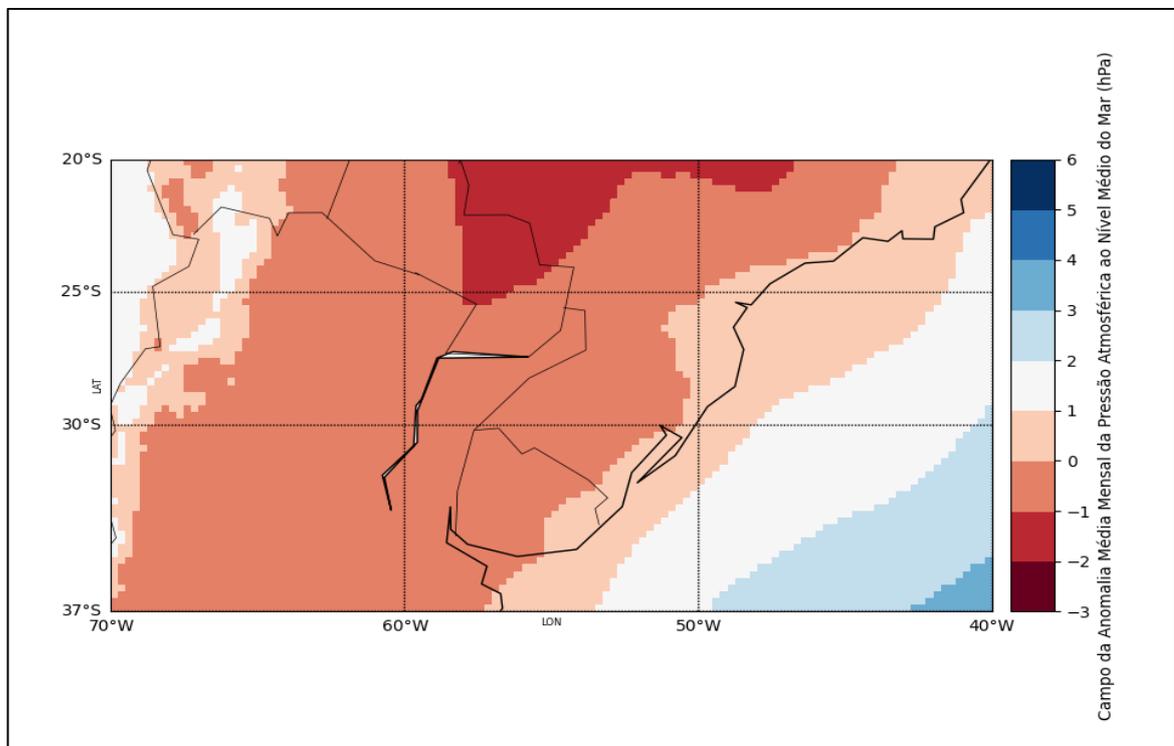
Figura 65 – Campo médio mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) para o mês de dezembro de 1989.



Fonte: A autora.

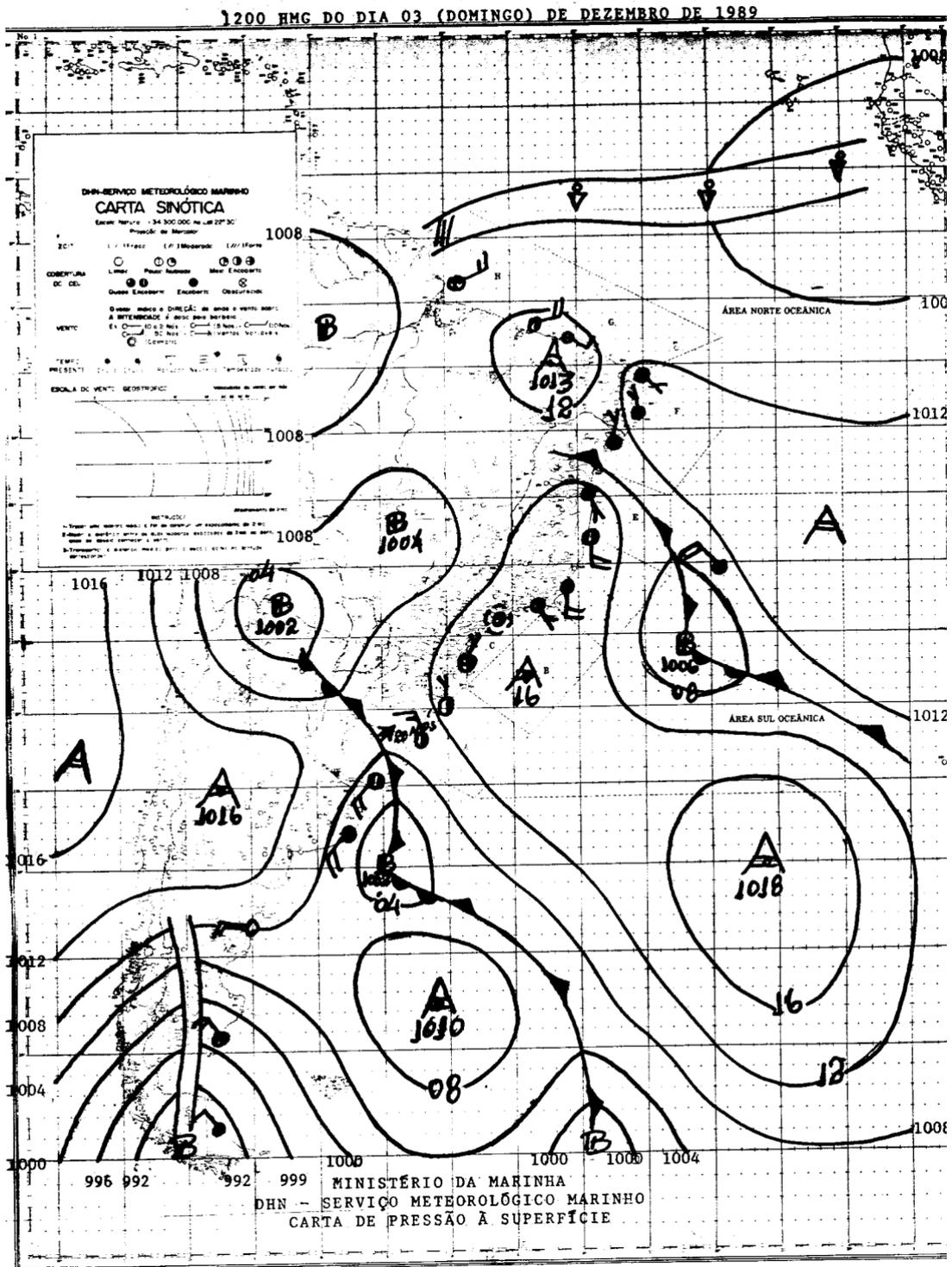
A figura 67 representa o campo da anomalia média mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar para o mês de dezembro de 1989. Observou-se o predomínio de anomalias negativas da pressão na área continental, na região de interesse, percebe-se anomalias positivas da pressão atmosférica. A carta sinótica representativa foi a carta sinótica de superfície do dia 03 de dezembro de 1989 (Figura 68). Analisando foi constatado sistemas de baixa pressão na porção continental, bem como observou-se que existem a atuação de sistemas transientes de alta pressão.

Figura 67 – Campo da anomalia média mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) para o mês dezembro de 1989.



Fonte: A autora.

Figura 68 – Carta sinótica da marinha do Brasil do dia 03-12-1989. A área de estudo encontra-se representada pelo retângulo preto.

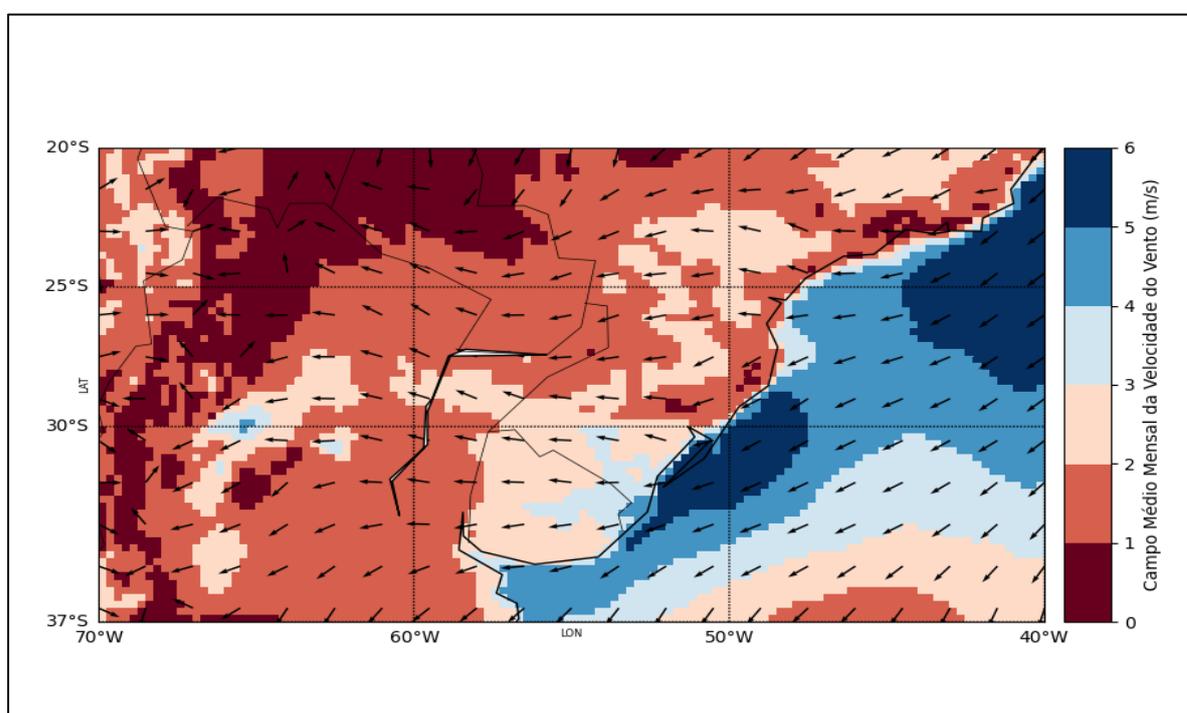


Fonte: Marinha do Brasil.

3.18 Análise do campo médio da velocidade do vento para o fenômeno de *La Niña* (1989)

Examinado o campo médio da velocidade do vento a 10 metros da superfície do mar para o mês dezembro de 1989 (Figura 69), foi possível constatar ventos de leste e nordeste relacionados ao ASAS, conforme foi observado na figura 70, com intensidade em torno de 5,0 m/s, próximo à costa sudeste do Brasil. Junto ao litoral sul brasileiro foram observados ventos nordeste ligados aos transientes, alcançando valores máximos da velocidade do vento.

Figura 69 – Campo médio mensal da velocidade do vento (m/s) para o mês de dezembro de 1989.



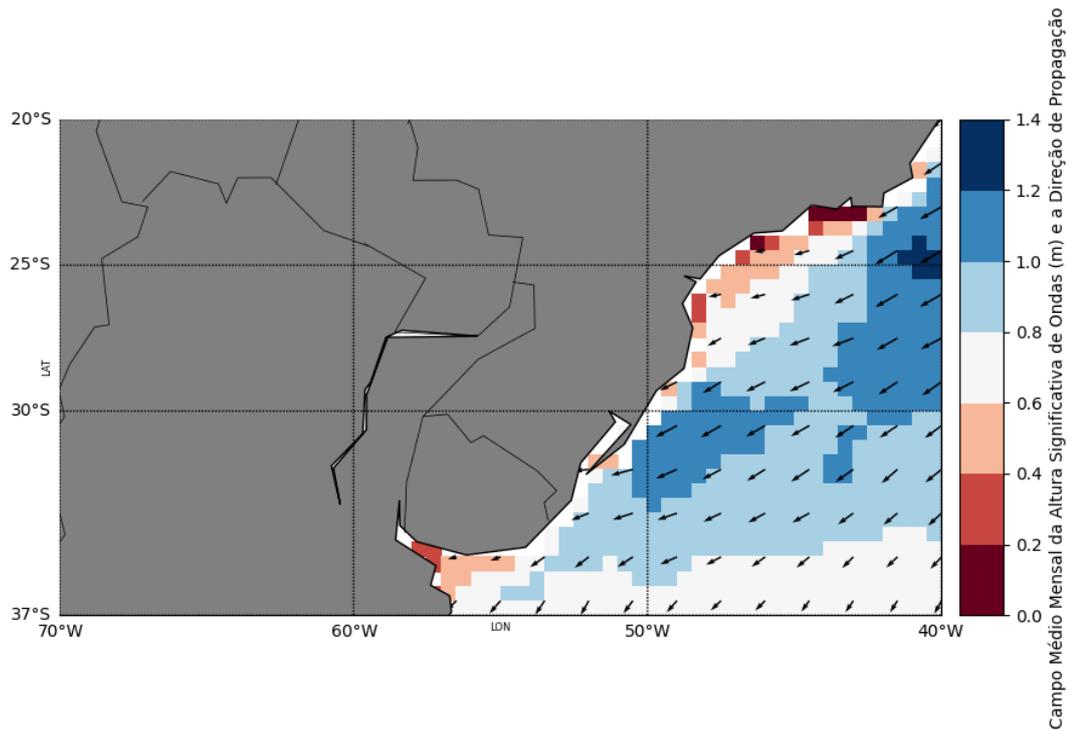
Fonte: A autora.

3.19 Análise do campo médio da altura significativa de ondas para o evento de *La Niña* (1989)

Da mesma forma que foi visto no quadrante superior ventos de leste e nordeste relacionados ao ASAS, com intensidade em torno de 5,0 m/s (Figura 69), observando o campo médio da altura significativa de ondas (m) e a direção da propagação (Figura 70), foi possível notar a presença de ondas com H_s variado entre 0,6 e 0,8 m com direção de propagação de leste/nordeste na área oceânica do sudeste brasileiro. Bem

como, ondas com Hs variando entre 1,0 e 1,2 m como direção de propagação de nordeste na região oceânica do sul do Brasil.

Figura 70 – Campo médio mensal da altura significativa de ondas (m) e direção de propagação para o mês de dezembro de 1989.

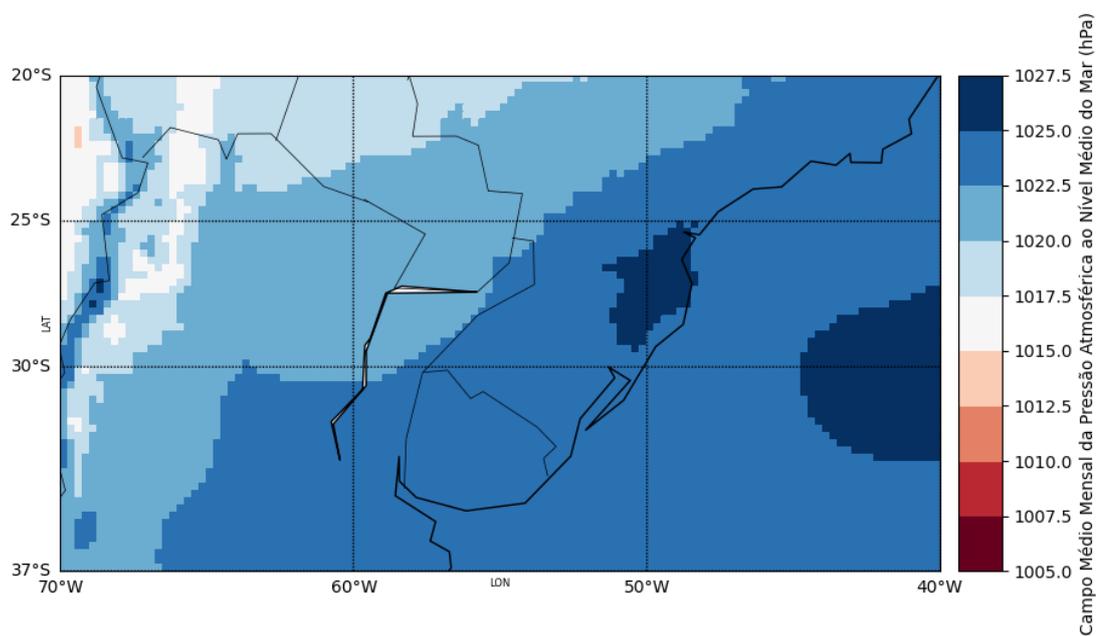


Fonte: A autora.

3.20 Análises dos campos médios da pressão atmosférica para o evento de *La Niña* (1988)

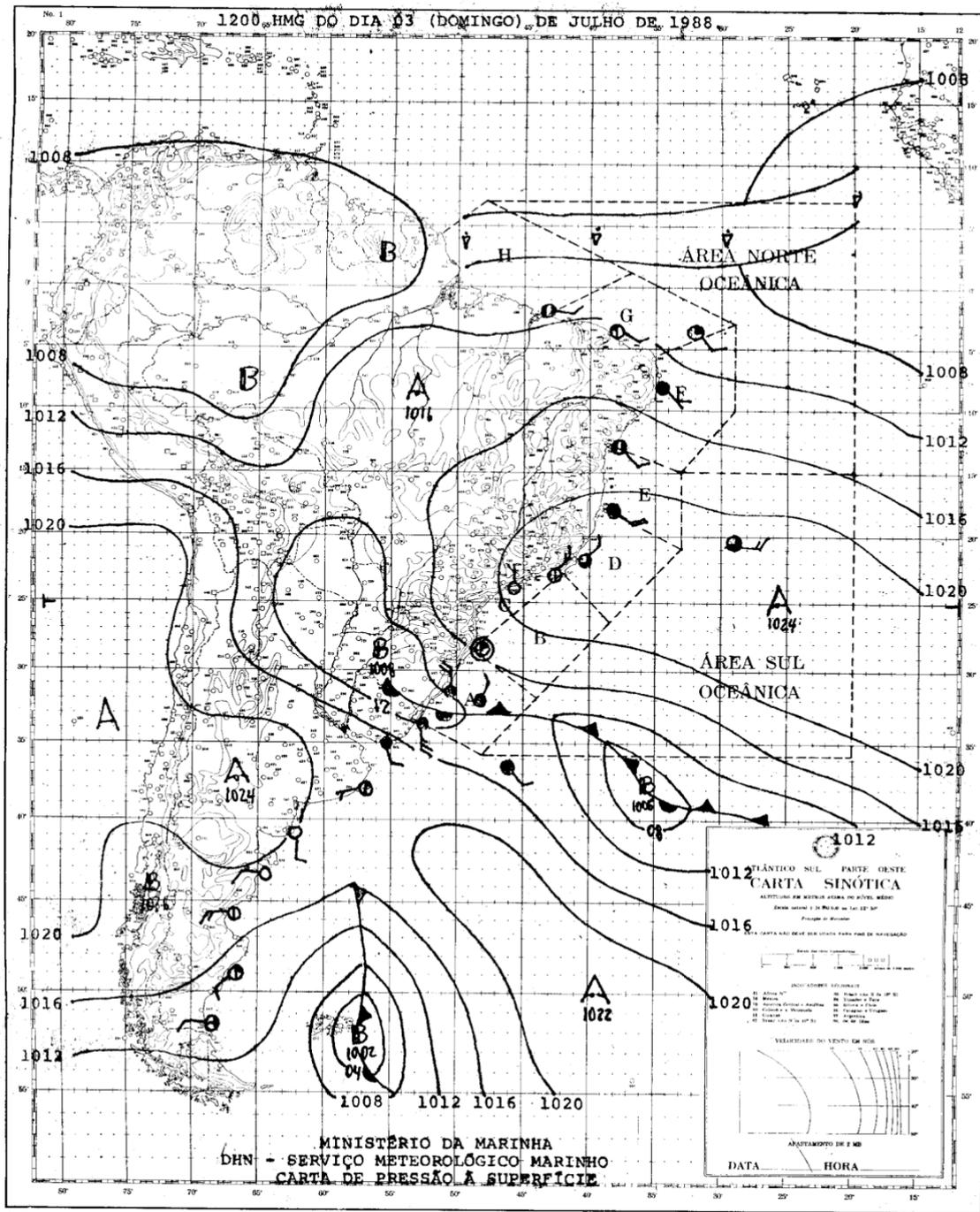
O campo médio mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar para o mês de julho de 1988 (Figura 71), apresenta sistemas de alta pressão, atingindo valores extremos de 1027.5 hPa. A carta representativa para esse período foi a carta sinótica de superfície do dia 03 de julho de 1988 (Figura 72), podendo observar que a região se encontra sob a influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), com o centro localizado em (25 °S e 25 °W).

Figura 71 – Campo médio mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) para o mês de julho de 1988.



Fonte: A autora.

Figura 72 – Carta sinótica da marinha do Brasil do dia 03-07-1988. A área de estudo encontra-se representada pelo retângulo preto.

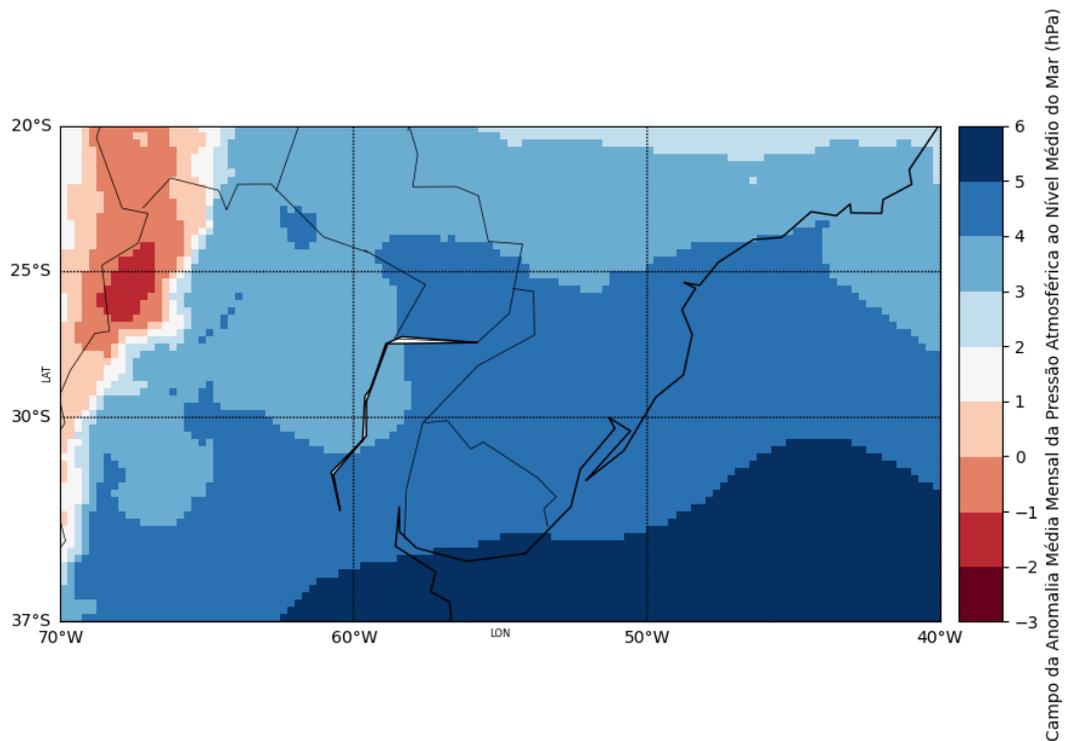


DHN - 5927

Fonte: Marinha do Brasil.

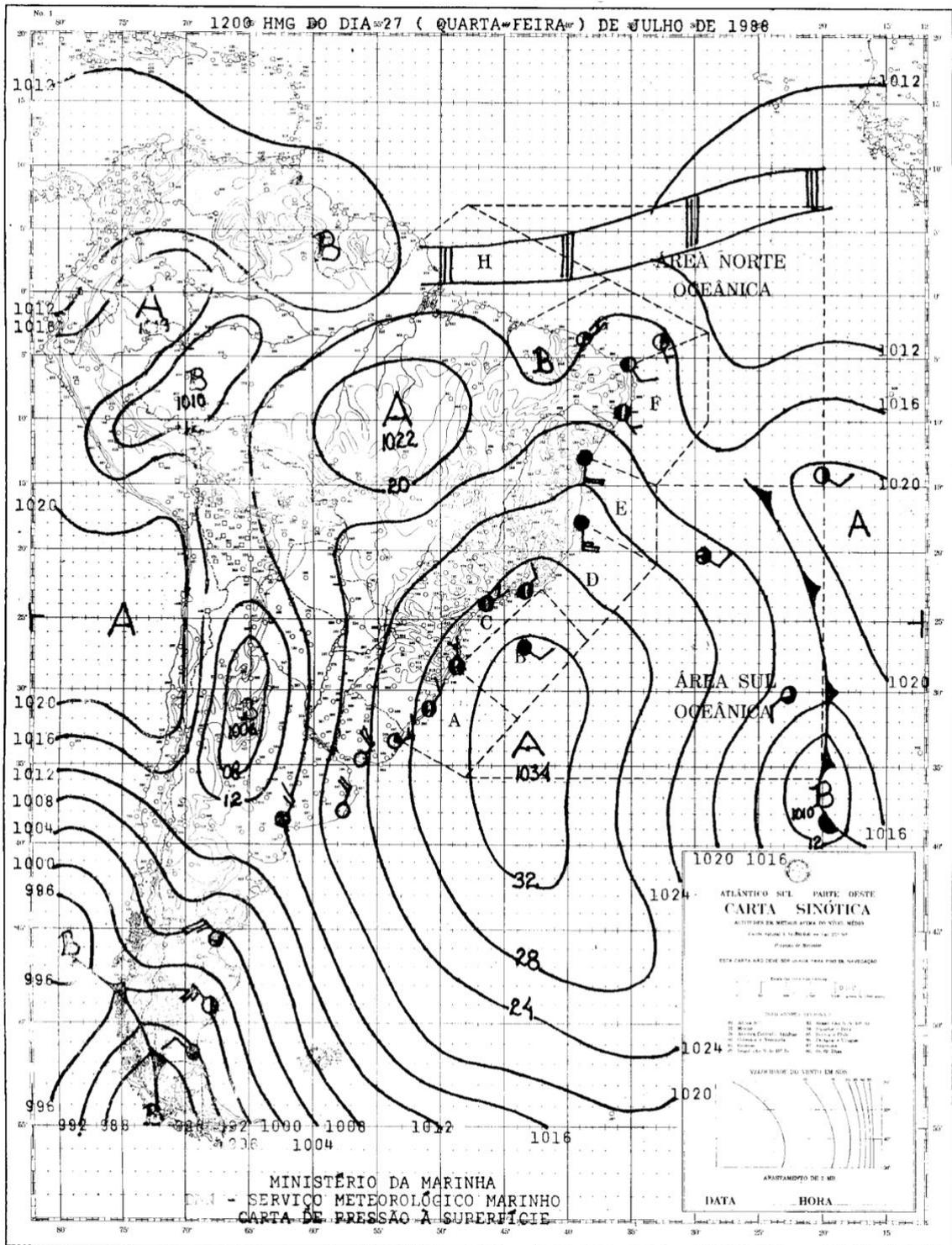
Observando campo da anomalia média mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar para o mês de dezembro de 1989 (Figura 73), pode-se notar o domínio de anomalias positivas da pressão atmosférica. A carta representativa para este intervalo foi a carta sinótica de superfície do dia 27 de julho de 1988 (Figura 74) visto que, foi possível identificar o deslocamento em latitudes mais baixas dos sistemas transientes de alta pressão.

Figura 73 – Campo da anomalia média mensal da pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa) para o mês de julho de 1988.



Fonte: A autora.

Figura 74 – Carta sinótica da marinha do Brasil do dia 27-07-1988. A área de estudo encontra-se representada pelo retângulo preto.



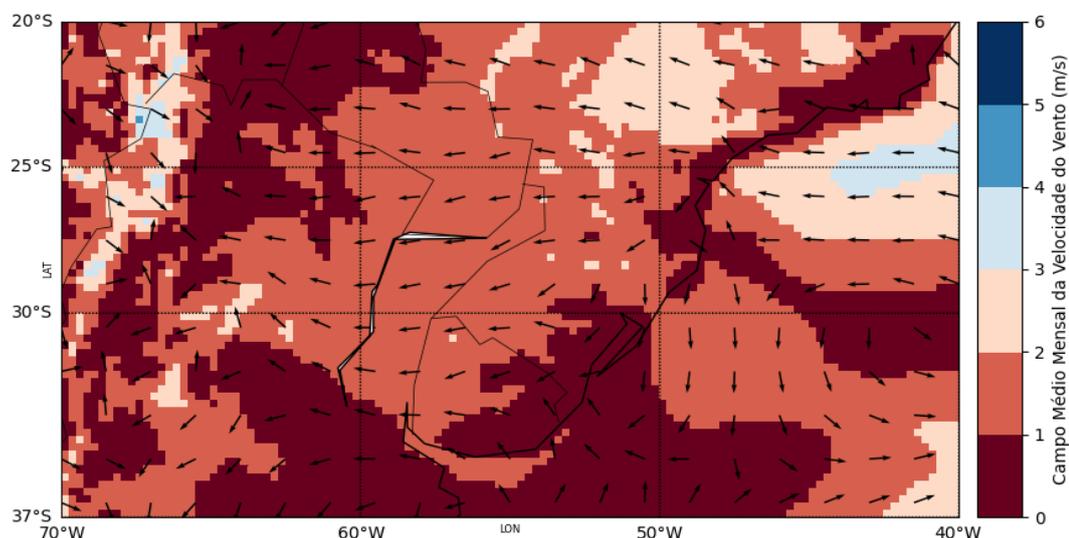
DHN - 5927

Fonte: Marinha do Brasil.

3.21 Análise do campo médio da velocidade do vento para o fenômeno de *La Niña* (1988)

A análise do campo médio mensal da velocidade do vento para o mês de julho de 1988 (Figura 75) revela ventos de leste (associados ao ASAS, conforme pode ser visto na figura 71), com velocidade ($\sim 2,0$ m/s) junto à costa sudeste do país. Assim como, ventos de sul relacionados aos transientes, com intensidade aproximada de 1,0 m/s próximo ao litoral sul brasileiro.

Figura 75 – Campo médio mensal da velocidade do vento (m/s) para o mês de julho de 1988.

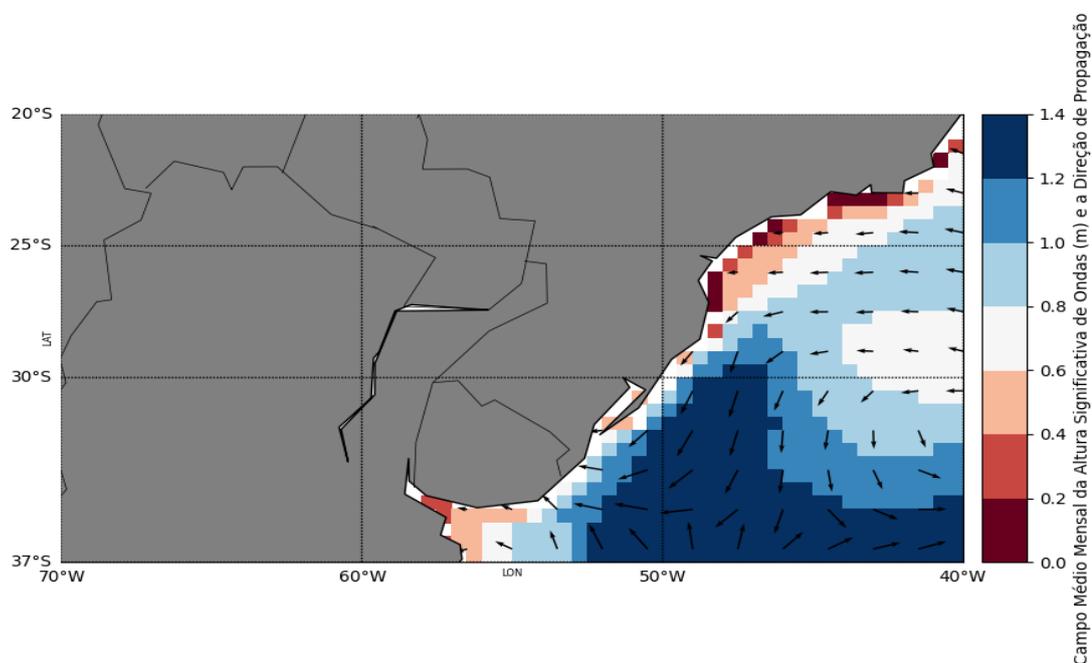


Fonte: A autora.

3.22 Análise do campo médio da altura significativa de ondas para o evento de *La Niña* (1988)

A análise do campo médio mensal da altura significativa de ondas (m) e a direção de propagação para o mês julho de 1988 (Figura 76), mostra que existem ondas com H_s variando entre 0,6 e 0,8 m, com direção de propagação de leste na área oceânica do sudeste brasileiro, condizente com o que foi visto no quadrante superior da figura 75. Bem como, ondas mais energéticas, devido a sua H_s maior ($\sim 1,4$ m), com direção de propagação de sul na região oceânica do sul do Brasil.

Figura 76 – Campo médio mensal da altura significativa de ondas (m) e direção de propagação para o mês de julho de 1988.



Fonte: A autora.

A tabela a seguir mostra que todos os resultados estão de acordo com os aqui expostos nos mapas, assim como, os das anomalias que não foram apresentados no presente texto.

Tabela 4 – Tabela resumo dos resultados.

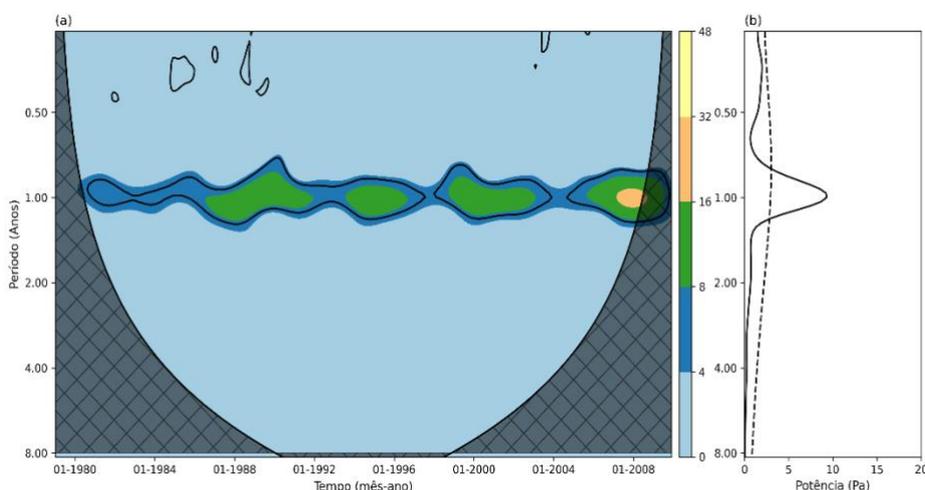
Eventos	Estação do ano	Região	Pressão (hPa)	Anomalias da Pressão	Vento (m/s)	Anomalias do
Neutro	Verão (2004)	SE	1012-1015	1	3	-1
		S	1012-1015	1	2	-2
	Inverno (2005)	SE	1020-1022	1	2	1
		S	1020-1022	1	3	1
<i>El Niño</i>	Verão (1998)	SE	1012-1015	1	4	1
		S	1012-1015	1	5	1
	Inverno (1997)	SE	1020-1022	1	3	1
		S	1017-1020	1	3	1
<i>La Niña</i>	Verão (1989)	SE	1012-1015	1	5	2
		S	1012-1015	1	6	3
	Inverno (1988)	SE	1025-1027	5	2	1
		S	1025-1027	5	1	-1

Fonte: A autora.

3.23 Análise da ondaleta da pressão atmosférica

Na figura 77 está representada a ondaleta da pressão atmosférica ao nível médio do mar (1979-2009), pode-se notar, inicialmente, que a energia associada a esse parâmetro atmosférico encontra-se concentrada na escala temporal anual dentro do cone de influência da ondaleta. A análise do espectro global de energia associado à série de pressão atmosférica, percebe-se também a alta significância estatística da série para a escala temporal anual. No intervalo entre os anos de 1980 e 1984 pode-se observar o período de menor energia associada. Ainda no interior do cone de influência observa-se que o ano de 2008 foi o mais energético.

Figura 77 – Ondaleta da pressão atmosférica ao nível médio do mar para o período de 1979-2009.

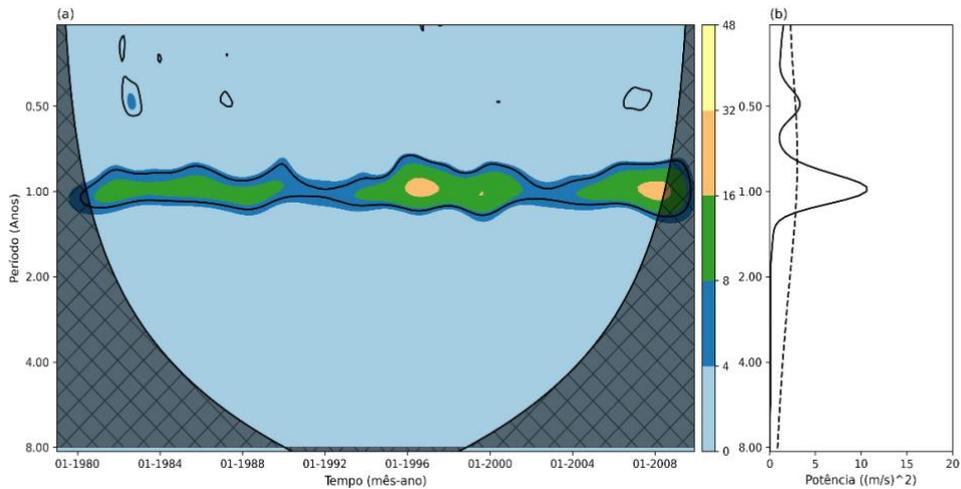


Fonte: A autora.

3.24 Análise da ondaleta da componente u do vento

A análise de ondaleta para a componente u do vento (1979-2009) está representada na figura 78. Novamente, pode-se observar, que a energia associada a esse à componente zonal do vento encontra-se concentrada na escala temporal anual dentro do cone de influência da ondaleta. Nota-se também alta significância estatística para essa escala temporal ao analisarmos o espectro de energia global apresentado. Por fim, observa-se novamente altos valores de energia no período centrado no período de 1996 a 1997 e também no período de 2007 e 2008. Os níveis mais baixos de energia são observados no período de 1992 a 1993. Ainda pode-se observar valores um pouco maiores de energia associada a esse parâmetro atmosférico nos períodos de 1988 a 1992, 1994 a 1996 e 2000 a 2004.

Figura 78 – Ondaleta da componente u do vento para o período de 1979-2009.

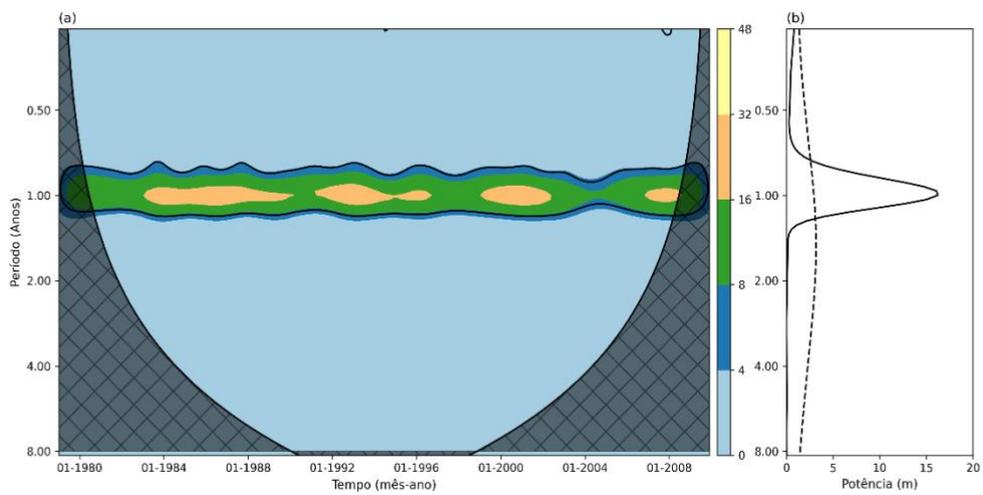


Fonte: A autora.

3.25 Análise da ondaleta da altura significativa de ondas

A análise de ondaleta para a série de altura significativa de ondas no período de 1979 a 2009 está representada graficamente na figura 80. Pode-se observar, que a energia associada a esse parâmetro oceânico encontra-se concentrada na escala temporal anual dentro do cone de influência da ondaleta. Nota-se também alta significância estatística para essa escala temporal ao analisarmos o espectro de energia global apresentado. É possível notar algumas regiões no gráfico com valores mais elevados de energia os quais são representados pelos períodos de 1984 a 1988, 1992 a 1996, 1999 a 2002 e o ano de 2008. Percebe-se que para os anos de que nos períodos de 1980-1984; 1990 e 2004-2008 menor energia.

Figura 80 – Ondaleta da altura significativa de ondas para o período de 1979-2009.



Fonte: A autora.

5. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

No decorrer deste trabalho foram investigados os padrões de variabilidade interanual associados ao clima de ondas no oceano atlântico sudoeste, a partir das análises dos parâmetros de pressão atmosférica ao nível médio do mar (Pa), velocidade do vento (direção e intensidade do vento), altura significativa de ondas (Hs) e a direção de propagação de ondas para o período de 1979 – 2009 (30 anos). Também é importante ressaltar que a presente pesquisa, visou selecionar os anos dos eventos de neutralidade, de *El Niño* e de *La Niña* ocorreram no intervalo de (1979-2009).

Com a finalidade de reconhecer quais foram os anos que ocorreram tais eventos no período de 30 anos (1979-2009), utilizou-se os resultados obtidos por TRENBERTH (1997). Conforme foi descrito na metodologia do presente estudo.

Inicialmente, foram feitas as análises das séries temporais das anomalias médias mensais da pressão atmosférica ao nível médio do mar, da velocidade do vento e da altura significativa de ondas para a área de estudo, com a resultados obtidos por TRENBERTH (1997), para determinar os anos a serem estudados. Os quais foram: Anos Neutros (2004-2005), Anos de *El Niño* (1997-1998) e Anos de *La Niña* (1988-1989).

Os resultados dos campos médios mensais da pressão atmosférica, velocidade do vento e altura significativa de ondas foram comparados a informações presentes na literatura. Quando foram comparados os campos médios da pressão atmosférica para os meses do verão dos anos neutro (2004), de *El Niño* (1998) e de *La Niña* (1989), ficou claro que nos três meses ocorreu predomínio de sistemas de baixa pressão na extensão continental, na área de interesse, a pressão atmosférica alcançou valores de 1012 e 1015 hPa. Porém, para o ano de *La Niña* (1989) foi visto nos estados do RJ e SP, sistemas de baixa. Segundo NIMER (1989), na estação quente do ano, em virtude do maior aquecimento do continente em relação ao mar, há o enfraquecimento do anticiclone semifixo do Atlântico (ASAS). A depressão térmica continental (Baixa do Chaco) e a Depressão do Alto Amazonas, encontram-se aprofundadas. No verão, a baixa pressão atmosférica é causada pelas elevadas temperaturas sobre o continente, pelo afastamento do centro do ASAS do litoral e pela

atuação da Baixa do Chaco sobre a região central da América do Sul (DERECZYNSKI & MENEZES, 2015).

Em relação ao campo da pressão atmosférica para o mês do inverno do ano neutro (2005), foram observados sistemas de alta pressão em todo o domínio, associados aos sistemas transientes de alta pressão, assim como ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Tais resultados estão conforme os trabalhos de RIEHL (1965) e DERECZYNSKI & MENEZES (2015).

Ao compararmos os campos médios mensais da pressão atmosférica dos meses do inverno dos anos de *El Niño* (1997) e de *La Niña* (1988) foi constatado que para ano do *El Niño* (1997), sistemas de baixa pressão na Bolívia, Argentina e no estado do MS, as quais são baixas de origens dinâmicas. No inverno, tais sistemas se originam devido à interação da atividade baroclínica com a Cordilheira dos Andes. O balanço negativo de radiação inibe a formação destes sistemas e sua presença está associada com a passagem de perturbações sinóticas (FERREIRA, 2010), os mesmos são mais frequentes no período do inverno. Foi visto sistemas de alta pressão na região do interesse, com valores em torno de 1020 hPa e 1022hPa, ligados a presença do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), divergindo com o que foi observado por GAN & RAO (1991), VIOLANTE DE CARVALHO (1998) e MELLO, MUZA & QUADRA (2015).

Por outro lado, no mês de inverno de *La Niña* (1988), foi constatado sistemas de alta pressão, atingindo valores extremos de 1027.5 hPa, tais sistemas estão ligados à atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Em anos de *La Niña* ocorre uma diminuição na formação de ciclones extratropicais SINCLAR (1996).

Em relação às análises dos campos médios mensais da velocidade do vento dos meses do verão dos anos neutro (2004), de *El Niño* (1998) e de *La Niña* (1989), foi visto que em fevereiro de 2004, os ventos foram mais fracos quando comparados com os meses de janeiro de 1998 e de dezembro de 1989. Resultados parecidos foram encontrados no trabalho de CAJAS (2018).

Para o mês de janeiro de 1998, foram observados ventos de leste/nordeste relacionados ao ASAS, com velocidade (~ 4,0 m/s) junto ao litoral sudeste brasileiro. Próximo à costa sul do Brasil foram vistos ventos de nordeste associados aos transientes, com intensidade em torno de 5,0 m/s. Já para o mês de dezembro de

1989, foram constatados ventos de leste e nordeste relacionados ao ASAS, com intensidade em torno de 5,0 m/s, próximo à costa sudeste do Brasil. Junto ao litoral sul brasileiro foram observados ventos nordeste ligados aos transientes, alcançando valores máximos da velocidade do vento (6,0 m/s). Em relação ao mês de dezembro de 1989, foi visto que os ventos foram mais intensos. Divergindo com o que foi visto por FERNANDEZ & MUEHE (2006), os autores perceberam que no litoral fluminense a dinâmica de sedimentos de um campo de dunas foi fortemente afetada em anos de *El Niño*. No Sul do país foram notados efeitos erosivos significativos.

Ao compararmos os campos médios mensais da velocidade dos meses do inverno dos anos neutro (2005), de *El Niño* (1997) e de *La Niña* (1988), foi observado que em julho de 1988, os ventos foram mais fracos quando comparados com os meses de julho de 2005 e de julho de 1997.

Em contrapartida, em julho de 1997 foi visto ventos associados ao ASAS, em torno de 3,0 m/s, em toda a região de interesse do estudo. O comportamento percebido apresenta coerência quando comparado a estudos anteriores para a costa brasileira, como em PINHO (2003), ALVES *et al.*, (2008) e PARENTE *et al.*, (2014).

Quando foram comparados os campos médios mensais das alturas significativas de ondas e direção de propagação para os meses do verão dos anos neutro (2004), de *El Niño* (1998) e de *La Niña* (1989), foi observado que em fevereiro de 2004, as alturas significativas das ondas foram menores quando comparadas com os meses de janeiro de 1998 e de dezembro de 1989. Assim como foi visto por (CAJAS, 2018).

Para o mês de janeiro de 1998, foram observadas ondas com Hs em torno de 0,6 m e direção de propagação de leste/nordeste na área oceânica do sudeste do Brasil. Junto à costa sul brasileira foram identificadas ondas com Hs maiores de até 1,0 m, cuja direção de propagação é de nordeste. Contudo, no mês de dezembro de 1989, foram vistas ondas com Hs variando entre 0,6 e 0,8 m com direção de propagação de leste/nordeste na região oceânica do sudeste do Brasil. Bem como, ondas com Hs variando entre 1,0 e 1,2 m como direção de propagação de nordeste na área oceânica do sul brasileiro. As alturas significativas das ondas foram relativamente maiores em dezembro (1989), do que em janeiro (1998). Divergindo com os resultados achados na pesquisa de LIMA *et al.* (2014).

Em relação às análises dos campos médios mensais das alturas significativas de ondas e direção de propagação para os meses de inverno dos anos neutro (2005), de *El Niño* (1997) e de *La Niña* (1988), foi constatado que para os três meses aqui expostos, exibiram de modo geral, ondas com alturas significativas maiores, na região oceânica do sul do Brasil, resultados semelhantes foram encontrados nas pesquisas de LOURENÇO (2012) e BRANCO (2016).

A partir da análise integrada das ondaletas e com as tabelas 3 e 4, foi possível perceber que os anos que exibiram destaque no presente estudo foram: 2004-2005 neutro, pois foi o período de menor energia, 1997-1998 *El Niño*; 1988-1989 *La Niña* apresentam energia maiores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. H. G. M. Numerical modeling of ocean swell contributions to the global wind-wave climate. **Ocean Modelling**, v. 11, n. 1–2, p. 98–122, 2006.

ALVES, J. H. G. M. et al. Wave climate hindcast for Brazilian south-southeast between 1997 and 2005. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 3, p. 427–445, 2009.

ALVES, J. H. G. M.; MELO, E. Measurement and modeling of wind waves at the northern coast of Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 49, n. 1/2, p. 13–28, 2001.

ARAUJO, C. E. S. et al. Wave Regime Characteristics of the Southern. **International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries**, n. 097, p. 1–15, 2003.

ASSAD, L. P. F. **Influência Do Campo De Vento Anômalo Tipo Enso Na Dinâmica Do Atlântico Sul**. [s.l.] Universidade Federal Do Rio De Janeiro (UFRJ), 2006.

AZEREDO, V. . M. **Impactos Do El Niño 1997/1998 Sobre a Dinâmica Da Corrente Do Brasil**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2017.

BASTAZINI, M. E. S. **COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES REANÁLISES COMO BASE DE DADOS PARA ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO EÓLIO-ELÉTRICA**. [s.l.] Universidade Federal Fluminense, 2018.

BAUER, E. Interannual changes of the ocean wave variability in the North Atlantic and in the North Sea. **Climate Research**, p. 63–69, 18 out. 2001.

BIGG, G. R. et al. The role of the oceans in climate. **International Journal of Climatology**, v. 23, n. 10, p. 1127–1159, 2003.

BJERKNES, J. **On the Structure of Moving Cyclones** Geophys. Publ., , 1919.

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

BJERKNES, J. Monthly Weather Review Atmospheric Teleconnections From the. **Monthly Weather Review**, v. 97, n. 3, p. 163–172, 1969.

BJERKNES, J.; SOLBERG, H. Life Cycle of Cyclones and the Polar Front Theory of Atmospheric Circulation. **Monthly Weather Review**, v. 50, n. Solberg,9, p. 468–473, 1922.

BRAGA, M. R. **Estudo de caso de prospecção gravimétrica na bacia de Cuyo, Argentina**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2007.

BRAHMANANDA RAO, V.; 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, n. 6, p. 1029–1040, 2002.

BRANCO, FABRICIO, V. **As Mudanças Climáticas E O Clima De Ondas No Atlântico Sul**. [s.l.] USP, 2016.

BRANCO, F. V. **Contribuições de Swell Gerado em Tempestades Distantes para o Clima de Ondas na Costa Brasileira**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2005.

CAJAS, S. M. **Potenciais Impactos No Clima De Ondas Do Oceano Atlântico Sul Em Um Ano De El Niño – Oscilação Sul**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2018.

CAMPOS, R. M. **ANÁLISE DOS EXTREMOS DE ONDA NO RIO DE JANEIRO ASSOCIADOS A CICLONES EXTRATROPICAIS NO ATLÂNTICO SUL**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

CANDELLA, R. N. **Estudo De Casos De Ondas No Atlântico Sul Através De Modelagem Numérica**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 1997.

CANDELLA, R. N.; SOUZA, S. M. L. Ondas oceânicas extremas na costa sul-sudeste Brasileira geradas por ciclone com trajetória anormal em maio de 2011. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 441–456, abr. 2013.

CASTELLO, J. P.; KRUG, L. C. **Introdução às Ciências do Mar**. 2015.

COLBERG, F.; REASON, C. J. C.; RODGERS, K. South Atlantic response to ENSO induced climate variability in an OGCM. **J. Geophys. Res.**, v. 109, 1 jan. 2004.

CUNHA. El Niño/La Niña: oscilação sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações. **Revista Plantio Direto**, p. 18–22, 2011.

DAVIS, R. A.; FITZGERALD, D. M. **Beaches and Coasts** *Estuarine, Coastal and Shelf Science* Elsevier, , 2004.

DEAN, R. G.; DALRYMPLE, R. A. **Water wave mechanics for engineers and scientists**. [s.l: s.n.].

DERECZYNSKI, C. P.; MENEZES, W. F. **Meteorologia Da Bacia De Campos**. [s.l.] Elsevier Editora Ltda., 2015.

E., I. T. C. et al. Conference Statement of the First International Conference on the Ocean Observing System for Climate (OceanObs99). **UNESCO**, n. October, p. 30, 1999.

FERNANDEZ, G.; MUEHE, D. Algumas considerações sobre o efeito do fenômeno El Niño sobre feições costeiras ao longo da costa brasileira. **GEOgraphia**, v. 8, n. 15, 2006.

FERRAZ, S. E. T.; GRIMM, A. M. Modos De Variabilidade Intrasazonal No Sul E Sudeste Do Brasil E Sul Da América Do Sul Durante O Verão. p. 1118–1125, 2005.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. DA S. Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre a Região Nordeste Do Brasil E a Influência Dos Oceanos Pacífico E Atlântico No Clima Da Região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15–28, 2005.

FERREIRA, J. A.; GUEDES-SOARES, C. An application of the peaks over threshold method to predict extremes of significant wave height. **Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering**, v. 120, n. 3, p. 165–176, 1998.

GAN, M. R. V. Surface cyclogenesis over South America. **Notes And Correspondence**, p. 293–302, jul. 1991.

GARBELL, M. A. **Tropical and Equatorial Meteorology**. New York: Pitman Publishing Corporation, 1947.

GORMAN, R. M.; BRYAN, K. R.; LAING, A. K. Wave hindcast for the New Zealand region: Nearshore validation and coastal wave

climate. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 37, p. 567–588, 2010.

GUEDES SOARES, C. et al. **A 40 Year Hindcast of Wind , Sea Level and Waves in European Waters**. A 40 Year Hindcast of Wind , Sea Level and Waves in European Waters. **Anais...Oslo: 21st International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering**, 2002.

HILES, C. E. **On the Use of Computational Models for Wave Climate Assessment in Support of the Wave Energy Industry**. [s.l.] University of Victoria, 2010.

HODGES, K. I. A General Method for Tracking Analysis and Its Application to Meteorological Data. **Monthly Weather Review**, v. 53, n. 12, p. 7169–7184, out. 1994.

HOSKINS, B. J.; HODGES, K. I. A new perspective on Southern Hemisphere storm tracks. **Journal of Climate**, v. 18, n. 20, p. 4108–4129, 2005.

INNOCENTINI, V. et al. **Marulhos No Litoral Norte Do Brasil Gerados Por Furacões: Caso 24 De Outubro De 1999**. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...Rio de Janeiro, RJ, Brasil.: Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2000.

JONES, D. A.; SIMMONDS, I. A climatology of Southern Hemisphere extratropical cyclones. **Climate Dynamics**, v. 9, n. 3, p. 131–145, 1993.

KOUSKY, V. E.; KAGANO, M. T.; CAVALCANTI, I. F. A. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus A**, v. 36 A, n. 5, p. 490–504, 1984.

LIMA, C. N. N. et al. Estimação do impacto do El Niño/La Niña na intensidade dos ventos do nordeste Brasileiro. **Anuario do Instituto de Geociencias**, v. 37, n. 2, p. 232–240, 2014.

LIONELLO, P. et al. The Mediterranean surface wave climate inferred from future scenario simulations. **Global and Planetary Change**, v. 63, n. 2–3, p. 152–162, 2008.

LOON, H. V. A climatological Study of the Atmospheric Circulation in the Southern Hemisphere during the IGY, Part I: 1 July 1957–31 March 1958. **Journal of Applied Meteorology**, v. 4, n. 4, p. 479–491, 1965.

- LORENSI, C. **Estudo de eventos de El Niño e La Niña em anéis de crescimento de árvores para a região Sul do Brasil.** [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2012.
- LOURENÇO, T. DE S. **Variabilidade interanual do clima de ondas e sua influência no litoral Sudeste e Sul do Brasil.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2012.
- MAGAÑA, V.; AMBRIZZI, T. Dynamics of subtropical vertical motions over the Americas during El Niño boreal winters. **Atmosfera**, v. 18, n. 4, p. 211–235, 2005.
- MATURANA, J.; BELLO, M.; MANLEY, M. Antecedentes históricos e descrição del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. **El Niño-La Niña 1997-2000. Sus Efectos en Chile.**, v. 1, n. 1, p. 13–27, 2004.
- MELLO, MAURÍCIO, G. et al. Análise Interdecadal E Sazonal De Ciclones Extratropicais Sobre a Costa Sul Brasileira De 1957 a 2010. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 0, 2015.
- METEOROLÓGICO, S. 1 , 2,3 , 4. v. 35, n. March 1997, p. 17–28, 2010.
- MO, K. C.; GHIL, M. **Statistics and dynamics of persistent anomalies.** *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1987.
- Milad Shadman, Corbiniano Silva , Daiane Faller , Zhijia Wu , Luiz Paulo de Freitas Assad, Luiz Landau , Carlos Levi, Segen F. Estefen Articles 2019 Ocean Renewable Energy Potential, Technology, and Deployments: A Case Study of Brazil
- MURRAY, R. J.; SIMMONDS, I. **A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. Part I: development and operation of the scheme** *Australian Meteorological Magazine*, 1991a.
- MURRAY, R. J.; SIMMONDS, I. **A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. Part II: application to January and July general circulation model simulations** *Australian Meteorological Magazine*, 1991b.
- NASCIMENTO. **ANÁLISE DAS CONDIÇÕES METEO-OCEANOGRÁFICAS NA REGIÃO DA BACIA DE SANTOS.** [s.l.] UFRJ, 2013.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro, RJ, Brasil.: IBGE, 1989.

NOGUEIRA, I. C. M. **CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DE ONDAS NA BACIA DO ESPÍRITO SANTO ATRAVÉS DE MODELAGEM NUMÉRICA**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2014.

OLIVEIRA, B. A. **Variabilidade do clima de ondas de Santa Catarina - Brasil utilizando o modelo Wavewatch III**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

OLIVEIRA, F. **Fenômenos atmosféricos**, 2012.

OPEN UNIVERSITY. **Waves, Tides and Shallow Water Processes**. Second edi ed. [s.l.] Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999.

OPEN UNIVERSITY. **Ocean Circulation**. Second edi ed. [s.l.] Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001. v. 15

PAES-LEME, R. B; VIOLANTE-CARVALHO, N; ACCETTA, D; MEIRELLES, S. MODELAGEM FÍSICA E COMPUTACIONAL DE ONDAS GERADAS PELO VENTO EM UM TERMINAL PORTUÁRIO: O DESEMPENHO DO MODELO SWAN 40.51 EM UMA REGIÃO COM ELEVADA REFLEXÃO E DIFRAÇÃO. v. 26, p. 45–59, mar. 2008.

PALMÉN, E.; NEWTON, C. W. Development of extratropical cyclones. In: **International Geophysics**. Academic P ed. New York: [s.n.]. v. 13p. 315–351.

PARENTE, C. E. et al. Climatologia De Ondas. In: **Meteorologia e Oceanografia**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2014. p. 55–98.

PARISE, C. K. **Estudo da Variabilidade de Ondas no Oceano Atlântico Sul e a Contribuição Energética de um Ciclone Extratropical Intenso nos Espectros das Ondas ao Largo do Rio Grande do Sul**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2010.

PARISE, C. K.; CALLIARI, L. J.; KRUSCHE, N. Extreme storm surges in the south of Brazil: Atmospheric conditions and shore erosion. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 57, n. 3, p. 175–188, 2009.

PEREIRA, J.; CANDELLA, R. N.; CARVALHO, J. L. B. O clima de ondas na costa sul de Arraial do Cabo , RJ. p. 1–9, 2000.

PEREIRA, N. et al. Influence Analysis of Extratropical Cyclones in Increase of Salinity At the Estuary of Patos Lagoon, Southern Brazil. **Atlântica**, v. 34, n. 2, p. 173–187, 2012.

- PETTERSEN, S.; SMEBYE, S. J. On the development of extratropical cyclones. In: **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. [s.l: s.n.]. v. 97p. 457–482.
- PEZZA, A. B.; AMBRIZZI, T. Variability of Southern Hemisphere cyclone and anticyclone behavior: Further analysis. **Journal of Climate**, v. 16, n. 7, p. 1075–1083, 2003.
- PHILANDER, S. G. H. The Southern Oscillation: Variability of the Tropical Atmosphere. In: **El Niño, La Niña and the Southern Oscillation**. San Diego, California: Academic Press, Inc., 1990a. v. 46p. 9–57.
- PHILANDER, S. G. H. Interactions between the Ocean and Atmosphere. In: **El Niño, La Niña and the Southern Oscillation**. San Diego, California: Academic Press, Inc., 1990b. v. 46p. 230–256.
- PINHO, U. F. **Caracterização dos Estados de Mar na Bacia de Campos**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2003.
- POND, S.; PICKARD, G. L. **Introductory Dynamical Oceanography**. [s.l: s.n.]. v. 15
- REBOITA, M. S. **Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2008.
- RIBEIRO, E. O. et al. **Distribuição Conjunta De Alturas Significativas E Períodos De Pico De Ondas Na Bacia De Campos**. 3o Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. **Anais...** Salvador: 2005.
- SÁNCHEZ, A. S. et al. Caracterização das Alturas de Onda no Atlântico Sul Ocidental Através da Altimetria TOPEX/POSEIDON. **Ocean Modelling**, v. 53, n. 2, p. 157–169, 2010.
- SATYAMURTY, P.; DA CONCEICAO FERREIRA, C.; GAN, M. A. Cyclonic vortices over South America. **Tellus, Series A**, v. 42 A, n. 1, p. 194–201, 1990.
- SCOTTO, M. G.; GUEDES SOARES, C. Bayesian inference for long-term prediction of wave height. **Coastal Engineering**, v. 54, n. 5, p. 393–400, 2007.

SEIXAS, N. A. B. **Clima de Ondas na Bacia de Campos: Análise dos Dados e Proposta de Parametrização**. [s.l.] Observatório Nacional, 1997.

SIMMONDS, I.; KEAY, K. Mean southern hemisphere extratropical cyclone behavior in the 40-year NCEP-NCAR reanalysis. **Journal of Climate**, v. 13, n. 5, p. 873–885, 2000.

SINCLAIR, M. R. An objective cyclone climatology for the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**, v. 122, n. 10, p. 2239–2256, 1994.

SINCLAIR, M. R. **Comments on “Climatology of Cyclogenesis for the Southern Hemisphere** **Monthly Weather Review**, 1995.

SINCLAIR, M. R. Comments on “Climatology of Cyclogenesis for the Southern Hemisphere”. **Monthly Weather Review**, v. 124, n. 11, p. 2614–2614, 1996.

SOOMERE, T. et al. Modelling of wave climate and sediment transport patterns at a tideless. **Journal of Marine Systems**, v. 74, p. 133–146, 2008.

SOPPA, M.; SOUZA, R.; PEZZI, L. **Variabilidade das anomalias de temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico Sudoeste e sua relação com o fenômeno El Niño-Oscilação Sul**. [s.l.: s.n.]. v. 26.

TALJAARD, J. J. Development, Distribution and Movement of Cyclones and Anticyclones in the Southern Hemisphere During the IGY. **Journal of Applied Meteorology**, v. 6, n. 6, p. 973–987, 1967.

TOMASINI, J. **Padrão De Variabilidade Do Vento À Superfície Em Lajeado, Rio Grande Do Sul, Brasil: Implicações Ambientais**. [s.l.] UNIVATES, 2011.

TRENBERTH, K. E. The Definition of El Niño. **Journal of Climate**, v. 9, n. 1, p. 161–188, 1997.

TRENBERTH, K. E. et al. Estimates of the global water budget and its annual cycle using observational and model Data. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, n. 4, p. 758–769, 2007.

UFRJ. Curso Básico de Meteorologia e Oceanografia. **Laboratório de Modelagem de Processos Marinhos e Atmosféricos da**

Universidade Federal do Rio de Janeiro(LAMA), 2006.

WALKER, G. T. Correlation in Seasonal Variations of Weather—a Further Study of World Weather 1. **Mem. Indian Meteorol. Dep**, v. 24, n. 6, p. 252–254, 1924.

WAMDIG. **The WAM model - a third generation ocean wave prediction model.***J. Phys. Oceanogr.*, 1988.

YOUNG, I. R. Wave Theory. In: Elsevier T ed. [s.l.] 1999, 1999.