



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

IMPACTO DO GELO MARINHO ANTÁRTICO, DO ENOS E DO SAM SOBRE OS SISTEMAS FRONTAIS NA AMÉRICA DO SUL

Catharine Freire de Caldas

Relatório Final de Iniciação Científica do
programa PIBIC/INPE, orientado pela Dra.
Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti e
Dra. Fernanda Cerqueira Vasconcellos

URL do documento original:

INPE
São José dos Campos
2021

RESUMO

Os padrões de teleconexões afetam a América do Sul (AS), tanto de leste-oeste quanto de norte-sul, impactando no clima deste continente. A Oscilação Antártica (*Antarctic Oscillation*) ou Modo Anular do Sul (SAM - *Southern Hemisphere Annular Mode*) e o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) são dois importantes padrões de teleconexão que influenciam a AS. Ambos os padrões possuem impactos sobre o gelo marinho antártico. No estudo anterior, foram observadas as influências conjuntas do gelo marinho no Mar de Bellingshausen-Amundsen (MBA) e no Mar de Weddell (MWD) durante as fases do SAM e do ENOS na frequência das frentes frias na AS e no Oceano Atlântico e adjacente, durante o mês de setembro. Assim, nas configurações de maior frequência de frentes frias sobre o continente, em ambos os mares, foi observada uma anomalia ciclônica no Atlântico Sul extratropical e no sul da AS, sugerindo uma área mais propensa à atuação de sistemas transientes. Trens de ondas contribuíram para a essa anomalia. Enquanto nas configurações de maior frequência de frentes frias sobre o oceano, notou-se uma intensificação da ASAS, favorecendo a formação de sistemas transientes mais ao sul no oceano. Um gradiente positivo anômalo de temperatura do ar que ocorre nas regiões de maior frequência de frentes foi observado em todas as configurações. Um gradiente positivo de TSM entre a região extratropical e subtropical do Atlântico Sul está também presente em todas as categorias avaliadas.

LISTA DE FIGURAS

<p>Figura 4.1: Composto da frequência de frentes frias para o mês de setembro na fase SAM negativo, El Niño - Máxima extensão de gelo marinho (categoria com máxima frequência no continente). Áreas hachuradas representam intervalo de confiança estatística de 90% (t-student).....</p>	10
<p>Figura 4.2: Composto de anomalia de linhas de corrente em setembro para SAM negativo, El Niño e máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) 850hPa e b) 200hPa</p>	12
<p>Figura 4.3: Composto de SAM negativo, El Niño, Máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) anomalia de velocidade potencial ($10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ - contorno) e anomalia do vento divergente (m.s^{-1} – vetores) em 200hPa; b) Anomalia de TSM ($^{\circ}\text{C}$). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student).</p>	14
<p>Figura 4.4: Composto de perfil vertical para SAM negativo, El Niño - Máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) anomalia de magnitude do vento (m.s^{-1}); b) anomalia de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student).</p>	16
<p>Figura 4.5: Composto de perfil vertical na fase de SAM negativo, El Niño - Máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) anomalia do vento zonal (m.s^{-1}); b) anomalia ômega (10^2 Pa.s^{-1}).</p>	17
<p>Figura 4.6: Composto da frequência de frentes frias para o mês de setembro na fase SAM negativo, El Niño - Mínima extensão de gelo marinho (categoria com máxima frequência no continente). Áreas hachuradas representam intervalo de confiança estatística de 90% (t-student).....</p>	18
<p>Figura 4.7: Composto de anomalia de linhas de corrente em setembro para SAM negativo, El Niño e mínima extensão de gelo marinho no MBA: a) 850hPa e b) 200hPa.</p>	19
<p>Figura 4.8: Composto de SAM negativo, El Niño - Mínima extensão de gelo marinho no MBA: a) Velocidade potencial ($10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ - contorno) e vento divergente(m.s^{-1} – vetores) em 200hPa b) Anomalia de TSM ($^{\circ}\text{C}$). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student).....</p>	20
<p>Figura 4.9: Composto de Perfil Vertical para SAM negativo, El Niño - Mínima extensão de gelo marinho no MBA: a) anomalia de magnitude do vento (m.s^{-1}); b) anomalia de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student).</p>	21

Figura 4.10: Composto de Perfil Vertical para SAM negativo, El Niño - Mínima extensão gelo marinho no MBA: a) anomalia do vento zonal ($m.s^{-1}$); b) anomalia de ômega ($10^2 Pa.s^{-1}$)....	22
Figura 4.11: Composto da frequência de frentes frias para o mês de setembro na fase SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho no MBA (categoria com máxima frequência no continente).Áreas hachuradas representam intervalo de confiança estatística de 90% (t-student).....	23
Figura 4.12: Composto de anomalia de linhas de corrente em setembro para SAM positivo, La Niña e máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) 850hPa; b) 200hPa.	24
Figura 4.13: Composto de SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) Velocidade potencial ($10^6 m^2 s^{-1}$ - contorno) e anomalia do vento divergente($m.s^{-1}$ – vetores) em 200hPa; b) Anomalia de TSM ($^{\circ}C$). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student).	25
Figura 4.14: Composto de Perfil Vertical para SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) anomalia de magnitude do vento ($m.s^{-1}$); b) anomalia de temperatura do ar ($^{\circ}C$). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student)	26
Figura 4.15: Composto de Perfil Vertical para SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) anomalia do vento zonal ($m.s^{-1}$); b) ômega ($10^2 Pa.s^{-1}$).	27
Figura 4.16: Composto da frequência de frentes frias para o mês de setembro na fase SAM negativo, El Niño - Máxima extensão de gelo marinho (categoria com máxima frequência no continente).Áreas hachuradas representam intervalo de confiança estatística de 90% (t student).	28
Figura 4.17: Composto de anomalia de linhas de corrente em setembro para SAM negativo, El Niño e máxima extensão de gelo marinho no MWD: a) 850hPa; b) 200hPa.	29
Figura 4.18: Composto de SAM negativo, El Niño - Máxima extensão de gelo marinho no MWD: a) Velocidade potencial ($10^6 m^2 s^{-1}$ - contorno) e anomalia do vento divergente($m.s^{-1}$ – vetores) em 200hPa b) Anomalia de TSM ($^{\circ}C$). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student).	30
Figura 4.19: Composto de Perfil Vertical para SAM negativo, El Niño - Máxima extensão de gelo marinho no MWD a) anomalia de magnitude do vento ($m.s^{-1}$); b) anomalia de temperatura do ar ($^{\circ}C$). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student)	32

Figura 4.20: Composto de Perfil Vertical para de SAM negativo, El Niño - Máxima extensão de gelo marinho no MWD: a) anomalia do vento zonal ($m.s^{-1}$); b) anomalia de ômega ($10^2 Pa.s^{-1}$)	33
Figura 4.21: Composto da frequência de frentes frias para o mês de setembro fase SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho (categoria com máxima frequência no continente).....	34
Figura 4.22: Composto de anomalia de linhas de corrente em setembro para SAM positivo, La Niña e Máxima extensão de gelo marinho no MWD: a) 850hPa; b) 200hPa.....	35
Figura 4.23: Composto de SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho no MWD: a) Velocidade potencial ($106 m^2 s^{-1}$ - contorno) e anomalia do vento divergente($m.s^{-1}$ – vetores) em 200hPa b) Anomalia de TSM ($^{\circ}C$).	37
Figura 4.24: Composto de Perfil Vertical para SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho no MWD a) anomalia de magnitude do vento ($m.s^{-1}$) ; b) anomalia de temperatura do ar ($^{\circ}C$)......	38
Figura 4.25: Composto de Perfil Vertical para SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho no MWD: a) anomalia do vento zonal ($m.s^{-1}$); b) anomalia de ômega ($10^2 Pa.s^{-1}$)......	39
Figura 4.26: Composto da frequência de frentes frias para o mês de setembro na fase SAM positivo, La Niña - Mínima extensão de gelo marinho (categoria com máxima frequência no Oceano Atlântico e adjacentes).....	40
Figura 4.27: Composto de anomalia de linhas de corrente em setembro para SAM positivo, La Niña - Mínima extensão de gelo marinho no MWD: a) 850 hPa; b) 200 hPa.....	41
Figura 4.28: Composto de Perfil Vertical para SAM positivo, La Niña e Mínima extensão de gelo marinho no MWD: a) Magnitude do Vento ($m.s^{-1}$) ; b) Temperatura ($^{\circ}C$).....	42
Figura 4.29: Composto de Perfil Vertical para SAM positivo, La Niña e Mínima extensão de gelo marinho no MWD: a) anomalia de magnitude do vento ($m.s^{-1}$) ; b) anomalia de temperatura do ar ($^{\circ}C$)......	43
Figura 4.30: Composto de Perfil Vertical para SAM positivo, La Niña e Mínima extensão de gelo marinho no MWD: a) anomalia do vento zonal ($m.s^{-1}$); b) anomalia de ômega ($10^2 Pa.s^{-1}$)......	44

Tabela 3.1: Anos envolvendo cada categoria em que foram observadas máximas frequências de frentes frias no mês de setembro, na análise com o MBA.	8
Tabela 3.2: Anos envolvendo cada categoria em que foram observadas máximas frequências de frentes frias no mês de setembro, na análise com o MWD.	8

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos Geral e Específicos	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3. DADOS E METODOLOGIA	6

4. RESULTADOS	9
4.1 Mar de Bellingshausen-Amundsen (MBA).....	9
4.1 Mar de Weddell (MWD).....	28
5. PROJETO RELACIONADO	44
6. CONCLUSÃO.....	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas frontais afetam a América do Sul (AS) durante todo o ano (COURA DA SILVA; CAVALCANTI, 2002; ANDRADE, 2005), influenciando o tempo e o clima sobre este continente e algumas vezes causando geadas e friagens (CAVALCANTI; KOUSKY, 2009). Os padrões de teleconexões também possuem impactos sobre o clima deste continente tanto de leste-oeste, quanto de Norte-Sul (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009).

O El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um importante padrão de teleconexão que tem impactos em todo planeta, inclusive na AS. Esse fenômeno ocorre através de uma alteração no sistema oceano-atmosfera na região do Pacífico tropical (TEDESCHI, 2013). Os períodos positivos do ENOS (El Niño) ocorrem quando há o aquecimento anormal na temperatura superficial e sub-superficial das águas do Pacífico equatorial central e leste, já na fase negativa (La Niña) ocorre o oposto, isto é, o resfriamento anormal dessas águas (PHILANDER, 1990). Alguns trabalhos como o de Vera et al. (2004) e Tedeschi (2013) relacionam os impactos do ENOS ao regime de precipitação na AS, considerando suas fases positivas ao valor abaixo do normal no norte e nordeste da AS, e acima no Sudeste da AS (SEAS). Na La Niña, os inversos na precipitação foram notórios. No entanto, seus impactos na precipitação no restante do continente não são evidentes.

A Oscilação Antártica ou Modo Anular do Sul (*Southern Hemisphere Annular Mode - SAM*) é o principal modo de variabilidade climática que afeta a região extratropical no Hemisfério Sul (HS), sendo caracterizado como uma “gangorra” de massa entre as latitudes médias e polares (THOMPSON; WALLACE, 2000). Gillet et al. (2006) demonstraram impactos do SAM na AS, relacionando a fase positiva do SAM a um significativo aquecimento na Argentina e secas no sul continente mencionado. Vasconcelos et al. (2019) analisaram o impacto, mês a mês, das fases do SAM na AS. Os resultados indicam que o SEAS e parte das Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil são as regiões mais afetadas pelo SAM. Entretanto, seu impacto difere mês a mês e nem sempre há uma influência oposta entre as fases do SAM.

As mudanças na extensão de gelo marinho podem afetar todo o planeta, evidenciando a complexidade nas interações no sistema gelo-atmosfera. O gelo marinho possui inúmeros efeitos marcantes no HS (YUAN; MARTINSON, 2000). Estudos recentes fazem análises

das extensões de gelo marinho e seus impactos nos principais padrões de teleconexões. Pezza et al. (2012), utilizando modelos, verificou as correlações de extensão de gelo marinho Antártico com o SAM e o ENOS, apontando seus efeitos conforme o mar antártico analisado.

No último ano do projeto (CALDAS, 2020; CALDAS ET AL., 2020), mostrou-se a relação dos padrões de teleconexão em conjunto com a extensão de gelo marinho antártico para o Mar de Weddell (MWD) e o setor do Mar de Bellingshausen-Amundsen (MBA) na frequência de frentes frias na AS. Nessas análises, foram observadas diferenças nas atuações das frentes sobre o continente e o Oceano Atlântico adjacente. Em geral, pode ser notada a atuação da La Niña e SAM positivo nas análises de frequências máximas sobre o oceano, variando somente a extensão do gelo marinho. No continente, foi observada a fase positiva do ENOS, junto com a fase negativa do SAM em ambas as extensões mínima e máxima do gelo marinho no MBA. Já para o MWD, foram observadas as máximas frequências no El Niño e SAM negativo, mas somente na máxima extensão de gelo marinho.

1.1. Objetivos Geral e Específicos

Como principal objetivo, pretendeu-se investigar os possíveis mecanismos envolvidos entre os padrões SAM e ENOS, o gelo marinho e as frequências de frentes frias em setembro, resultados encontrados no primeiro ano do projeto (CALDAS, 2020; CALDAS et al., 2020). Nessa etapa do projeto, o foco foi nas categorias onde foram encontradas as maiores frequências de frentes frias: SAM negativo, El Niño e Máxima extensão de gelo marinho, SAM negativo, El Niño e Mínima extensão de gelo marinho, SAM positivo, La Niña e Máxima extensão de gelo marinho, para o MBA e para o segundo mar de estudo (MWD) as fases SAM negativo, El Niño e Máxima extensão, SAM positivo, La Niña e Máxima extensão, SAM positivo, La Niña e Mínima extensão, no MWD. Para isso, o presente relatório contará com os seguintes objetivos específicos:

- I. Realizar compostos de cada categoria citada acima para diversas variáveis, tais como: anomalias de linhas de correntes em altos e baixos níveis,

anomalia de velocidade potencial e vento divergente em altos níveis, perfis verticais de anomalia de temperatura do ar, de vento e de velocidade vertical.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os padrões de teleconexões impactam toda a AS, afetando o clima desse continente (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009). O SAM é um importante modo de teleconexão que influencia a AS (GILLET et al., 2006; VASCONCELLOS, 2012; VASCONCELLOS et al., 2019). Os Modos Anulares atuam em ambos os hemisférios. No Hemisfério Norte (HN) é nomeado de Modo Anular Norte ou Oscilação Ártica, já no HS, SAM (THOMPSON; WALLACE, 2000). Eles atuam no campo da pressão, caracterizando uma “gangorra” N-S de massa atmosférica. Em sua fase positiva, a pressão é inferior às normais nas regiões polares e superior nas latitudes médias. Na fase negativa ocorre o oposto, as latitudes médias encontram-se com pressão abaixo do normal, enquanto as polares, acima. Reboita et al. (2009) fizeram a análise sazonal entre os sistemas ciclônicos no HS e o SAM, durante o período de 1980 a 1999. Neste trabalho foi observado, na fase negativa do SAM, a trajetória dos ciclones em todo o HS movendo-se mais para norte, comparada à fase positiva. Para a AS e Atlântico Sul, observou-se na fase negativa do SAM intensas atividades frontogênicas e anomalias positivas de precipitação na costa do SEAS. Em geral, na fase positiva, os autores observaram condições inversas. Vasconcelos et al. (2019) analisaram o impacto, mês a mês, das fases do SAM na AS. Os autores encontraram em diversos meses, anomalias positivas (negativas) de temperatura no SEAS e em parte das Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil durante a fase negativa (positiva) do SAM. Entretanto, a abrangência dessas anomalias difere entre os meses. Em fevereiro e dezembro, há um dipolo de anomalia de temperatura, com anomalias positivas (negativas) no SEAS e negativas (positivas) ao norte na fase negativa (positiva) do SAM. Esse trabalho também indicou um enfraquecimento (intensificação) da Zona de Convergência do Atlântico Sul na fase negativa (positiva) do SAM. A região do SEAS mostra anomalias positivas (negativas) de precipitação na fase negativa (positiva) do SAM, durante os meses de março a junho e dezembro.

O ENOS é uma alteração no sistema oceano atmosfera, com impactos no tempo e clima de todo o globo. Na fase positiva, El Niño, ocorre o aumento anormal na temperatura das águas superficiais e sub-superficiais do Pacífico equatorial central e leste, resultando em mudanças na atmosfera próxima ao oceano; enquanto na fase negativa, La Niña, ocorre o resfriamento dessas águas (PHILANDER, 1990; TEDESCHI, 2013). Alguns estudos apontam as influências do ENOS na AS (GRIMM, 2003; VERA et al., 2004; TEDESCHI, 2013). De acordo com Grimm (2003) e Vera et al. (2004), durante o El Niño (La Niña), há precipitação abaixo do normal no norte da AS, e acima do normal na região do SEAS. Nos períodos de La Niña ocorre o oposto, isto é, acima do normal no norte da AS e abaixo no SEAS. No entanto, os efeitos desse padrão de teleconexão na precipitação ainda não são claros em todo continente. Tedeschi (2013) analisou os impactos dos El Niños Canônico e Modoki na precipitação sobre AS. Nestes resultados, destacou-se que os impactos se diferem nos dois tipos de El Niño. Por exemplo, no verão e primavera, há uma anomalia de seca caracterizada nessa região, referente ao El Niño Modoki, que não se encontra presente no Canônico. Federova e Carvalho (2000) analisaram a relação das frentes com ENOS. Os resultados mostram que as ocorrências das frentes frias de latitude entre 20 e 40°S foram maiores no ano de El Niño do que de La Niña.

Ainda sobre o estudo de climatologia de frentes frias, Andrade (2005) buscou avaliar as frequências de frentes frias a partir de 11 áreas na AS no período de 1980 a 2002. As análises se deram a partir das estações do ano, obtendo valores em torno de 3-6 frentes em média. Observou-se também que, para o mês de setembro, há maiores frequências das frentes frias sobre a AS, quando comparado a fevereiro, sendo as maiores frequências ao sul da AS. Neste estudo também foram observados casos envolvendo o ENOS, ao analisar a variabilidade interanual, não observando padrão para um número máximo ou mínimo em eventos de El Niño e La Niña. No entanto, observa-se que para o sul e sudeste do Brasil, o máximo ocorreu em 1984, no período que se iniciou uma La Niña.

Estudos apontam o vínculo entre o SAM e ENOS. Carvalho et al. (2005), por exemplo, mostraram que no verão, as fases negativas SAM são predominantes quando as anomalias de Temperatura de Superfície do Mar (TSM), convecção e circulação são semelhantes ao El Niño, ocorrendo o oposto em sua fase negativa. Cai et al. (2011) avaliaram simulações envolvendo comparações entre modelos do *Coupled Model Intercomparison Project phase3* (CMIP3), entre outros. Nesse estudo, observou-se a influência dos padrões de

teleconexões mencionados, numa relação estatisticamente significativa, demonstrando a ideia de que os sinais do ENOS são direcionados e projetados para o SAM. Na maioria dos modelos, foi observado uma correlação negativa entre o SAM e o ENOS, i.e., quando o índice ENSO é positivo e o índice SAM negativo e vice-versa. Essa relação entre o ENOS e SAM ocorre por meio de variações na célula Hadley e na circulação média meridional no HS. A localização da quebra da onda de Rossby no setor do Pacífico muda acentuadamente durante os eventos ENOS, que influenciam a polaridade do SAM (FOGT; MARCHALL, 2020).

As mudanças na extensão de gelo marinho têm influência em todo o globo. O gelo marinho tem impactos no clima do HS, o seu isolamento ajuda a preservar o calor dos oceanos e afetando as correntes oceânicas e o equilíbrio do clima (YUAN; MARTINSON, 2000). Alguns trabalhos têm destacado a variação espacial e temporal da extensão de gelo marinho Antártico com padrões de variabilidade, particularmente o ENOS e o SAM (PEZZA et al., 2008; PEZZA et al., 2012; CLEM; FOGT, 2013; CLEM et al., 2016, entre outros).

No estudo de Pezza et al. (2012), foram verificadas as maiores correlações positivas entre o ENOS e o gelo marinho no Mar de Bellingshausen e maiores correlações negativas no Pacífico Sul/Mar de Ross. Outras áreas de correlação moderada ocorrem no MWD, positiva, e no Oceano Antártico entre os setores do Atlântico e Índico, com correlação negativa. Naquele estudo, foram observadas correlações positivas entre o gelo marinho e o SAM para todas as áreas, com exceção do Mar de Bellingshausen/Weddell Oeste. Assim resultando, que o ENOS e o SAM atuariam em união na extensão de gelo marinho antártico. Conexões climáticas entre a variabilidade do gelo marinho na Antártica e o clima de diversas regiões da AS têm sido muito investigadas nas últimas décadas, principalmente devido à importância do continente antártico no equilíbrio do sistema climático global, bem como no controle da circulação atmosférica do HS (e.g. HALL; VISBECK, 2002; RAPHAEL et al., 2010; PEZZA et al., 2012; CARPENEDO; AMBRIZZI, 2016).

O estudo de Carpenedo e Ambrizzi (2016) verificou que, para o setor do MWD, nos eventos extremos de retração (expansão), identificando um aquecimento (resfriamento) da temperatura da superfície do mar (TSM) neste setor e no Atlântico Sul. Também foi verificado, durante os eventos extremos de expansão um reforço do ramo descendente da

célula Polar ao sul de 70° S e enfraquecimento do ramo ascendente da célula de Ferrel entre 70° e 50° S. Já para a célula de Hadley, notou-se um enfraquecimento do ramo ascendente da célula de Hadley em 10° e 20° N, enquanto o ramo descendente intensifica na região equatorial. No setor do MBA, nos extremos de retração (expansão), observou-se um aquecimento (resfriamento) da TSM neste setor e no Pacífico Sul. Para as células, durante os eventos de expansão, notou-se um fortalecimento do ramo ascendente da célula de Ferrel em toda a troposfera, enquanto houve um enfraquecimento o ramo descendente da célula Polar. Na célula de Hadley, foi visualizado na região equatorial há um fortalecimento do ramo ascendente da célula de Hadley entre 5° N e 10° N. No entanto, durante os eventos extremos de retração há um fortalecimento do ramo descendente de Hadley em toda a troposfera em torno de 35° S, enquanto o ramo ascendente da célula de Ferrel, notou-se enfraquecimento em torno de 40° S, indicando um possível deslocamento para sul da célula de Ferrel.

No ano anterior do projeto, realizou-se compostos com as frequências de frentes frias para cada categoria de (ex. máxima extensão de gelo em anos de El Niño e SAM negativo, máxima extensão de gelo em anos de La Niña e SAM negativo, etc). Neste, foram observadas as seguintes características nas frequências das frentes para MBA: no continente, foram observadas maiores frequências nas fases do SAM negativo, El Niño e em ambos os extremos de gelo marinho; no oceano Atlântico adjacente, as maiores frequências ocorreram nas fases SAM positivo, La Niña e máxima extensão de gelo marinho. Para o MWD: no continente, as maiores frequências de frentes frias foram encontradas nas fases do SAM negativo, El Niño e máxima extensão de gelo marinho; para o oceano, as maiores frequências ocorreram no SAM positivo, La Niña e máxima e na mínima extensão de gelo marinho (CALDAS, 2020; CALDAS et al., 2020)

3. DADOS E METODOLOGIA

Neste estudo utilizou-se saídas a cada 6 horas da Reanálise Era-Interim do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), para o período de 1981-2010 (DEE et al., 2011). As variáveis abordadas foram geopotencial em 700hPa, componentes zonal e meridional do vento, velocidade vertical (ômega) e temperatura do

ar em diversos níveis. Para a TSM, foram utilizados os dados da NOAA, *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5* (ERSSTv5 - HUANG ET AL., 2017).

Para a identificação dos padrões de teleconexão, utilizou-se o índice ENOS (região Niño 3.4, disponível em <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>) e o índice SAM usado em Vasconcellos et al. (2019), obtido por comunicação pessoal. Os critérios estabelecidos para a identificação automática das frentes frias neste trabalho foram que houvesse, no intervalo de um dia para o outro, queda da temperatura do ar em 925 hPa de no mínimo 2°C, aumento da pressão a nível médio do mar maior que 2 hPa e a mudança na componente meridional do vento em 925 hPa de norte (negativo) para de sul (positivo). Para a elaboração desse método objetivo que detectasse frentes para cada ponto de grade da AS, um programa utilizando a linguagem computacional python – jupyter foi criado. Os dados em cada ponto de grade da região (50°S-10°N e 85°-30°W) foram transformados em matrizes (tamanho referente a latitude e longitude) em cada saída de média diária do mês correspondente. O programa realizou uma busca em que cada ponto de grade onde os critérios da frente fria fossem obedecidos, foi somado o valor 1 ao ponto correspondente em uma matriz de mesmo tamanho. Essa matriz inicialmente continha em cada ponto o valor zero. Quando os critérios ocorreram em mais de um dia seguido no mesmo ponto de grade, foi contabilizado como a mesma frente (somado somente 1 na matriz de frequência mensal). A data da frente foi considerada como o dia em que a frente iniciou naquele ponto de grade. Ou seja, caso uma frente em um ponto de grade tenha iniciado no final de um mês e terminado no início do mês seguinte, ela foi contabilizada como do mês em que ela iniciou. O cálculo da frequência mensal de frentes frias em cada ponto de grade foi realizado para os 30 anos (1981-2010) (CALDAS, 2020; CALDAS et al., 2020).

Assim, como visto no relatório anterior, para MBA, a máxima frequência de frentes frias encontra-se na fase SAM negativo, El Niño, máxima e mínima extensão de gelo marinho no MBA, já para o Oceano Atlântico adjacente, na fase de SAM positivo, La Niña, máxima extensão no MBA (Tabela 3.1).

Tabela 3.1: Anos envolvendo cada categoria em que foram observadas máximas frequências de frentes frias no mês de setembro, na análise com o MBA.

SAM negativo, El Niño - MBA Máxima extensão de gelo marinho	1991, 2009, 1997, 1994
SAM negativo, El Niño - MBA Mínima extensão de gelo marinho	2002, 2006, 1987
SAM positivo, La Niña - MBA Máxima extensão de gelo marinho	1995, 2010

Para o MWD, também no mês de setembro, foram observadas para o continente um maior número de frequência de frentes nas fases correspondentes SAM negativo, El Niño - Máxima extensão de gelo marinho no MWD e para o oceano SAM positivo, La Niña - Máxima e Mínima extensão de gelo marinho.

Tabela 3.2: Anos envolvendo cada categoria em que foram observadas máximas frequências de frentes frias no mês de setembro, na análise com o MWD.

SAM negativo, El Niño - MWD Máxima extensão	2009, 1997, 2006, 1991, 1987
SAM positivo, La Niña - Máxima extensão	1995
SAM positivo, La Niña - Mínima extensão	2010

Assim, foram criados compostos para as categorias mencionadas (Tabelas 3.1 e 3.2), em que foram encontradas as máximas frequências de frentes frias. Para a realização dos compostos utilizou-se o programa computacional OpenGrads, na versão 2.2.1. Os seguintes compostos foram criados: anomalias de linhas de corrente em altos níveis (200 hPa) e baixos (850 hPa) níveis, anomalia de altura geopotencial em 700 hPa, anomalia de velocidade potencial e vento divergente em 200 hPa, perfis verticais de anomalia da temperatura de ar, do vento e de velocidade vertical. Para o cálculo das anomalias, foi considerada a climatologia do período de 1981 - 2010.

Nos compostos envolvendo perfis verticais, foram analisadas as longitudes em que houve a maior ocorrência de frentes para cada imagem, para que fosse possível a análise em diversos níveis. Os compostos contaram com a significância estatística, para isso foram utilizadas o teste t-student, com nível de confiança de 95% (WILKS, 2006).

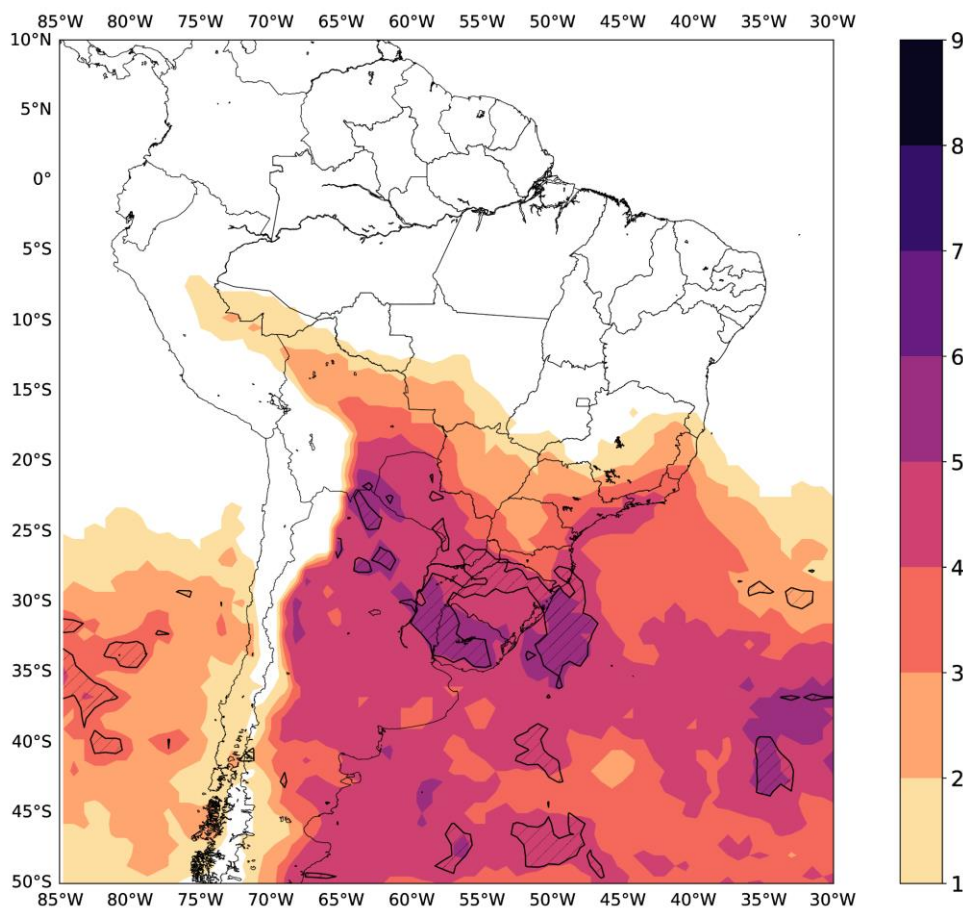
4. RESULTADOS

4.1 Mar de Bellingshausen-Amundsen (MBA)

4.1 a) SAM negativo, El Niño, Máxima extensão de gelo marinho antártico no MBA (máxima frequência de frentes frias no continente)

Para as análises, iniciaremos com a fase do SAM negativo, El Niño e máxima extensão de gelo (Figura 4.1).

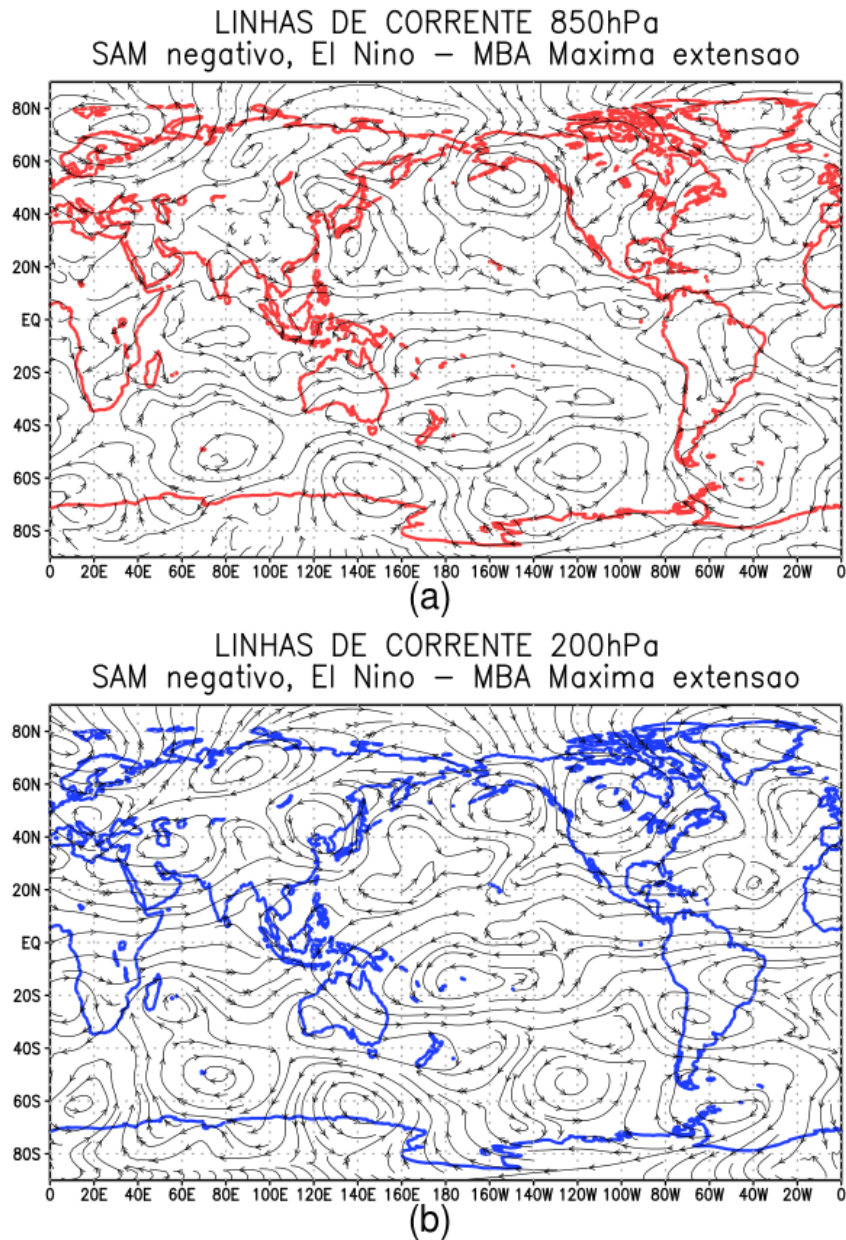
Figura 4.1: Composto da frequência de frentes frias para o mês de setembro na fase SAM negativo, El Niño - Máxima extensão de gelo marinho (categoria com máxima frequência no continente). Áreas hachuradas representam intervalo de confiança estatística de 90% (t- student).



Para esse conjunto de fases do ENOS e do SAM, foram observadas as maiores frequências de frentes frias no continente (CALDAS, 2020; CALDAS et al.; 2020). A Figura 4.2 apresenta as anomalias de linhas de corrente em baixos (a) e em altos níveis (b). Podemos observar em baixos níveis um padrão de onda 3 em latitudes médias e altas, gerando uma anomalia ciclônica no Atlântico Sul extratropical e no sul da AS (Figura 4.2a). Essa anomalia sugere que toda essa região está mais propensa à atuação de transientes, como por exemplo as frentes frias. Há também uma anomalia de norte vinda do Atlântico Norte tropical, adentrando o continente e confluindo na região do SEAS com os ventos do ciclone anômalo extratropical. Ressalta-se que essa região é onde encontra-se a maior frequência de frentes (Figura 4.1). Essa anomalia de norte sugere um transporte de ar mais quente e úmido vindos do Atlântico e da Amazônia para o SEAS. As configurações descritas acima ajudam a explicar o máximo da frequência de frentes

encontradas na Figura 4.1. O padrão de onda 3 em latitudes médias e altas também é observado em altos níveis, indicando uma configuração barotrópica (Figura 4.2b). Além disso, observa-se um trem de ondas iniciando no Pacífico central até a AS e Atlântico Sul. Esse trem de ondas, mais o sinal da onda 3 sobre o Atlântico, gera um par de anomalias anticiclônica/ciclônica sobre a região do SEAS e ao norte (Figura 4.1b). Esse padrão dipolo de anomalias anticiclônica/ciclônica favorece a convecção e a atuação de transientes no SEAS (e.g., VASCONCELLOS; CAVALCANTI, 2010; VASCONCELLOS; SOUZA, 2020).

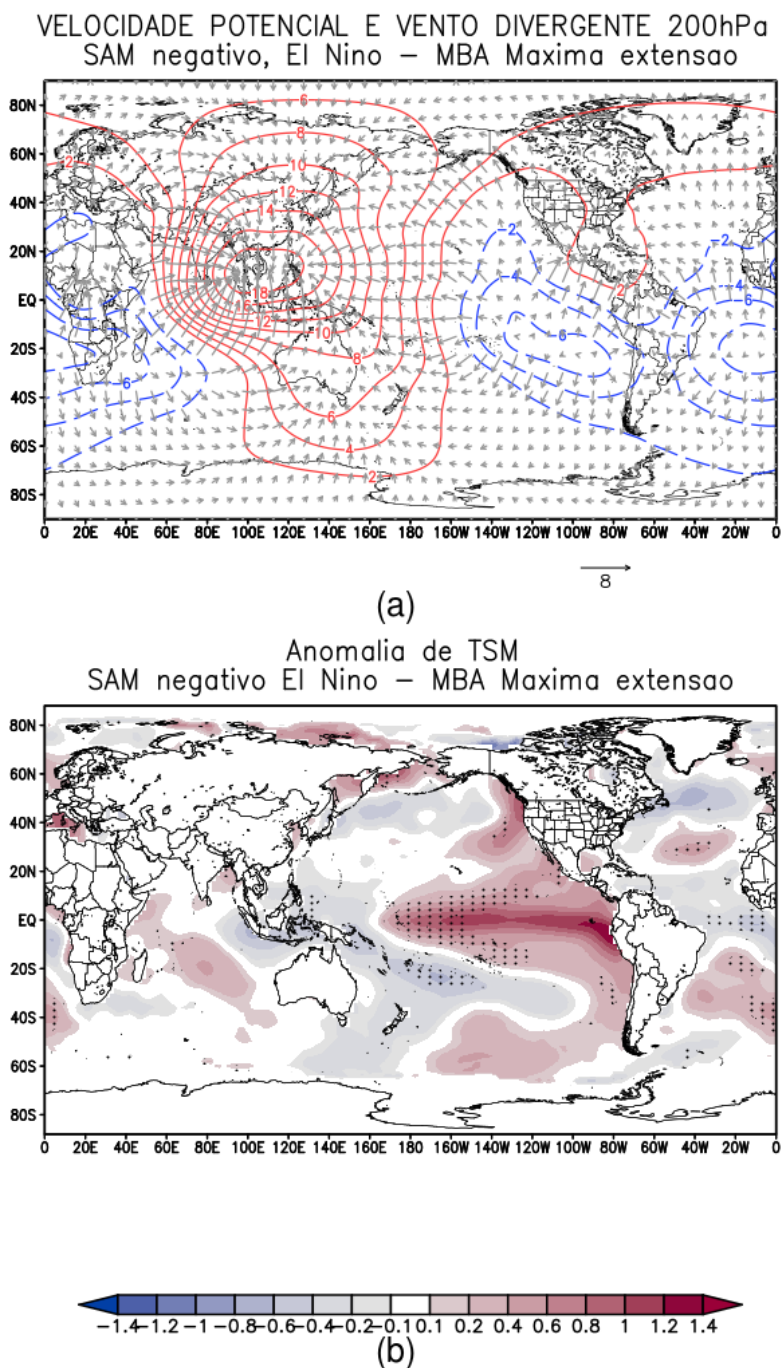
Figura 4.2: Composto de anomalia de linhas de corrente em setembro para SAM negativo, El Niño e máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) 850hPa e b) 200hPa



A Figura 4.3 apresenta os compostos de anomalia da velocidade potencial e do vento divergente em 200 hPa (a) e a anomalia de TSM (b). No Composto de anomalia de TSM (Figura 4.3), podemos observar a fase positiva do ENOS (El Niño), na região do Pacífico, com significância estatística na região central (20°N-20°S e 180°-80°W). No Atlântico, observa-se um gradiente positivo de anomalias de TSM entre o Atlântico extratropical e subtropical e anomalias negativas próximo ao equador, gerando uma espécie de tripolo significativo. Diversos estudos apontam o impacto da TSM do Atlântico na AS (DOYLE; BARROS, 2002; BOMBARDI; CARVALHO; JONES, 2014;

BOMBARDI ET AL., 2014; JORGETTI; SILVA DIAS; FREITAS, 2014; BERNARDINO; VASCONCELLOS; NUNES, 2018; VASCONCELLOS; SOUZA, 2020). Doyle e Barros (2002) mostraram que anomalias positivas de TSM na região do Atlântico Subtropical em janeiro favorecem a precipitação no SEAS. Bombardi et al. (2014), analisando o período de novembro a março, apresentaram que a fase positiva do Dipolo do Atlântico Sul favorece a precipitação no SEAS. Entretanto os resultados dos autores apresentam anomalias positivas de TSM desde a região equatorial até o sul do Brasil o que está parcialmente de acordo com os resultados encontrados aqui. Vasconcellos e Souza (2020) indicaram que o verão úmido de 2019 no SEAS (seco no Sudeste do Brasil) está associado com um gradiente positivo de anomalias de TSM no Atlântico extratropical/subtropical.

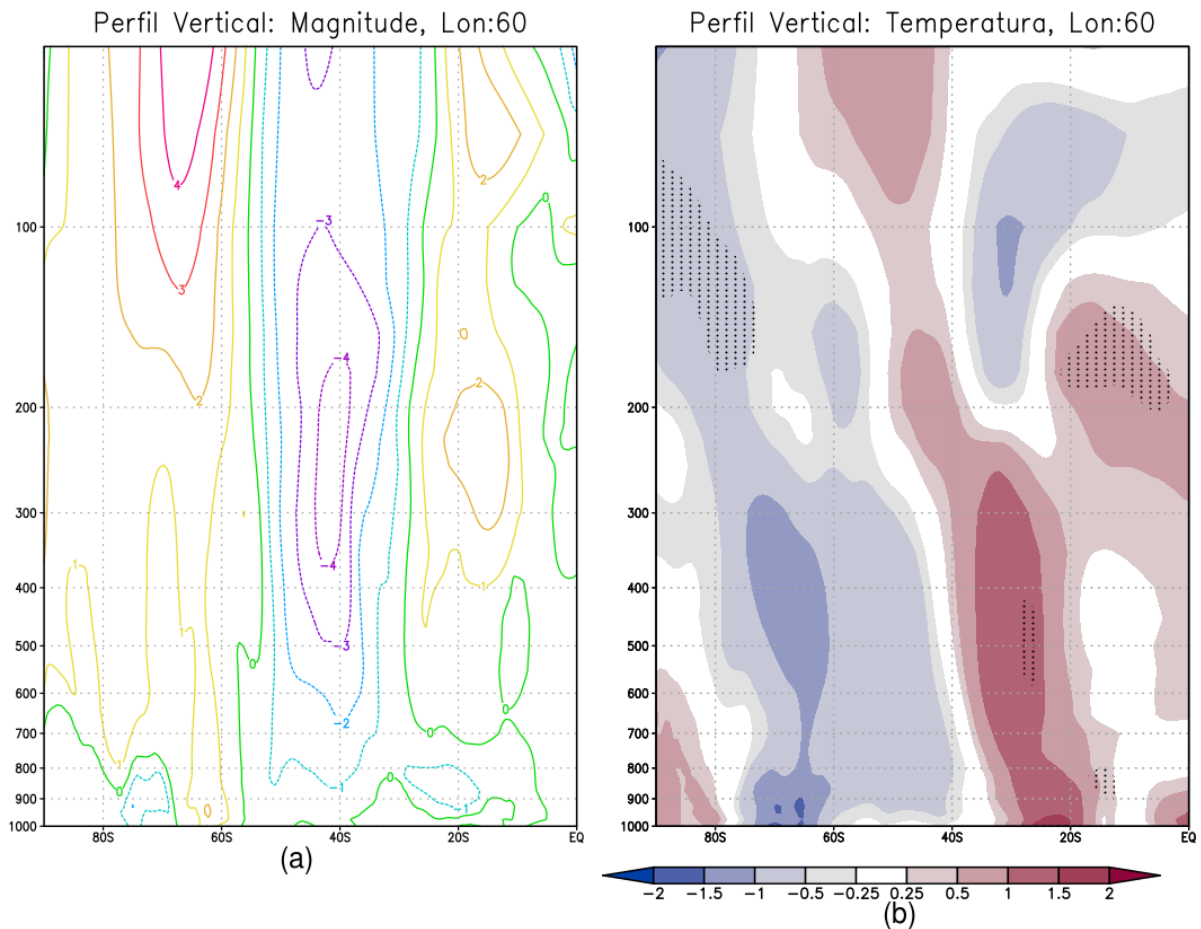
Figura 4.3: Composto de SAM negativo, El Niño, Máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) anomalia de velocidade potencial ($10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ - contorno) e anomalia do vento divergente (m.s^{-1} - vetores) em 200hPa; b) Anomalia de TSM ($^{\circ}\text{C}$). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student).



Os compostos com perfis verticais (Figura 4.4) foram gerados usando a longitude de 60°W , onde observou-se a maior quantidade de frentes frias no continente (Figura 4.1). Na Figura 4.4 a, anomalia de magnitude do vento, podemos visualizar o Jato Subtropical (JST) deslocado para norte e, característica coerente com a fase negativa do SAM e com El Niño (THOMPSON; WALLACE, 2000; ESCOBAR, 2009; VASCONCELLOS,

2012; FOGT; MARSHAL, 2020). Entretanto, observa-se uma intensificação do Jato Polar (JP) e do Jato Polar estratosférico, o que estaria em desacordo com a fase negativa do SAM (THOMPSON; WALLACE, 2000; ESCOBAR, 2009; VASCONCELLOS, 2012; FOGT; MARSHAL, 2020). Analisando o composto do perfil vertical de anomalia da temperatura do ar (Figura 4.4 b), podemos observar anomalias positivas na região polar e negativas em latitudes médias nos níveis baixos e médios, coerentes com a fase negativa do SAM. Entretanto a estratosfera polar apresenta anomalias negativas o que está em desacordo com a fase negativa do SAM (THOMPSON; WALLACE, 2000; VASCONCELLOS, 2012; FOGT; MARSHAL, 2020). Esses resultados sugerem uma mudança de fase do SAM entre a troposfera e a estratosfera. Além disso, observa-se um gradiente positivo de temperatura entre aproximadamente 75°S e o equador, com a mudança de sinal entre 40°-30°S em baixos níveis (região onde ocorreu maior quantidade de frentes). Ressalta-se que essas anomalias apresentam uma inclinação para sul com a altura, ratificando a sugestão de uma mudança de sinal do SAM na estratosfera.

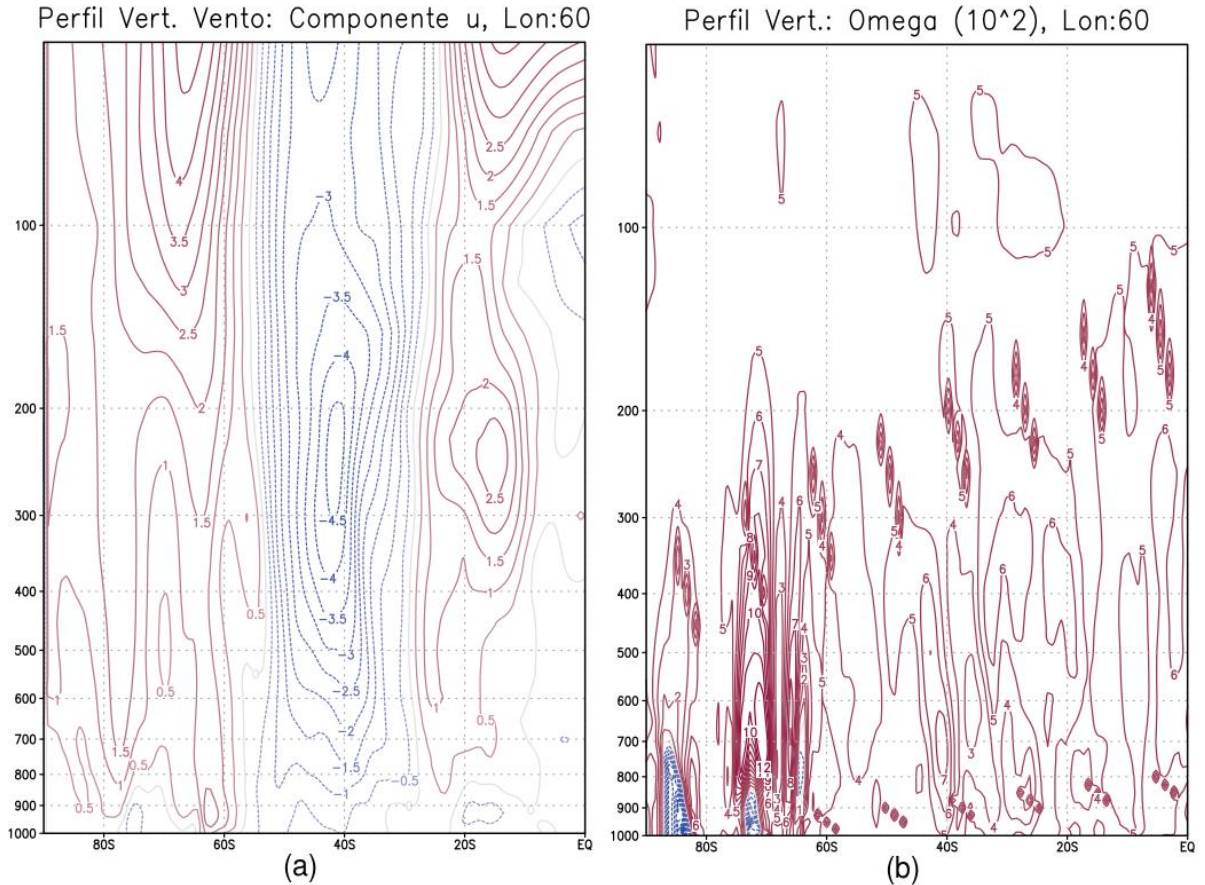
Figura 4.4: Composto de perfil vertical para SAM negativo, El Niño - Máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) anomalia de magnitude do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); b) anomalia de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student).



O composto do perfil vertical do vento zonal (Figura 4.5a) ratifica o de magnitude do vento (Figura 4.4 a). Para a velocidade vertical (ω), Figura 4.5b, podemos visualizar em geral, o enfraquecimento dos ramos ascendentes das três células de circulação meridional. Para as células de Hadley e Ferrel, há uma intensificação dos ramos descendentes, enquanto para a célula polar, o ramo descendente é enfraquecido nos níveis mais baixos da atmosfera. Alguns trabalhos visualizaram a conexão das células com os extremos de gelo marinho no setor (CARPENEDO; AMBRIZZI, 2016). Assim, foram observadas as influências do extremo de expansão de gelo marinho antártico no MBA, fortalecendo o ramo ascendente da célula de Ferrel em toda troposfera, enquanto o ramo descendente da célula Polar enfraquece. Para a região equatorial, eles observaram um fortalecimento do ramo ascendente da célula de Hadley entre 5°N e 10°N nos baixos e médios níveis e do ramo descendente entre 15°S e o Equador. Concordando

parcialmente com os resultados obtidos, principalmente para célula Polar, enquanto para as demais foram observados o oposto.

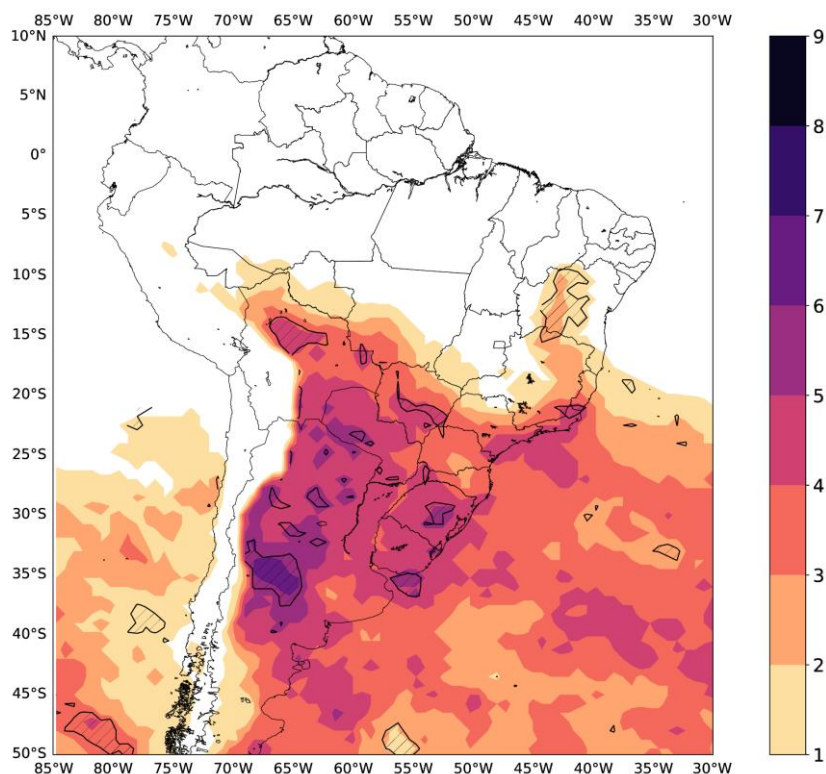
Figura 4.5: Composto de perfil vertical na fase de SAM negativo, El Niño - Máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) anomalia do vento zonal ($m.s^{-1}$); b) anomalia ômega ($10^2 Pa.s^{-1}$).



4.1 b) SAM negativo, El Niño, Mínima extensão de gelo marinho antártico no MBA (máxima frequência de frentes frias no continente)

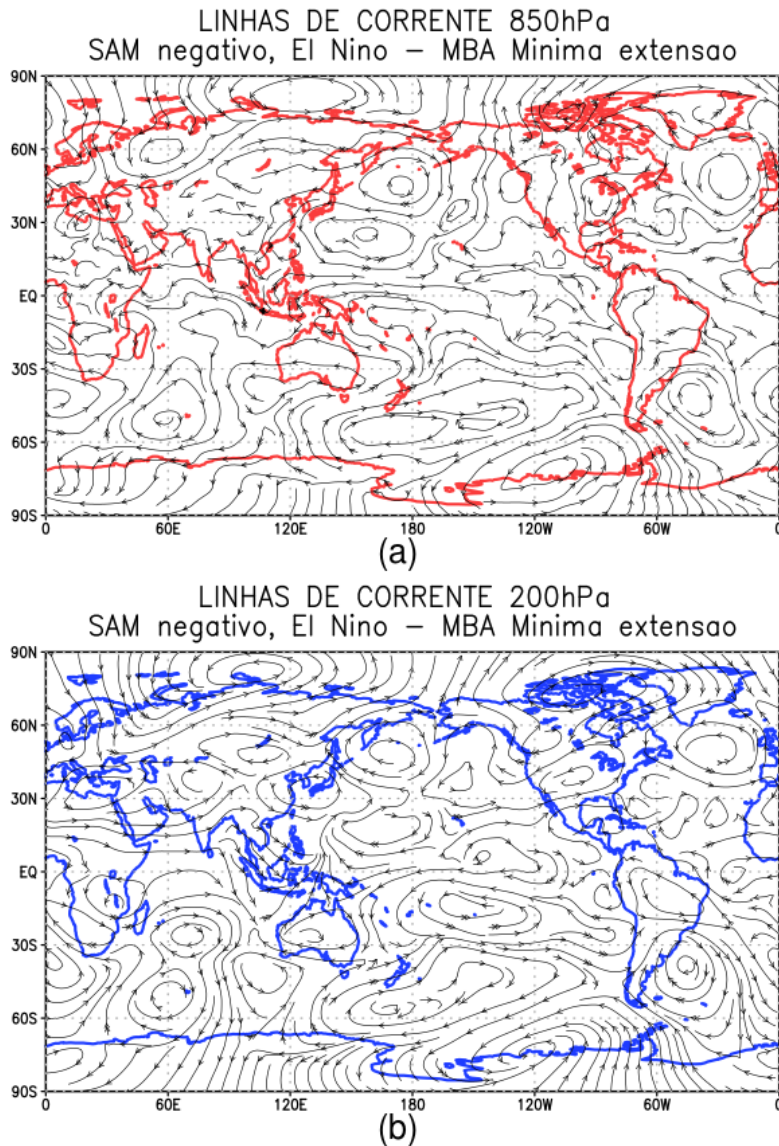
Assim como a fase de máxima extensão do gelo marinho no MBA, a extensão mínima do mesmo conjunto de fases do ENOS e SAM, também apresentou uma alta frequência de frentes frias no continente, porém com os maiores valores na Argentina, próximo de $35^{\circ}S$, como é observado na Figura 4.6.

Figura 4.6: Composto da frequência de frentes frias para o mês de setembro na fase SAM negativo, El Niño - Mínima extensão de gelo marinho (categoria com máxima frequência no continente). Áreas hachuradas representam intervalo de confiança estatística de 90% (t-student).



Assim, ao observar os compostos de linhas de correntes nessa categoria (Figura 4.7), podemos visualizar em baixos níveis (Figura 4.7a) um padrão de onda 3, porém deslocado em comparação à categoria analisada anteriormente (Figura 4.2). Observa-se também uma anomalia ciclônica sobre o Atlântico extratropical e AS, porém não há a presença de anomalias de norte vindas da Amazônia. Essa configuração favorece a atuação de transientes mais ao sul do SEAS. Em altos níveis (Figura 4.7b), o padrão de onda 3 também está presente de forma barotrópica, assim como o trem de ondas vindo do Pacífico Central tropical até a AS. Mas a configuração apresentada desloca o centro ciclônico anômalo do continente mais para norte, seguido por uma anomalia anticiclônica ao norte. Essa configuração pode explicar uma maior atuação de frentes nas Regiões Sudeste e Nordeste, comparado com a categoria anterior.

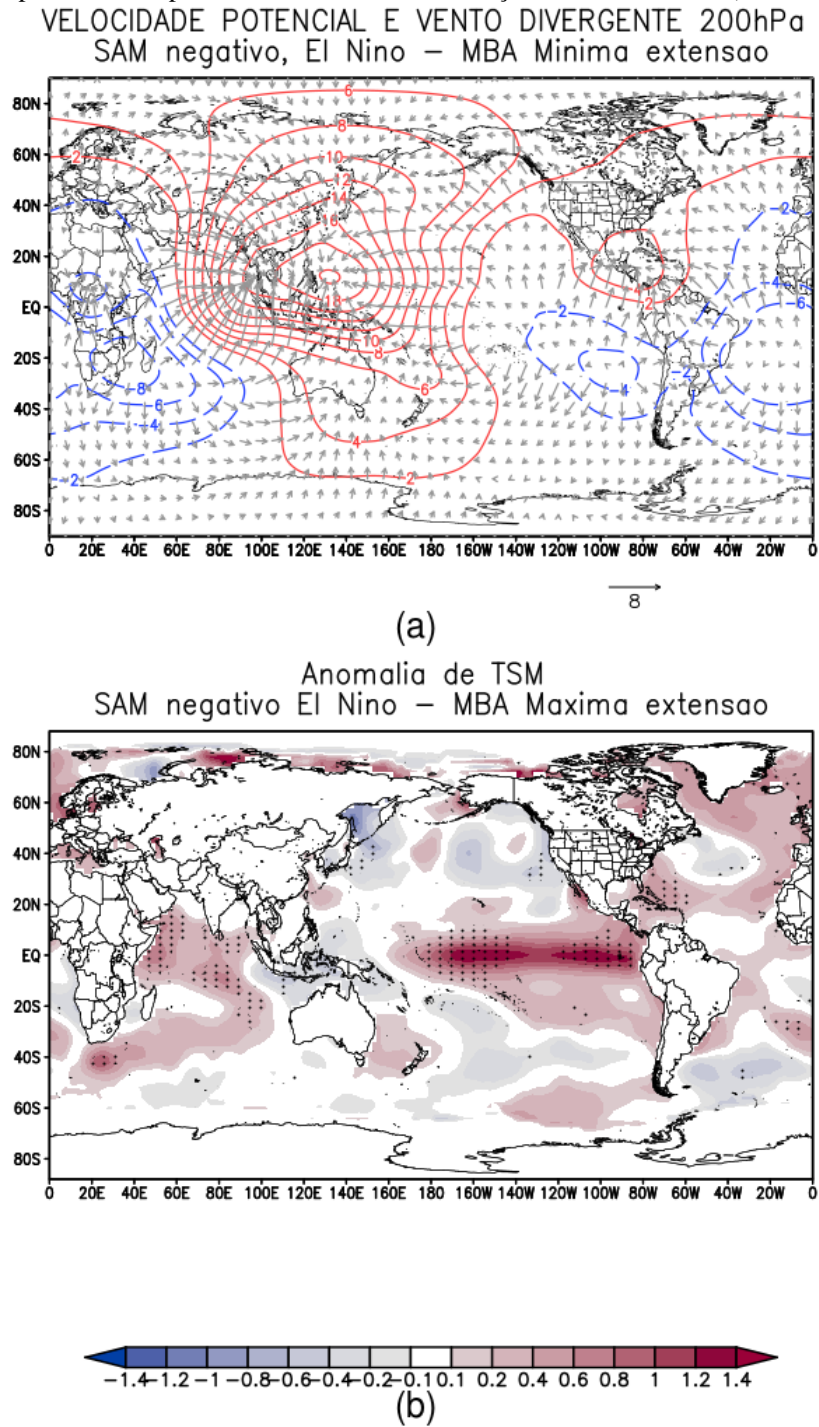
Figura 4.7: Composto de anomalia de linhas de corrente em setembro para SAM negativo, El Niño e mínima extensão de gelo marinho no MBA: a) 850hPa e b) 200hPa.



Ao observar os compostos de anomalia da velocidade potencial e do vento divergente em altos níveis (Figura 4.8 a), encontramos os mesmos padrões da categoria anterior, sendo encontrada uma convergência no Oceano Pacífico, próximo ao Sul da Ásia, enquanto nos oceanos próximos a AS, os fluxos divergem. Para a anomalia de TSM (Figura 4.8 b), também visualizamos a fase positiva do ENOS, dessa vez com significância estatística tanto no Pacífico central quanto leste. Na região do Atlântico, continuamos observando um gradiente positivo de anomalia de TSM entre extratropicos/subtrópicos. Entretanto, há uma maior área de anomalia de TSM negativa,

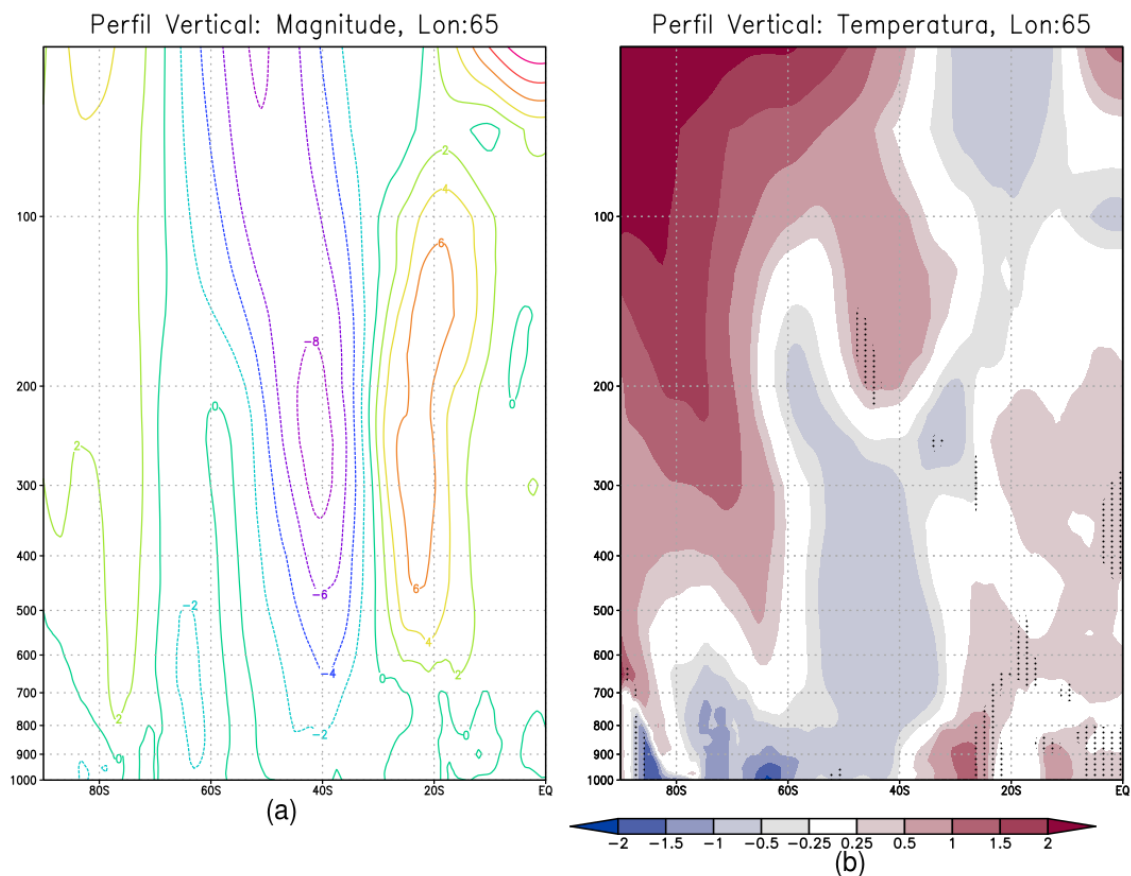
próxima ao sul da AS, enquanto a anomalia positiva de TSM ocorre mais próximo ao litoral.

Figura 4.8: Composto de SAM negativo, El Niño - Mínima extensão de gelo marinho no MBA: a) Velocidade potencial ($106 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ - contorno) e vento divergente (m.s^{-1} - vetores) em 200hPa b) Anomalia de TSM ($^{\circ}\text{C}$). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student).



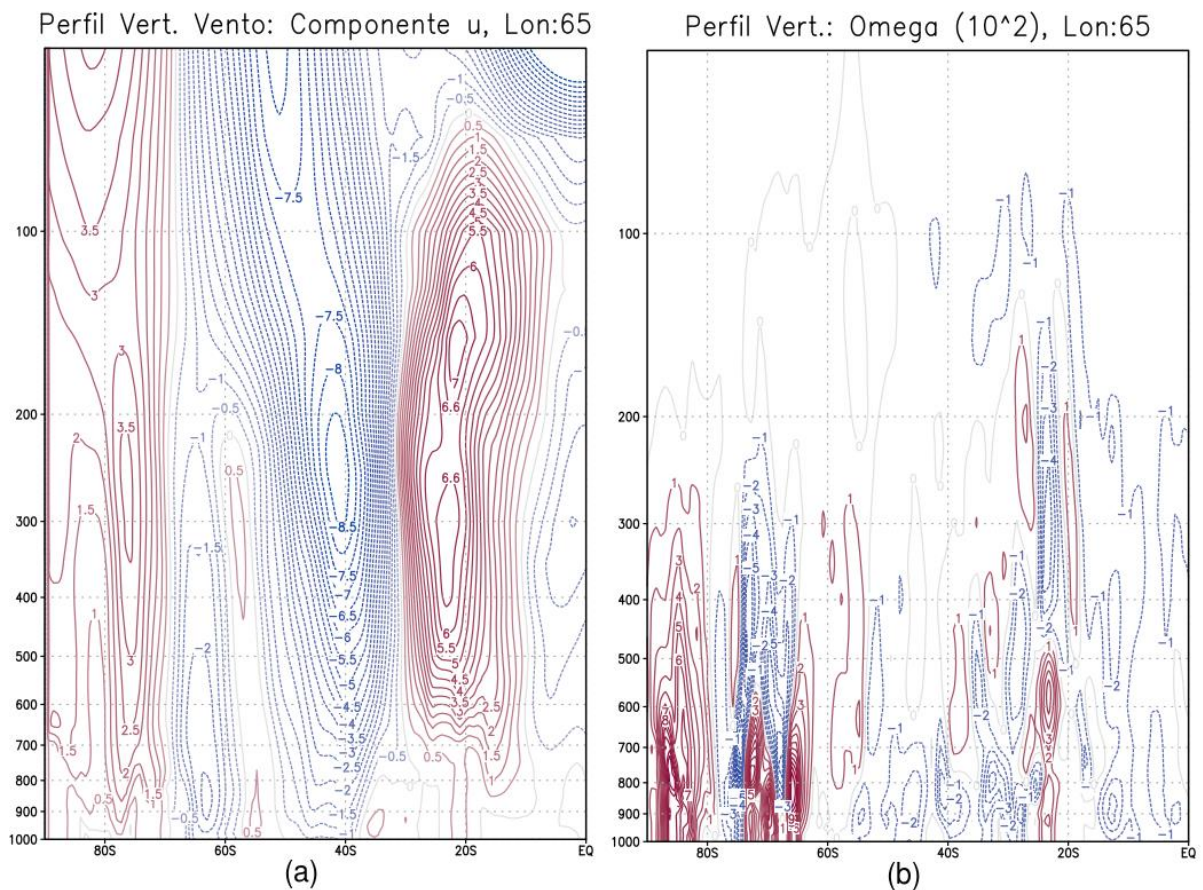
Para os compostos de perfis verticais, também foi utilizado o mesmo critério para a seleção das longitudes anteriores, sendo como a região de máxima frequência de frentes a longitude 65°W (Figura 4.6). Assim como na categoria anterior o JST encontra-se deslocado para norte (Figura 4.9 a). Entretanto, nessa categoria o JP encontra-se enfraquecido e deslocado para sul, o que é coerente com a fase negativa do SAM (THOMPSON; WALLACE, 2000; ESCOBAR, 2009; VASCONCELLOS, 2012; FOGT; MARSHAL, 2020). Na Figura 4.9b, podemos visualizar uma expressiva anomalia positiva de temperatura na estratosfera polar, o que é coerente com a fase negativa do SAM (THOMPSON; WALLACE, 2000; VASCONCELLOS, 2012; FOTG; MARSHAL, 2020). Nessa imagem também é possível visualizar um gradiente positivo de temperatura com a mudança de sinal em baixos níveis ocorrendo em aproximadamente 35°S, na latitude em que é possível observar a maior frequência de frentes frias (Figura 4.6).

Figura 4.9: Composto de perfil vertical para SAM negativo, El Niño - Mínima extensão de gelo marinho no MBA: a) anomalia de magnitude do vento ($m.s^{-1}$); b) anomalia de temperatura do ar ($^{\circ}C$). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student).



O perfil vertical da anomalia do vento zonal (Figura 4.10a) corrobora os resultados da magnitude (Figura 4.9a). Na Figura 4.10 b, podemos observar a intensificação do ramo ascendente da célula de Hadley. Para a célula de Ferrel, podemos notar o enfraquecimento do ramo descendente e ascendentes. Uma intensificação do ramo descendente da célula polar também é visível. Não sendo compatível com trabalhos anteriores (CARPENEDO; AMBRIZZI 2016), já que foi observado para os eventos de mínima extensão, verificou-se o fortalecimento do ramo descendente de Hadley em toda a troposfera em torno de 35° S.

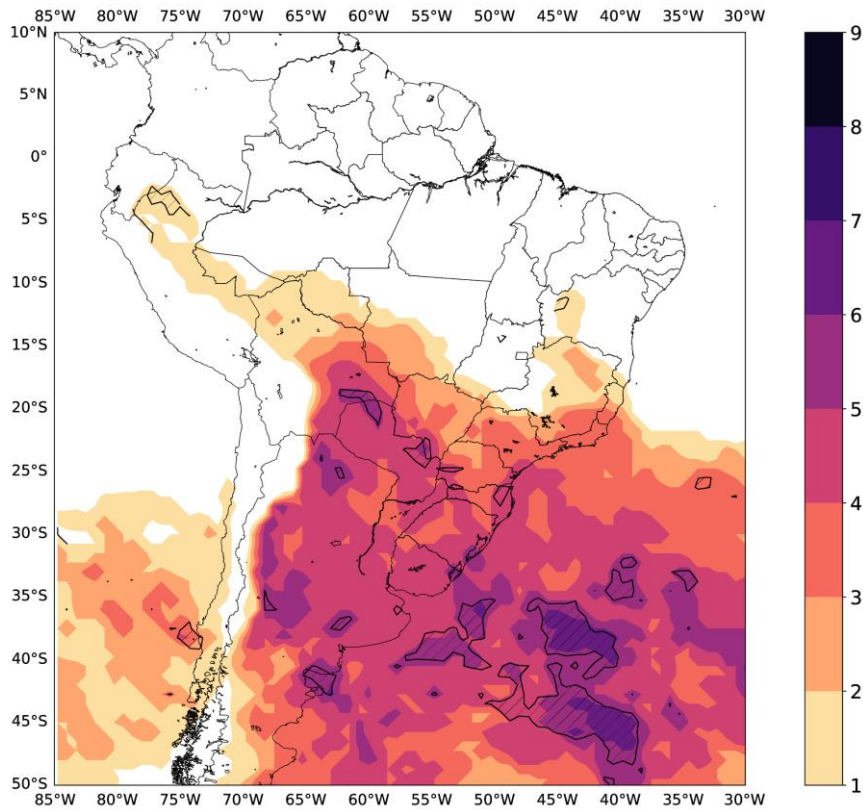
Figura 4.10: Composto de Perfil Vertical para SAM negativo, El Niño - Mínima extensão gelo marinho no MBA: a) anomalia do vento zonal ($m.s^{-1}$); b) anomalia de ω ($10^2 Pa.s^{-1}$).



4.1 c) SAM positivo, La Niña, Máxima extensão de gelo marinho antártico no MBA (máxima frequência de frentes frias no Oceano Atlântico adjacente)

Na configuração em estudo, foram observadas maiores frequências de frentes frias sobre o Oceano Atlântico adjacente, conforme a Figura 4.11.

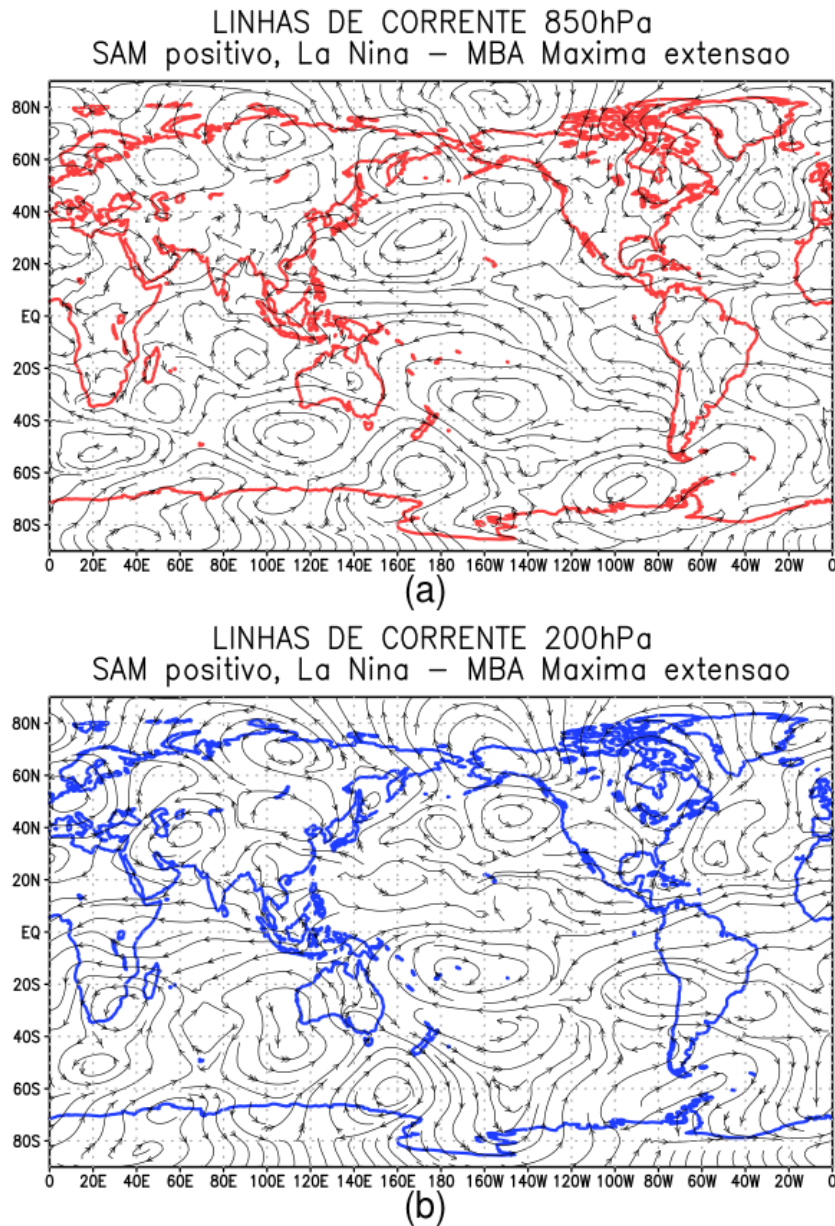
Figura 4.11: Composto da frequência de frentes frias para o mês de setembro na fase SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho no MBA (categoria com máxima frequência no continente). Áreas hachuradas representam intervalo de confiança estatística de 90% (t-student).



Na Figura 4.12, podemos observar padrão de onda 3 em latitudes médias e altas do HS tanto em baixos, quanto em altos níveis, numa configuração barotrópica. Esse padrão apresenta uma anomalia ciclônica no sul do Atlântico e do Pacífico próximos à AS. Em baixos níveis (Figura 4.12a), há uma intensificação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), gerando uma anomalia de norte no continente confluindo próximo ao Uruguai. Entretanto, também há uma intensificação da Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) e ambos os centros parecem adentrar mais o continente. Essa configuração, junto com a anomalia ciclônica no Atlântico Sul, parece favorecer mais a frequência de frentes sobre o oceano ao sul de 30°S. Também é observado um trem de onda tipo-PSA em altos níveis (Figura 4.12b), porém iniciando no Índico a oeste da Austrália. Ambos os trens de onda

geram um amplo centro anticiclônico anômalo em torno de 30°S na AS e oceanos adjacentes.

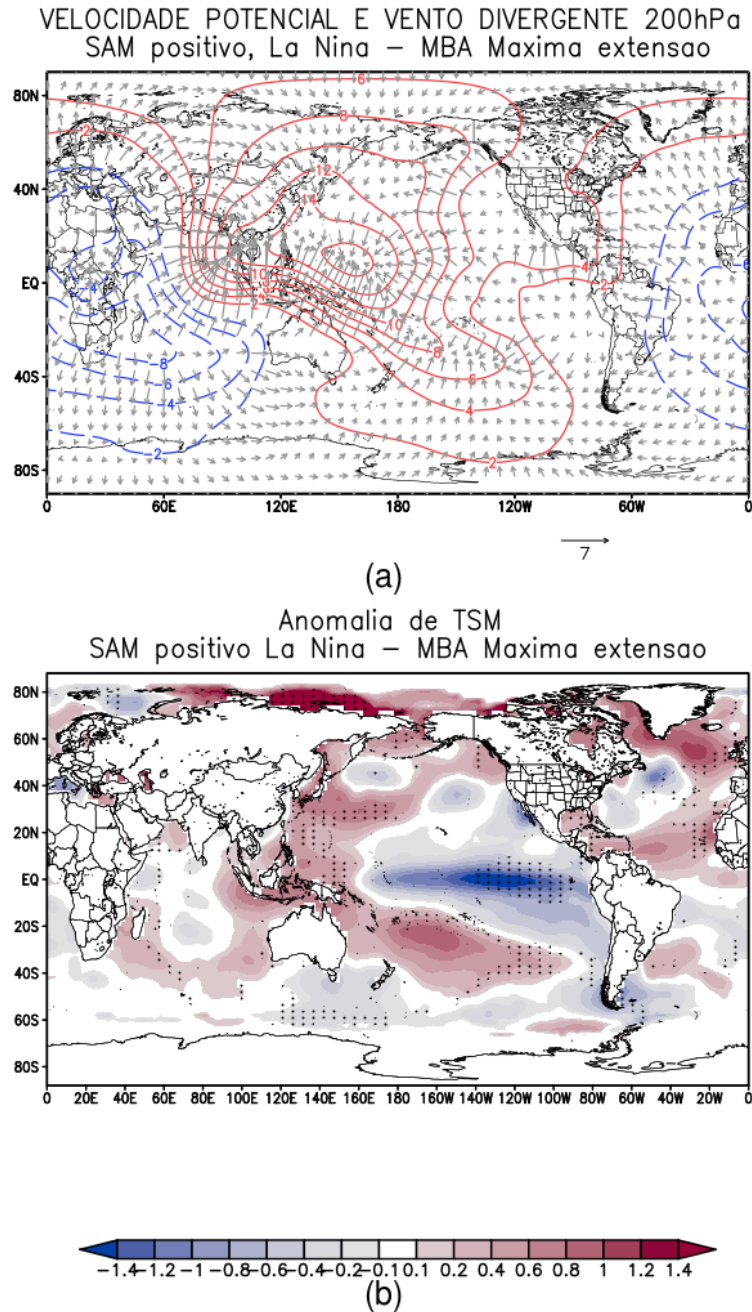
Figura 4.12: Composto de anomalia de linhas de corrente em setembro para SAM positivo, La Niña e máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) 850hPa; b) 200hPa.



Na Figura 4.13 a, pode-se observar o mesmo comportamento em relação às convergências/divergências em altos níveis. Neste composto, há divergência no Oceano Índico próximo da Austrália, coerente com a região de início do trem de onda tipo-PSA observado na Figura 4.12 b. É possível visualizar também divergência no Oceano Atlântico, porém sem adentrar muito AS. Na Figura 4.13 b, pode-se ser observada

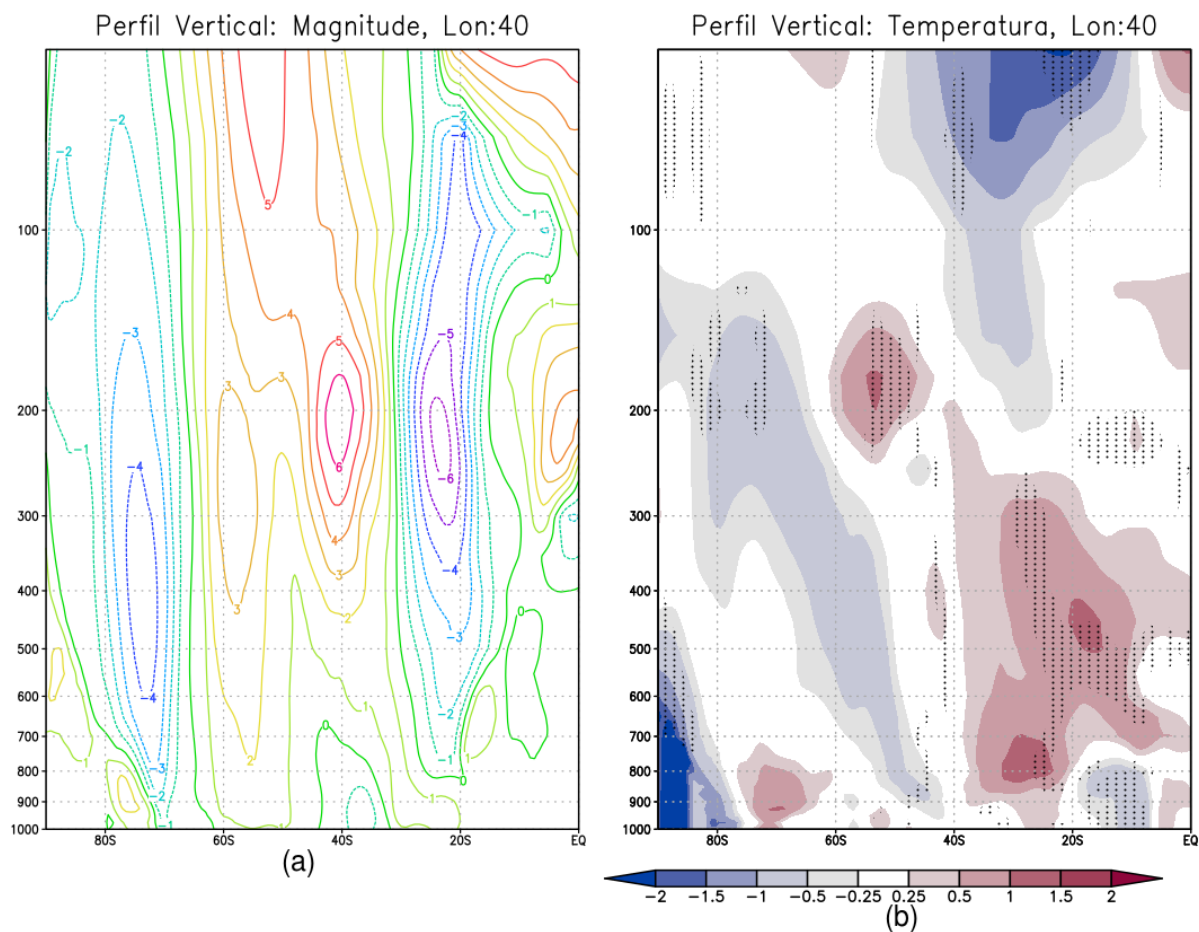
anomalia de TSM negativa no Pacífico tropical, o que é coerente com a fase analisada, La Niña. Também é possível notar anomalias na forma de um tripolo no Atlântico, com anomalia negativa ao sul da AS, positiva próximo ao SEAS e negativa ao norte.

Figura 4.13: Composto de SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) Velocidade potencial ($106 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ - contorno) e anomalia do vento divergente (m.s^{-1} - vetores) em 200hPa; b) Anomalia de TSM ($^{\circ}\text{C}$). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student).



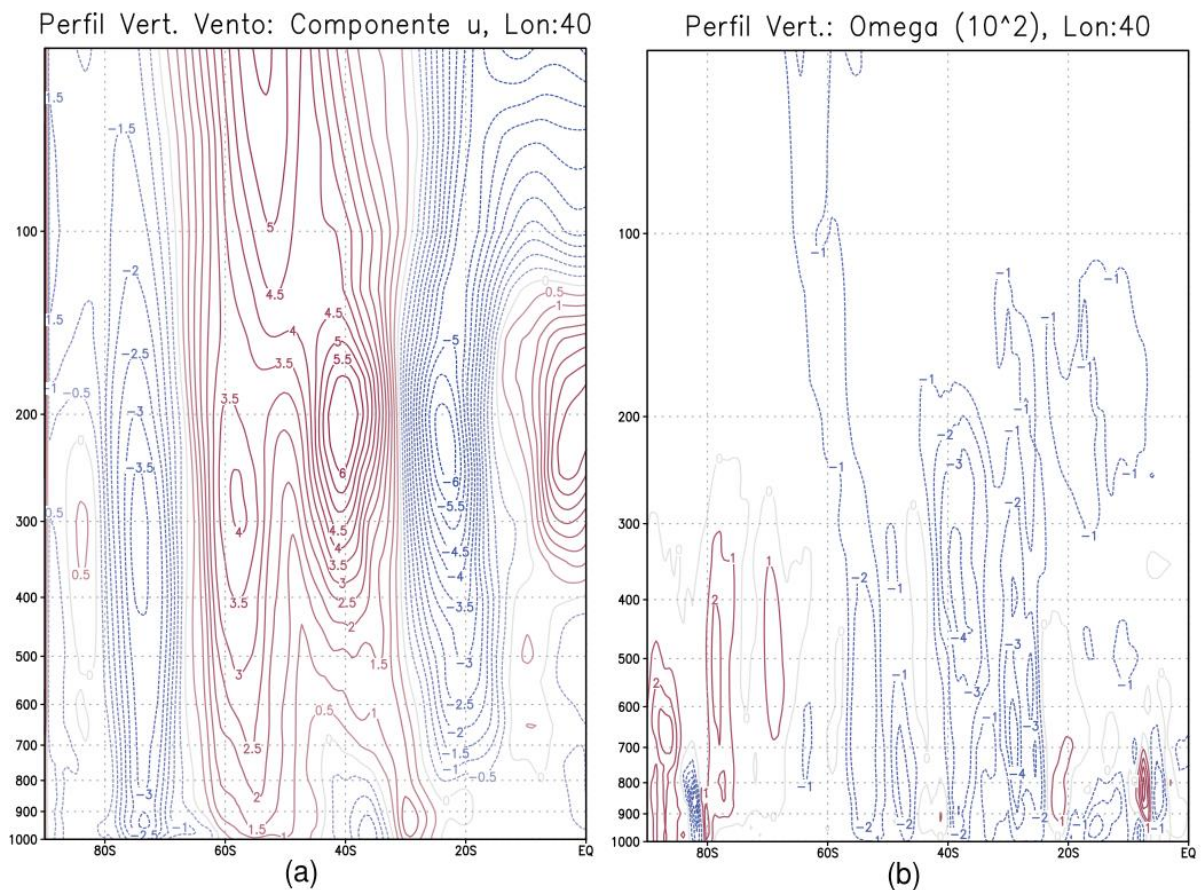
Para perfis verticais dessa categoria, foi utilizada a longitude de 40°W, onde as presenças das frentes estão mais concentradas no Oceano Atlântico (Figura 4.11). Analisando a Figura 4.14 a, podemos observar o deslocamento dos JST, alcançando maiores latitudes, e o JP mais intenso, o que é coerente com a fase positiva do SAM e com a La Niña (THOMPSON; WALLACE, 2000; ESCOBAR, 2009; VASCONCELLOS, 2012; FOGT; MARSHAL, 2020). Para a análise do perfil de anomalia de temperatura do ar (Figura 4.14b), podemos observar anomalias negativas (positivas) de temperatura em latitudes altas (médias) nos baixos níveis, o que é coerente com a fase positiva do SAM (THOMPSON; WALLACE, 2000; VASCONCELLOS, 2012; FOGT; MARSHAL, 2020). Nota-se também um gradiente positivo de temperatura com mudança de sinal em torno de 40°S, local onde podemos verificar as maiores frequências de frentes frias sobre o oceano (Figura 4.11).

Figura 4.14: Composto de Perfil Vertical para SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) anomalia de magnitude do vento ($m.s^{-1}$); b) anomalia de temperatura do ar ($^{\circ}C$). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student)



Na Figura 4.15, podemos visualizar os compostos dos perfis verticais das componentes zonal e meridional do vento. Conforme verificamos no perfil de magnitude do vento (Figura 4.14a), a Figura 4.15a apresenta o JST mais deslocado ao sul e próximo ao JP intensificado, que se encontra em torno de 60°S. Na Figura 4.15b, podemos observar uma leve intensificação do ramo ascendente da célula de Hadley na região equatorial e o enfraquecimento do ramo descendente. Também é possível notar o fortalecimento (enfraquecimento) do ramo ascendente (descendente) da célula de Ferrel e o fortalecimento da célula Polar, sendo compatível em partes com estudos anteriores (CARPENEDO; AMBRIZZI 2016), já que foram observados os mesmos resultados para a célula de Ferrel e para o ramo ascendentes da célula de Hadley.

Figura 4.15: Composto de Perfil Vertical para SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho no MBA: a) anomalia do vento zonal ($m.s^{-1}$); b) ômega ($10^2 Pa.s^{-1}$).

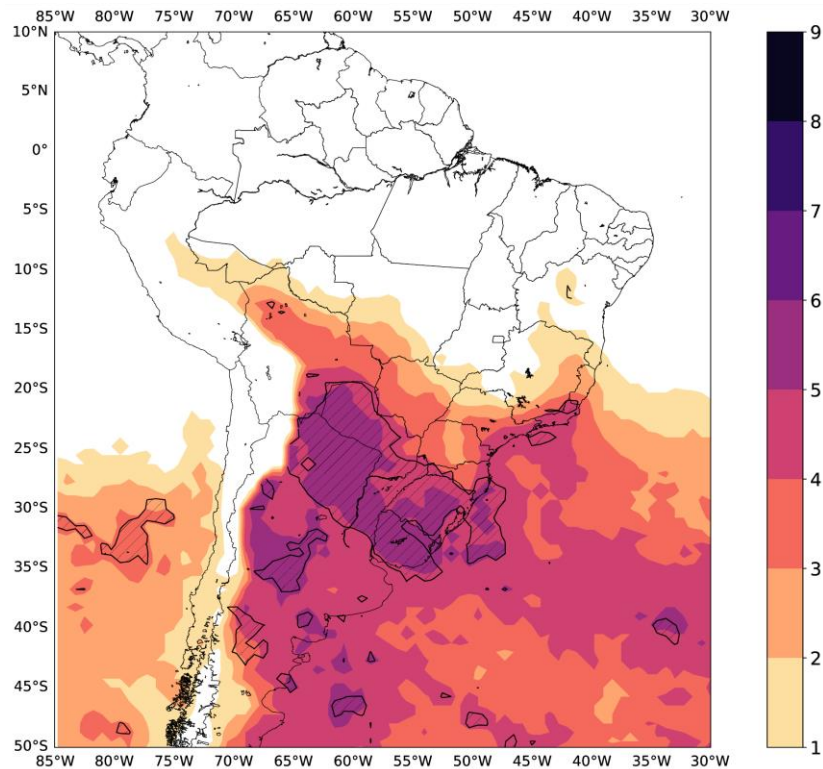


4.1 Mar de Weddell (MWD)

4.2 a) SAM negativo, El Niño, Máxima extensão de gelo marinho no MWD (máxima frequência de frentes frias no continente)

No MWD, foram observadas as maiores frequências de frentes frias no continente na fase negativa do SAM e positiva do ENOS, na máxima extensão de gelo marinho, conforme a Figura 4.16 (CALDAS, 2020; CALDAS et al. 2020).

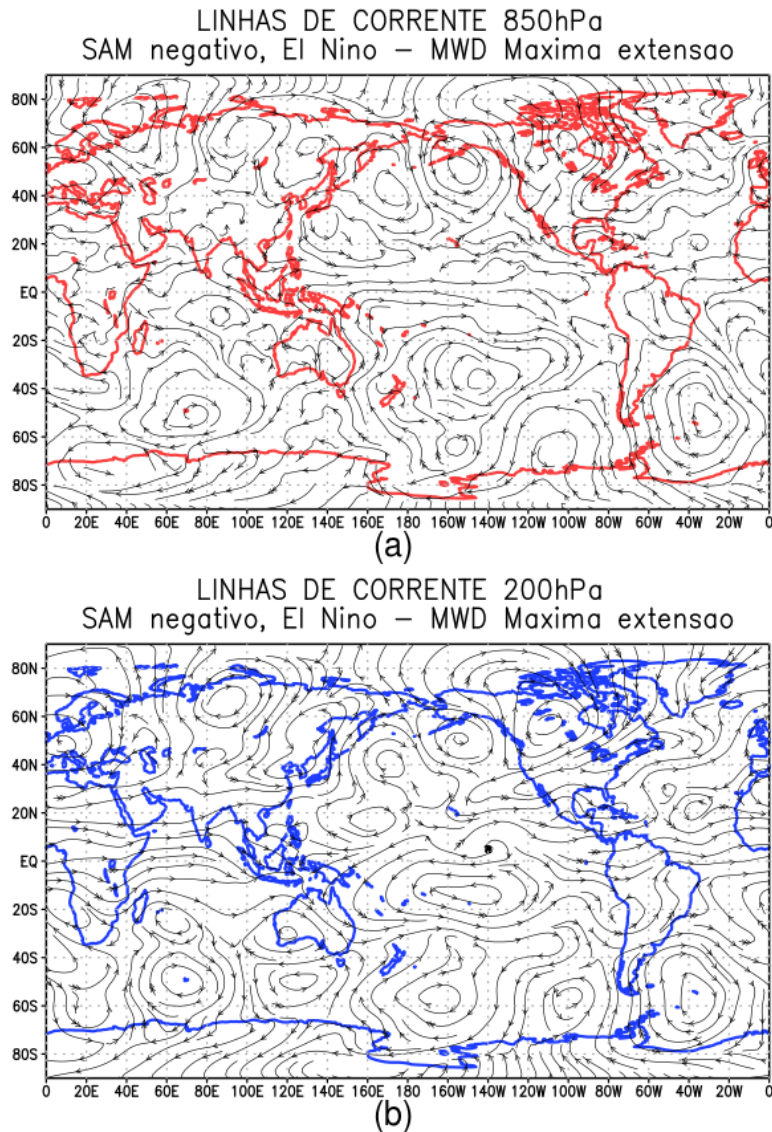
Figura 4.16: Composto da frequência de frentes frias para o mês de setembro na fase SAM negativo, El Niño - Máxima extensão de gelo marinho (categoria com máxima frequência no continente). Áreas hachuradas representam intervalo de confiança estatística de 90% (t student).



Na Figura 4.17, podemos observar as anomalias de linhas de corrente (a) em baixos níveis e em altos níveis (b). Em baixos níveis (Figura 4.17 a), podemos notar um padrão de onda 3 em latitudes médias e altas, gerando uma anomalia ciclônica no Atlântico Sul. Assim, para a essa região, essa anomalia estaria favorecendo a atuação de sistemas transientes. Podemos notar também a atuação de uma anomalia de norte vinda do Atlântico Norte tropical e Amazônia, até a região subtropical da AS. O padrão de onda 3 também pode ser observado em altos níveis (Figura 4.17b) em uma estrutura

barotrópica. Também em altos níveis, nota-se um trem de ondas tipo-PSA, iniciando no Atlântico central, reforçando as anomalias de circulação próximas à AS.

Figura 4.17: Composto de anomalia de linhas de corrente em setembro para SAM negativo, El Niño e máxima extensão de gelo marinho no MWD: a) 850hPa; b) 200hPa.

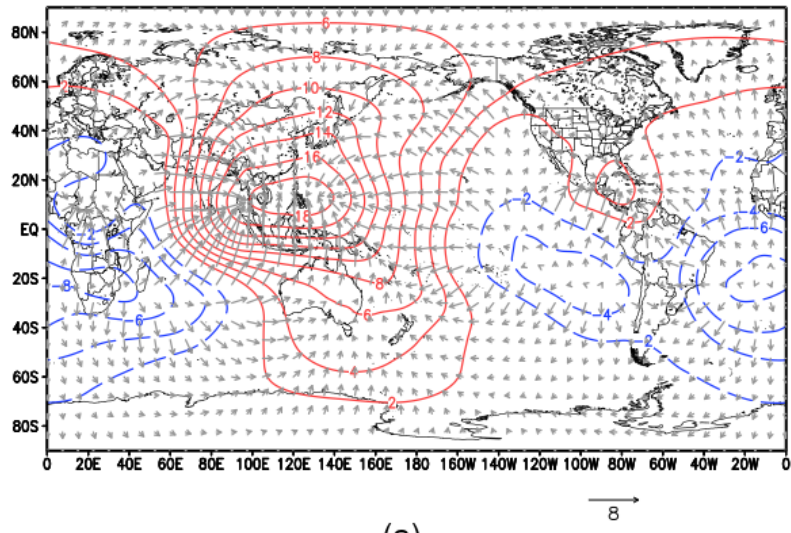


A Figura 4.18 apresenta os compostos de anomalia da velocidade potencial e do vento divergente em 200 hPa (a) e a anomalia de TSM (b). Ao observar a Figura 4.18 b, podemos notar a anomalia positiva de TSM, sendo correspondente com a fase do ENOS (El Niño), na região do Pacífico, além de possuir a maior área significativa. No Atlântico, também é possível visualizar um gradiente positivo de anomalia de TSM entre o Atlântico extratropical e subtropical, com significância estatística. Para a Figura 4.18 a, podemos

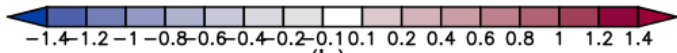
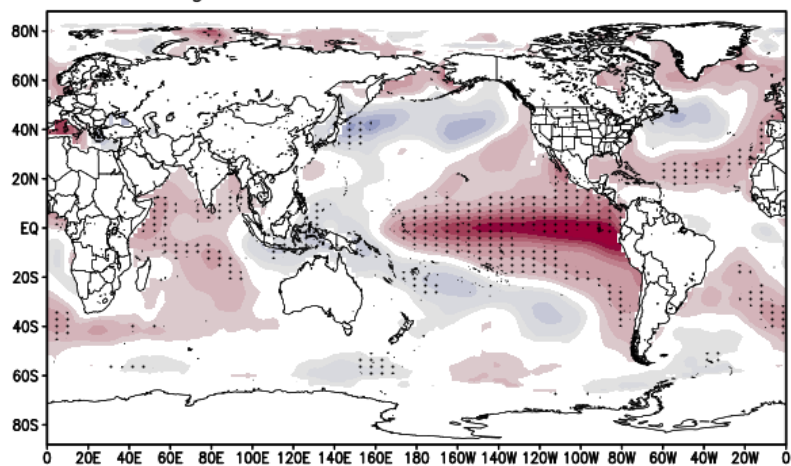
notar uma convergência anômala próximo a Austrália e divergências anômalas nos oceanos próximos à AS, tanto no Oceano Pacífico, quanto no Atlântico Sul. Essas regiões de divergências anômalas disparam o trem de ondas vindos do Pacífico e também ratificam a maior atuação de frentes frias.

Figura 4.18: Composto de SAM negativo, El Niño - Máxima extensão de gelo marinho no MWD: a) Velocidade potencial ($106 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ - contorno) e anomalia do vento divergente (m.s^{-1} - vetores) em 200hPa b) Anomalia de TSM ($^{\circ}\text{C}$). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student).

VELOCIDADE POTENCIAL E VENTO DIVERGENTE 200hPa
SAM negativo, El Niño - MWD Maxima extensao



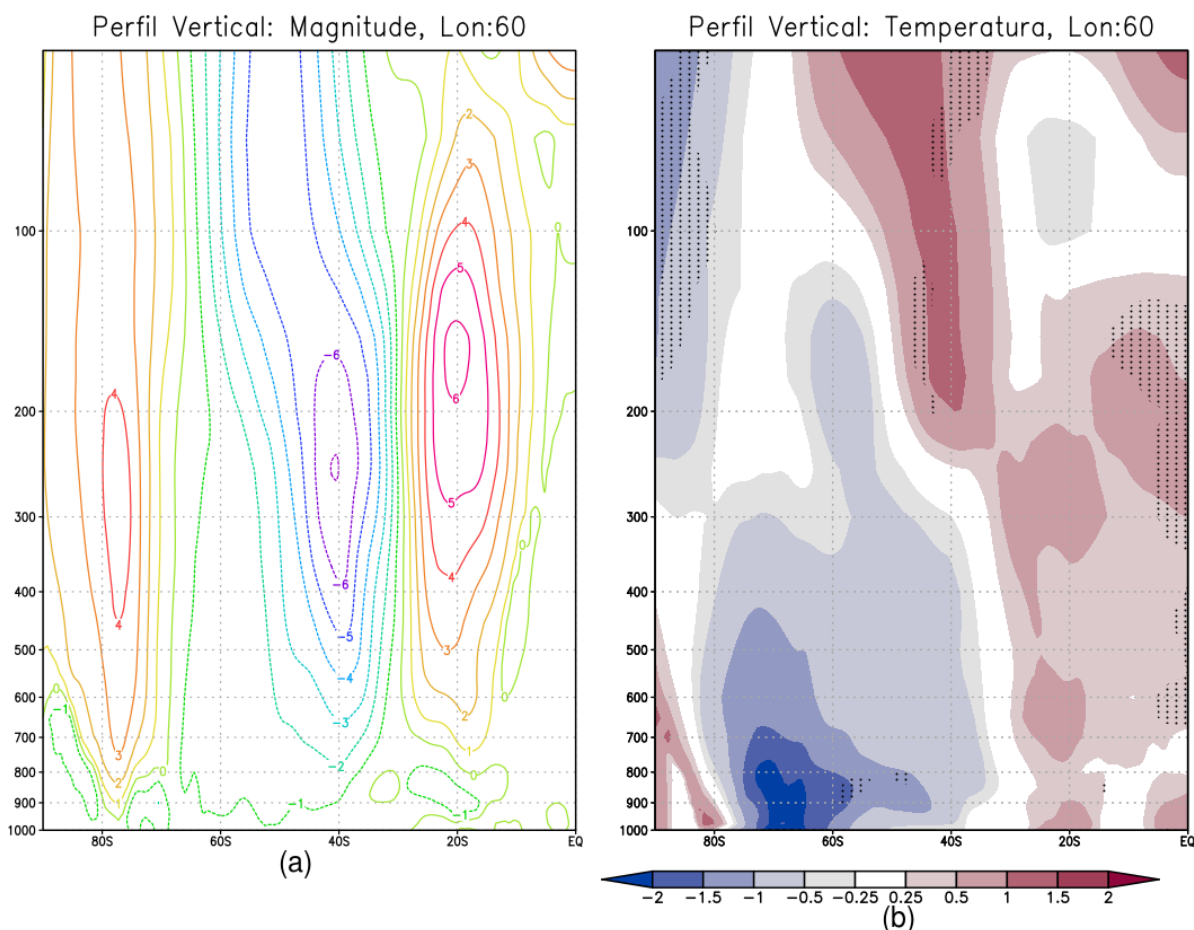
Anomalia de TSM
SAM negativo El Niño - MWD Maxima extensao



(b)

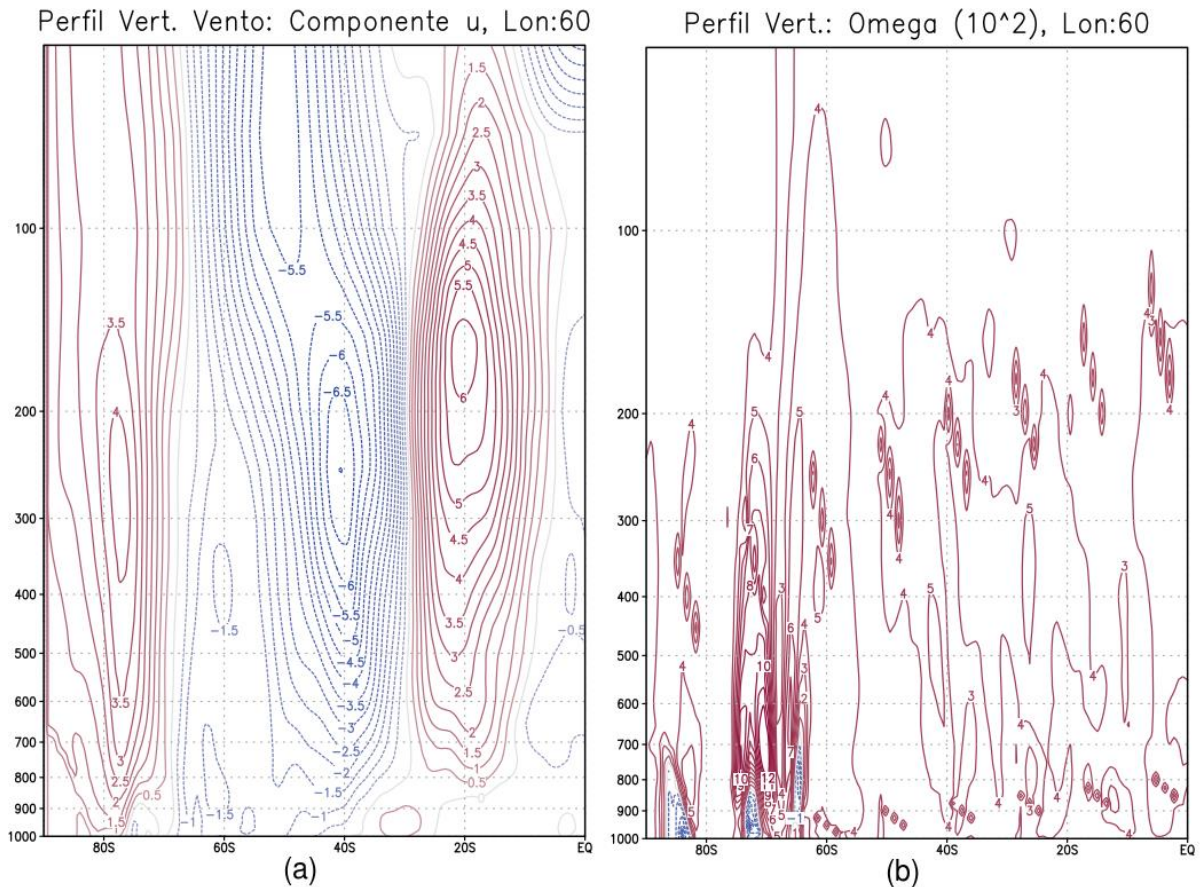
Na Figura 4.19, para as anomalias de perfis verticais de magnitude (a) e de temperatura (b), foram utilizadas a longitude de 60°W, região de máximas frequências de frente fria sobre o continente (Figura 4.16). Na Figura 4.19 a, podemos notar um deslocamento para norte do JST, o que é coerente com SAM negativo. Entretanto, há um deslocamento para sul do JP. Para o perfil anomalia de temperatura do ar (Figura 4.16b), podemos visualizar anomalias de temperatura positivas na região polar e negativa em latitudes médias em baixos e médios níveis, o que é coerente com a fase negativa do SAM. No entanto, a estratosfera polar apresenta anomalias negativas, o que não está de acordo com a fase negativa do SAM (THOMPSON; WALLACE, 2000; VASCONCELLOS, 2012; FOGT; MARSHAL, 2020). Essas configurações sugerem uma mudança na fase do SAM entre a troposfera e a estratosfera. Também é possível notar um gradiente positivo de temperatura em 40°-20°S, região onde podemos encontrar a maior frequência de frentes frias (Figura 4.18).

Figura 4.19: Composto de Perfil Vertical para SAM negativo, El Niño - Máxima extensão de gelo marinho no MWD
a) anomalia de magnitude do vento (m.s⁻¹); b) anomalia de temperatura do ar (°C). Áreas pontilhadas representam intervalo de confiança estatística de 95% (t-student)



No composto de perfil vertical do vento zonal (Figura 4.20a), podemos visualizar os mesmos elementos em relação aos jatos, visto no composto de magnitude (Figura 4.19a). No perfil vertical de ômega (Figura 4.20b), podemos observar o enfraquecimento do ramo ascendente das três células meridionais e o fortalecimento dos ramos descendentes. No estudo de Carpenedo e Ambrizzi (2016), foi observado para o setor MDW nos eventos extremos de expansão, um reforço do ramo descendente da célula Polar e um enfraquecimento do ramo ascendente da célula de Ferrel. O ramo ascendente da célula de Hadley enfraquece, enquanto o ramo descendente intensifica. Concordando com os resultados obtidos.

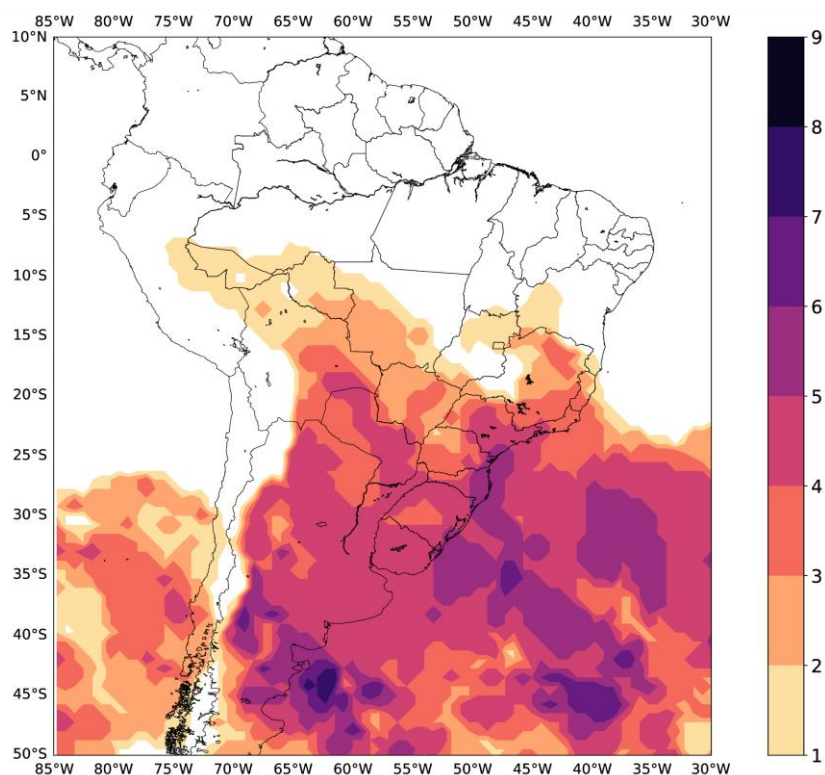
Figura 4.20: Composto de Perfil Vertical para de SAM negativo, El Niño - Máxima extensão de gelo marinho no MWD: a) anomalia do vento zonal ($m.s^{-1}$); b) anomalia de ômega ($10^2 Pa.s^{-1}$)



b) SAM positivo, La Niña, Máxima extensão de gelo marinho antártico no MWD (máxima frequência de frentes frias no Oceano Atlântico adjacente)

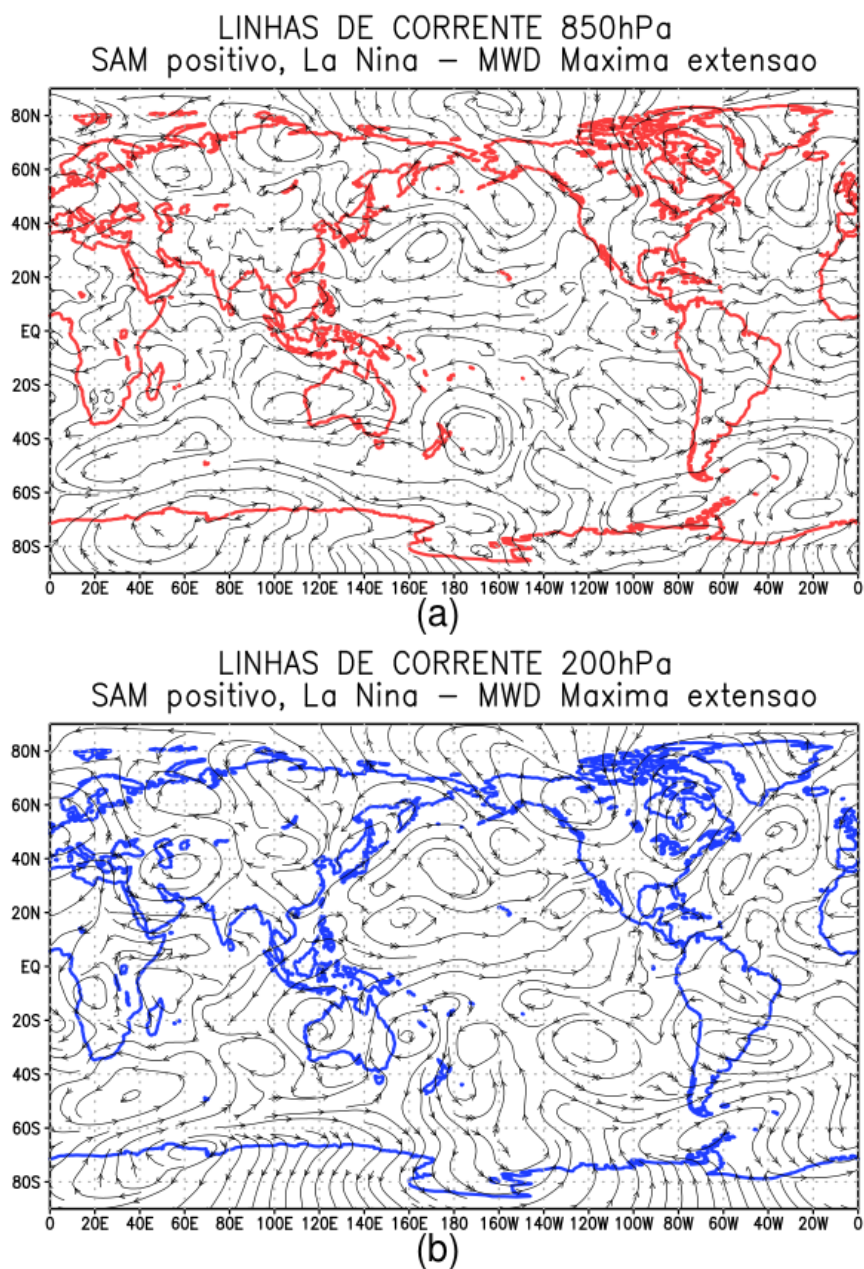
No MWD, foram observadas as maiores frequências de frentes frias sobre o Oceano Atlântico em SAM positivo e La Niña, tanto na máxima quanto na mínima extensão de gelo marinho antártico (CALDAS, 2020; CALDAS et al., 2020). Sendo assim, iremos iniciar as análises dos compostos para a análise da fase do SAM positivo e do ENOS negativo (La Niña) para a máxima extensão (Figura 4.21).

Figura 4.21: Composto da frequência de frentes frias para o mês de setembro fase SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho (categoria com máxima frequência no continente).



No composto de anomalia de linhas de correntes em baixos níveis e altos níveis (Figura 4.22), podemos visualizar um padrão de onda 2 em latitude médias e altas no HS. Esse padrão apresenta uma anomalia ciclônica ao sul da AS, se estendendo até o Atlântico. Em altos níveis (Figura 4.22b), também é possível notar um trem de onda iniciando ao sul da África e outro iniciando no Pacífico Sul Tropical em aproximadamente 120°W. Esses trens de ondas geram uma anomalia anticiclônica no SEAS e ciclônica ao norte. Em baixos níveis, há uma intensificação da ASAS. Essas anomalias causam um bloqueio na atuação de sistemas transientes em regiões mais ao norte (COELHO et al., 2016), o que sugere a atuação das frentes frias mais concentradas ao sul, principalmente no oceano.

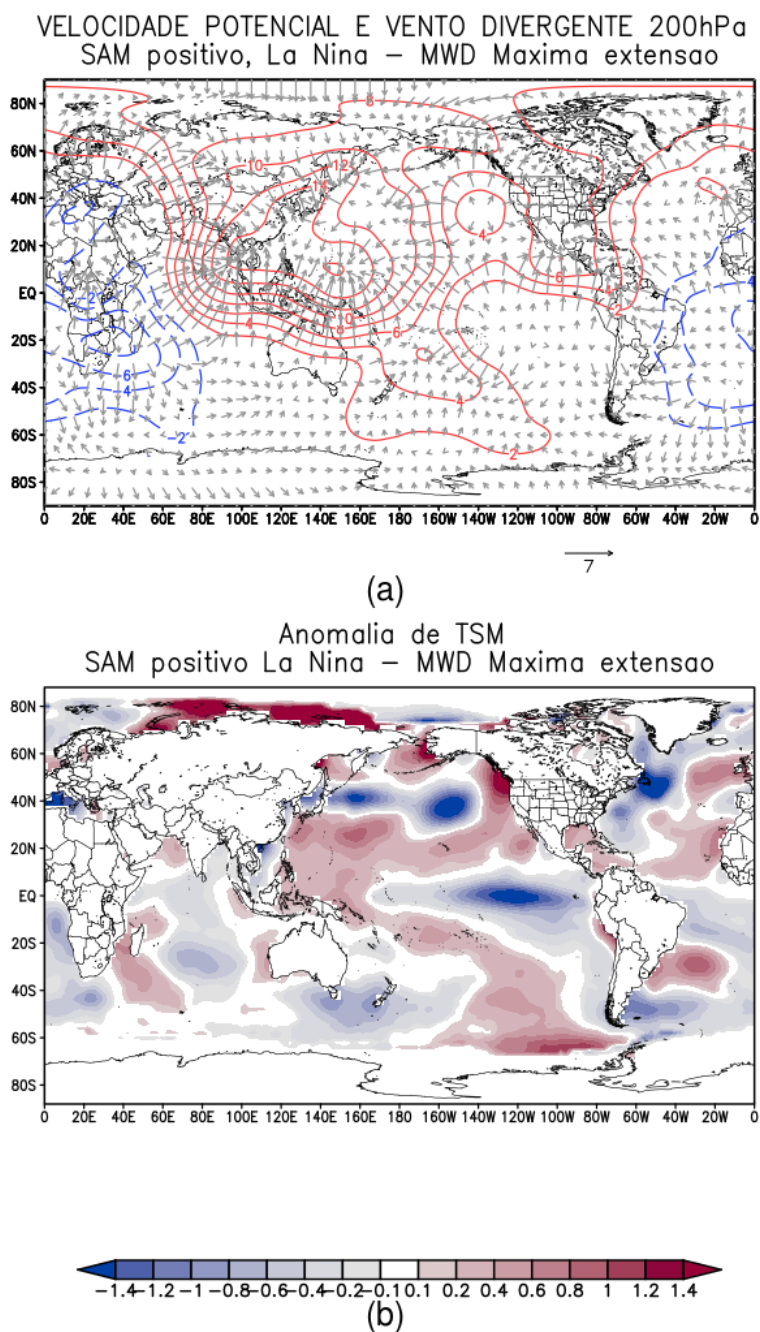
Figura 4.22: Composto de anomalia de linhas de corrente em setembro para SAM positivo, La Niña e Máxima extensão de gelo marinho no MWD: a) 850hPa; b) 200hPa.



Conforme visto nos compostos anteriores sobre anomalia de velocidade potencial e vento divergente em altos níveis (Figura 4.2.8 a), podemos visualizar uma divergência do leste da AS até o oeste do Índico, ao sul da África. Também é possível observar o vento divergindo no Pacífico Sul tropical, próximo de 120°W, apesar de não possuir anomalias negativas da velocidade potencial. Essas regiões são coerentes com as regiões de início dos trens de onda citados no parágrafo anterior, bem como com a maior atuação de frente frias no oceano. A Figura 4.23b apresenta anomalias negativas de TSM na região

do Pacífico equatorial central e leste, coerente com a fase negativa do ENOS (La Niña). No Oceano Atlântico, é possível notar um resfriamento das águas em grande parte deste oceano, relacionado à extensão máxima de gelo marinho no setor do MWD, o que é compatível com os estudos anteriores (CARPENEDO; AMBRIZZI, 2016). No entanto, também é notório uma anomalia positiva próxima aos SEAS, criando um gradiente positivo entre o Atlântico extratropical e subtropical.

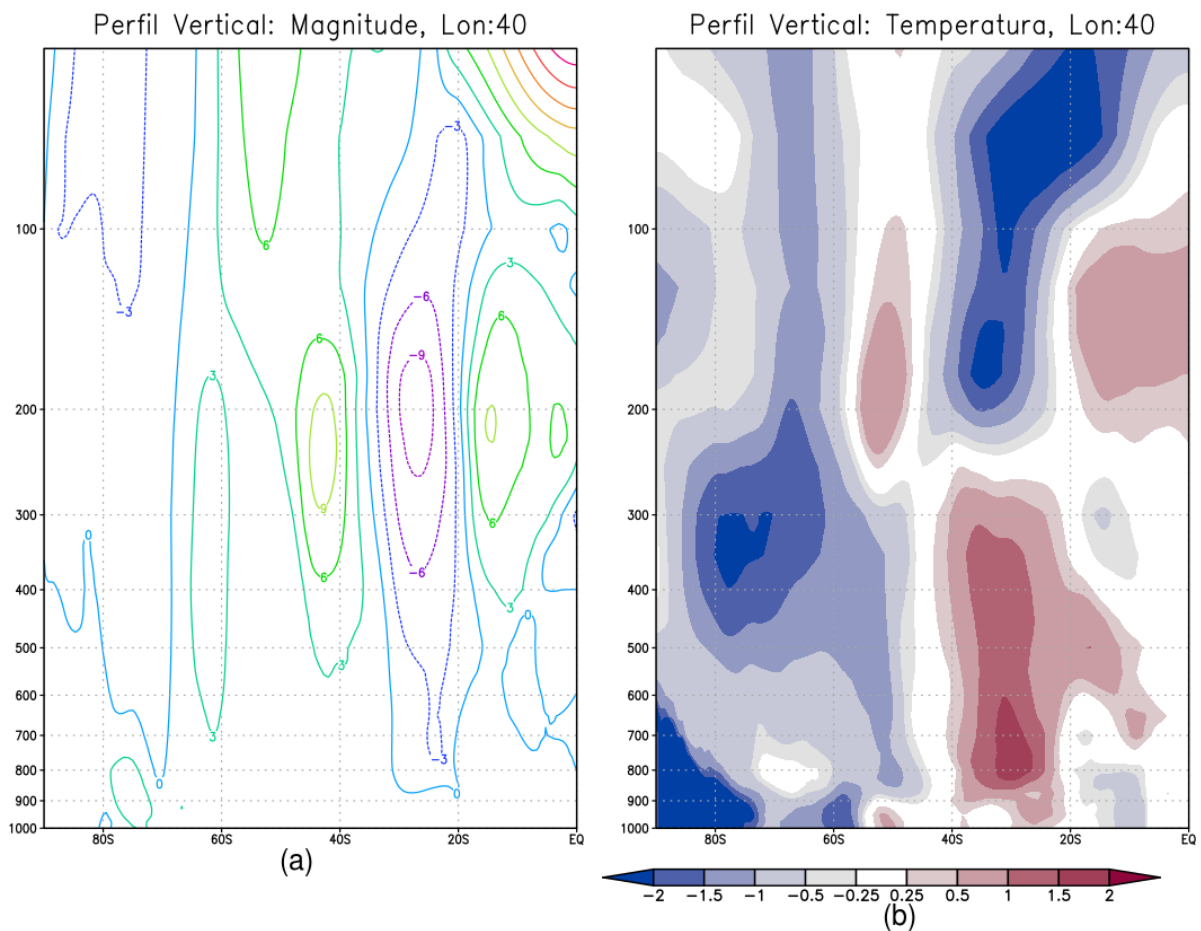
Figura 4.23: Composto de SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho no MWD: a) Velocidade potencial ($106 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ - contorno) e anomalia do vento divergente (m.s^{-1} - vetores) em 200hPa b) Anomalia de TSM ($^{\circ}\text{C}$).



Nos compostos de perfil vertical, foram usadas a longitude de 40°W , onde foram detectadas as maiores frequências de frentes (Figura 4.21). Na Figura 4.24 a, podemos visualizar um deslocamento para sul do JST, do Jato Polar (JP) e do Jato Polar estratosférico mais intensos, o que é coerente com a fase positiva do SAM (THOMPSON; WALLACE, 2000; VASCONCELLOS, 2012; FOGT; MARSHAL, 2020). Na Figura

4.24b, podemos visualizar um gradiente, em torno de 40° - 60°S, área de maior frequência de frentes frias sobre o oceano. Nas latitudes mais altas (médias) podemos ver uma anomalia negativa (positiva) de temperatura em baixos e altos níveis, coerentes com a fase positiva do SAM (THOMPSON; WALLACE, 2000; VASCONCELLOS, 2012; FOGT; MARSHAL, 2020). Há também anomalias negativas de temperatura nas latitudes baixas em baixos níveis. Essas anomalias estão de acordo com os compostos de TSM no setor do Atlântico (Figura 4.23b). Na estratosfera subtropical e tropical, o sinal das anomalias de temperatura se invertem.

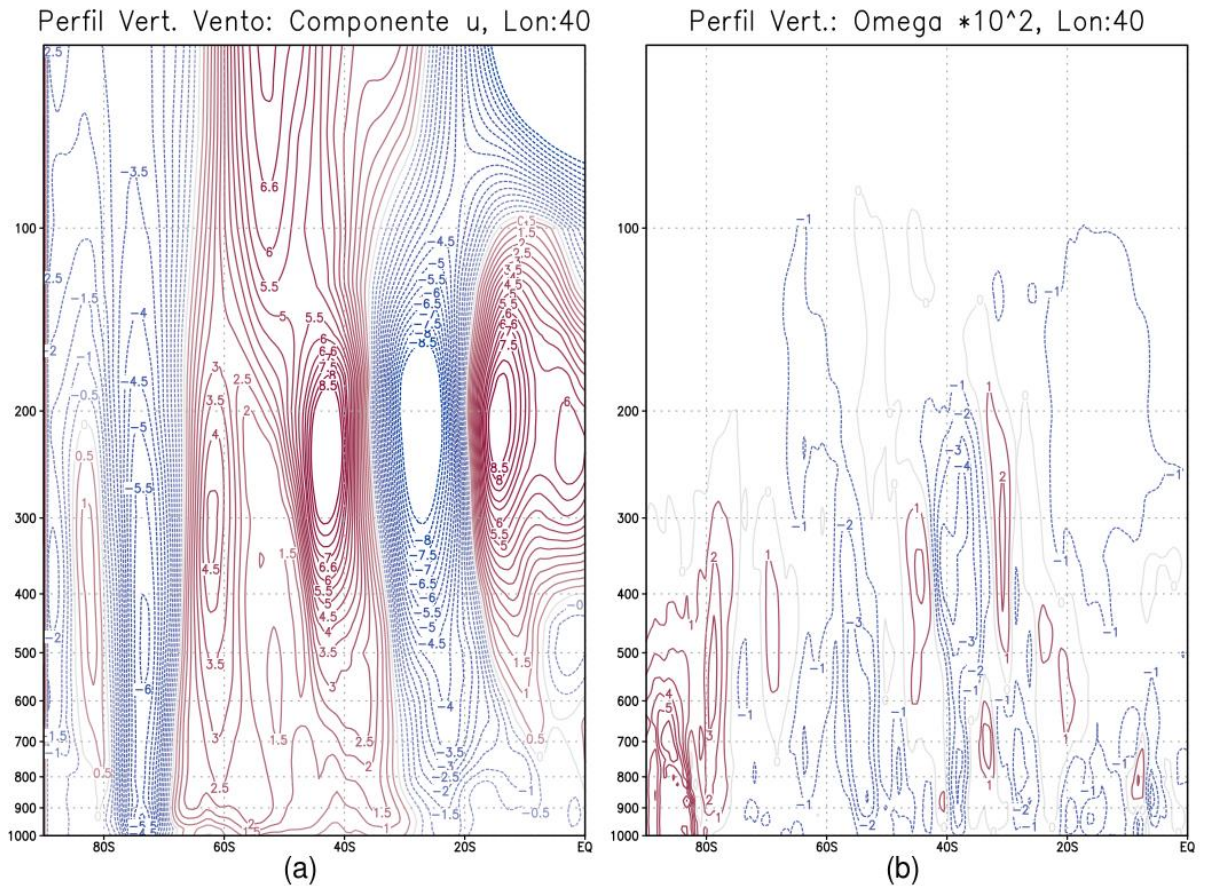
Figura 4.24: Composto de Perfil Vertical para SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho no MWD
a) anomalia de magnitude do vento ($m.s^{-1}$); b) anomalia de temperatura do ar ($^{\circ}C$).



Na Figura 4.24a, observamos os mesmos padrões da anomalia de perfil vertical de magnitude (Figura 4.23a). Para a análise da anomalia de ômega (Figura 4.24b), podemos observar a intensificação dos ramos ascendentes das células de Hadley e Ferrel. Ainda nessa imagem, nota-se o enfraquecimento dos ramos descendente dessas mesmas

células, não estando de acordo com estudos para esse setor (CARPENEDO; AMBRIZZI, 2016). A célula polar é intensificada.

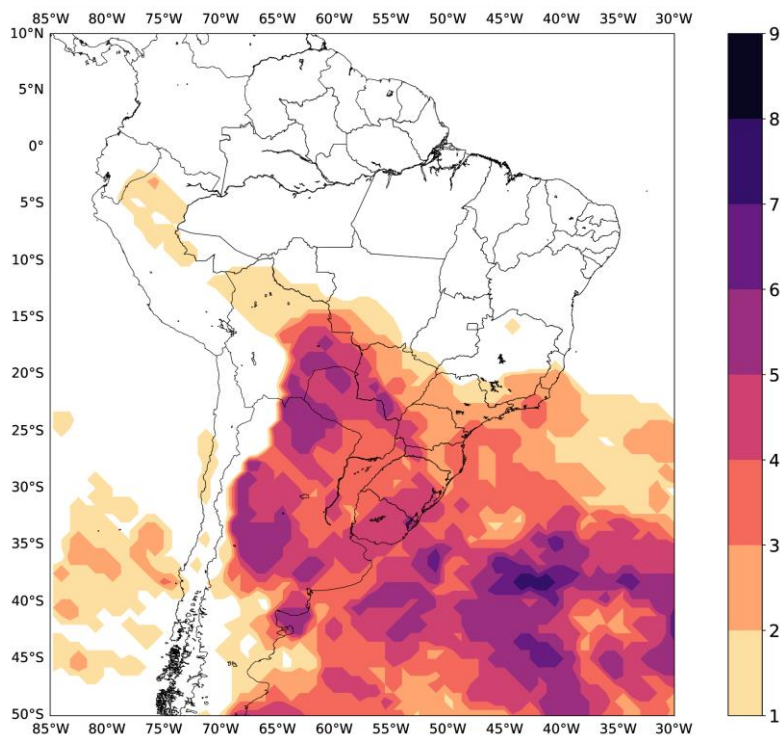
Figura 4.25: Composto de Perfil Vertical para SAM positivo, La Niña - Máxima extensão de gelo marinho no MWD: a) anomalia do vento zonal ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); b) anomalia de ômega ($10^2 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$).



4.2 c) SAM positivo, La Niña, Mínima extensão do gelo marinho antártico no MWD (máxima frequência de frentes frias no Oceano Atlântico adjacente)

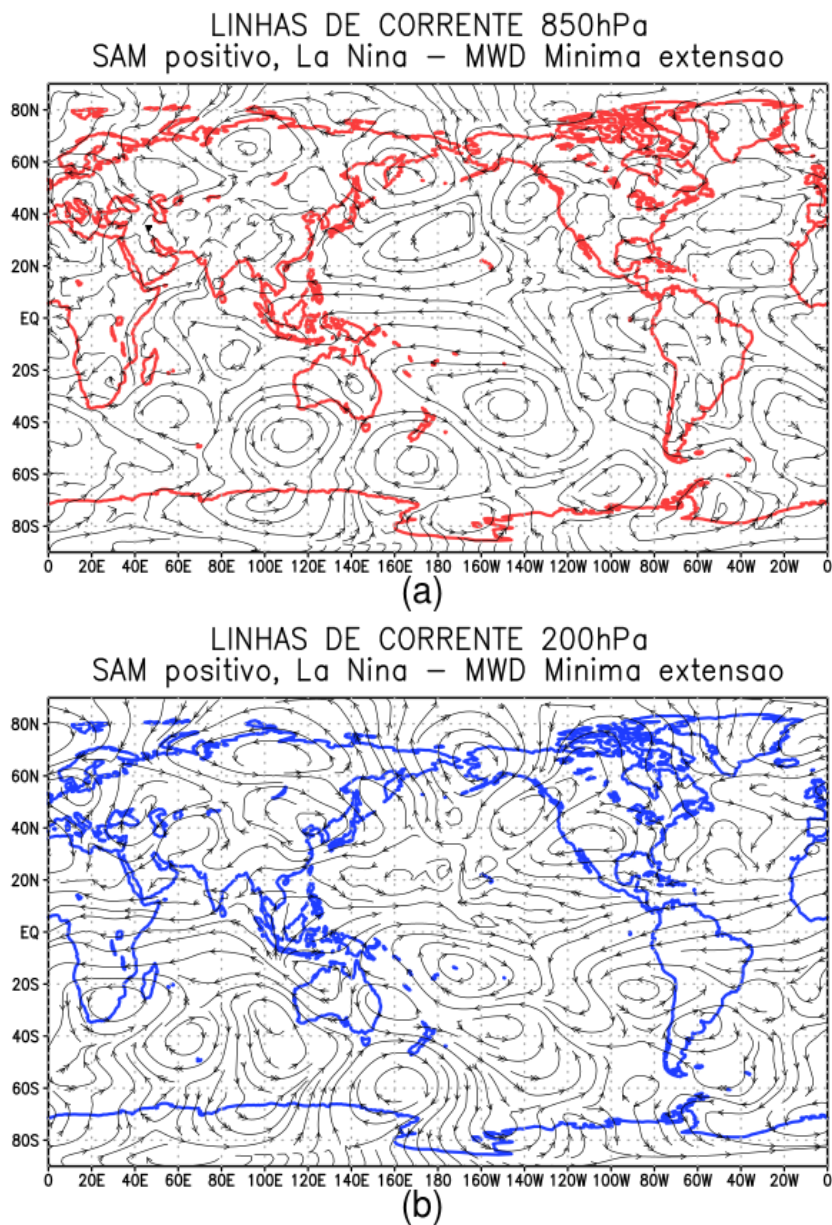
No MWD, também foram verificados a maiores frequências de frentes frias sobre o oceano em SAM positivo, La Niña e mínima extensão de gelo marinho (CALDAS, 2020; CALDAS et al., 2020) (Figura 4.26).

Figura 4.26: Composto da frequência de frentes frias para o mês de setembro na fase SAM positivo, La Niña - Mínima extensão de gelo marinho (categoria com máxima frequência no Oceano Atlântico e adjacentes).



Os compostos de anomalia de linhas de corrente (Figura 4.27) apresentam um padrão de onda 3 em latitudes médias e altas do HS tanto em baixos, quanto em altos níveis. Há também em altos níveis um trem de onda tipo U-shape iniciando no Pacífico próximo à AS em aproximadamente 20°S (Figura 4.27b). Esse trem de onda, juntamente com a onda 3 em latitudes mais altas, geram uma anomalia ciclônica abrangendo a Argentina e Atlântico adjacente e anomalias anticiclônicas ao norte. Em baixos níveis (Figura 4.27a), há uma intensificação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), gerando uma anomalia de norte no continente confluindo próximo ao Uruguai. Entretanto, também há uma intensificação da Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) e ambos os centros parecem adentrar mais o continente. Essa configuração, junto com a anomalia ciclônica no Atlântico Sul, parece favorecer mais a frequência de frentes sobre o oceano ao sul de 30°S. Essa configuração em baixos e altos níveis é similar ao SAM positivo, La Niña e máxima extensão no MBA (Figura 4.12).

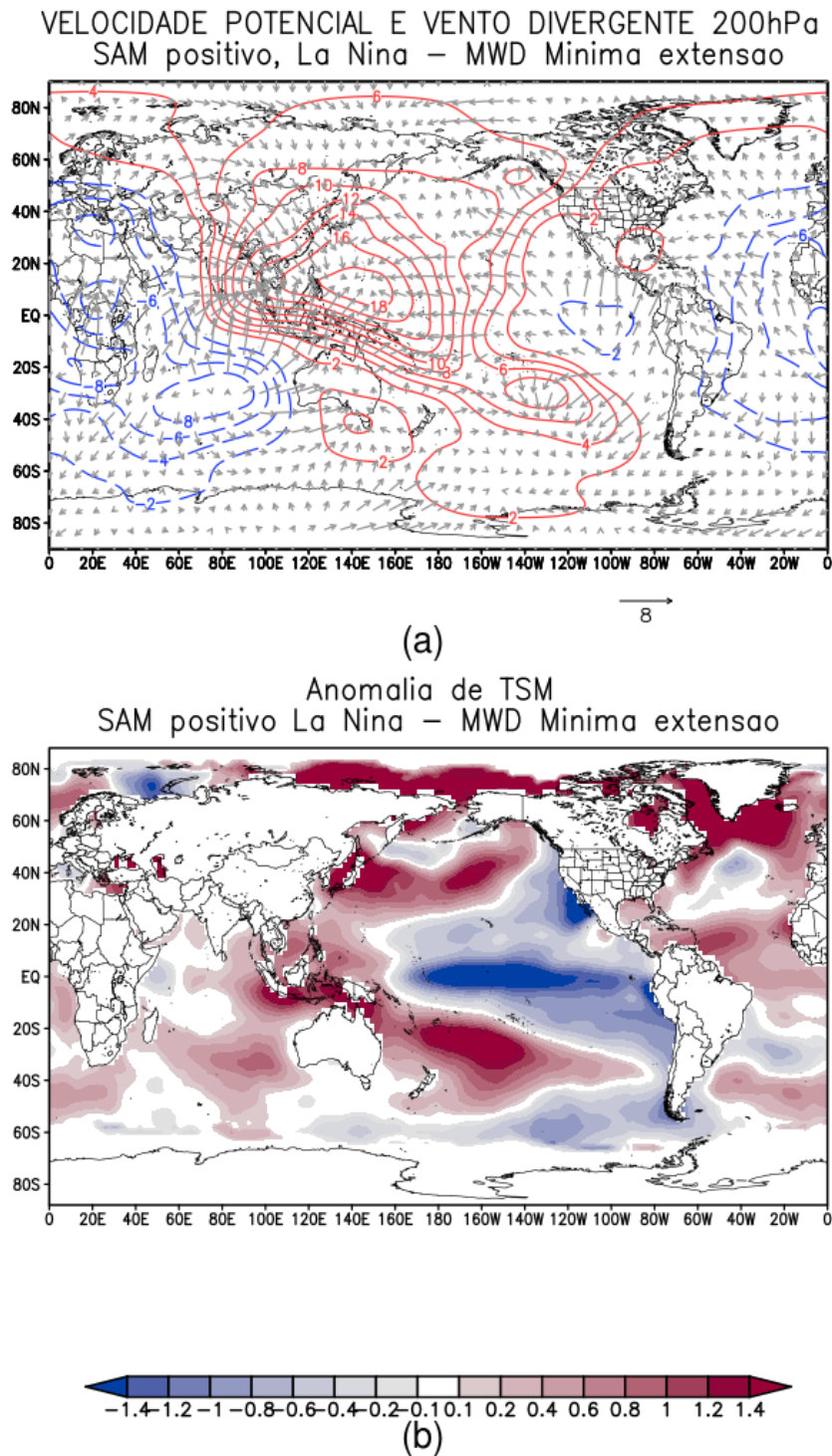
Figura 4.27: Composto de anomalia de linhas de corrente em setembro para SAM positivo, La Niña - Mínima extensão de gelo marinho no MWD: a) 850 hPa; b) 200 hPa.



Analisando as anomalias da velocidade potencial e do vento divergente em 200 hPa (Figura 4.28a) nota-se divergência anômala do leste da AS até o oeste do Índico, mas dessa vez as anomalias chegando próximo à Austrália. Essa última amplifica o centro anticiclônico observado na região (Figura 4.27b). Também é possível observar divergência no Pacífico Sul tropical, próximo de 100°W. Essa região é coerente com a localização de início do trem de onda tipo U-shape citado no parágrafo anterior, bem como com a maior atuação de frente no oceano. Para a anomalia de TSM (Figura 4.28b), podemos visualizar a fase negativa do ENOS, sendo representado pela anomalia negativa

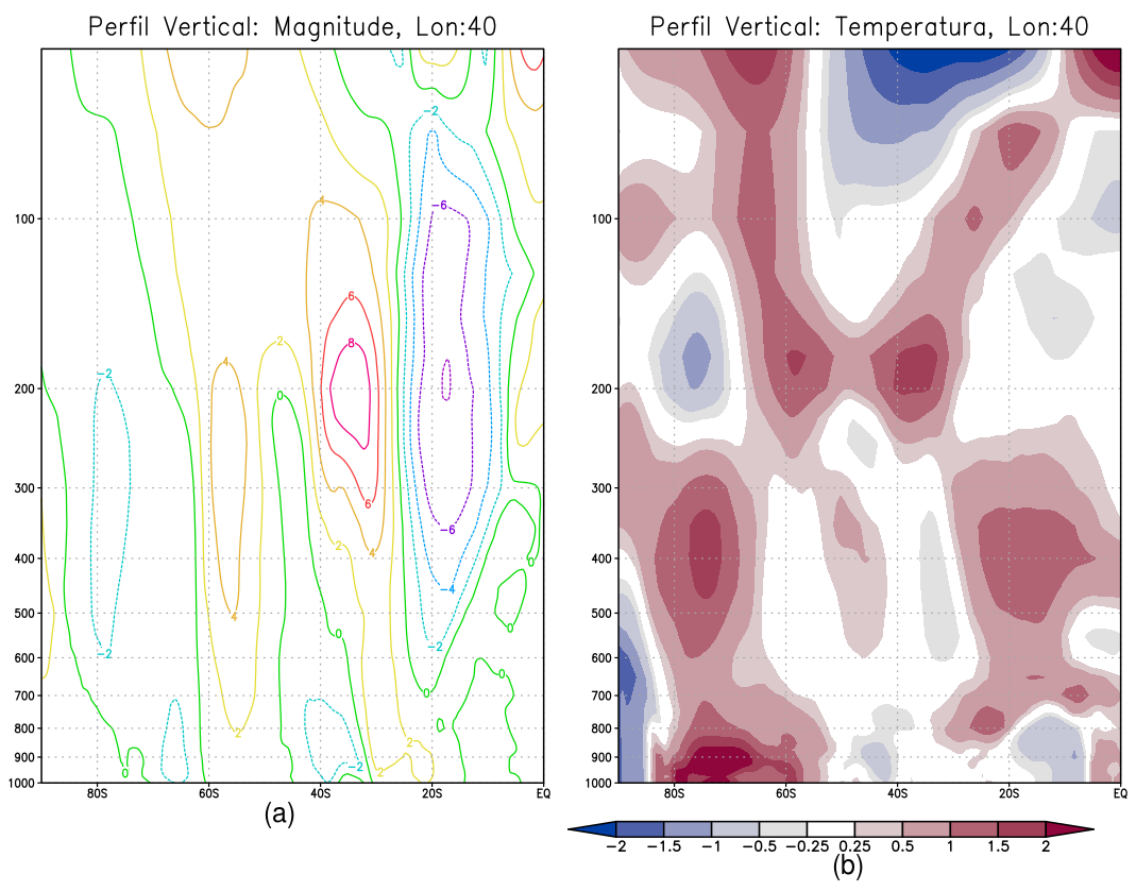
no Pacífico Equatorial central e leste. No oceano Atlântico, podemos visualizar anomalias positivas de TSM próxima ao SEAS e negativas ao sul e ao norte, formando um tripolo no Atlântico Sul.

Figura 4.28: Composto de Perfil Vertical para SAM positivo, La Niña e Mínima extensão de gelo marinho no MWD:
a) Magnitude do Vento ($m.s^{-1}$); b) Temperatura ($^{\circ}C$).



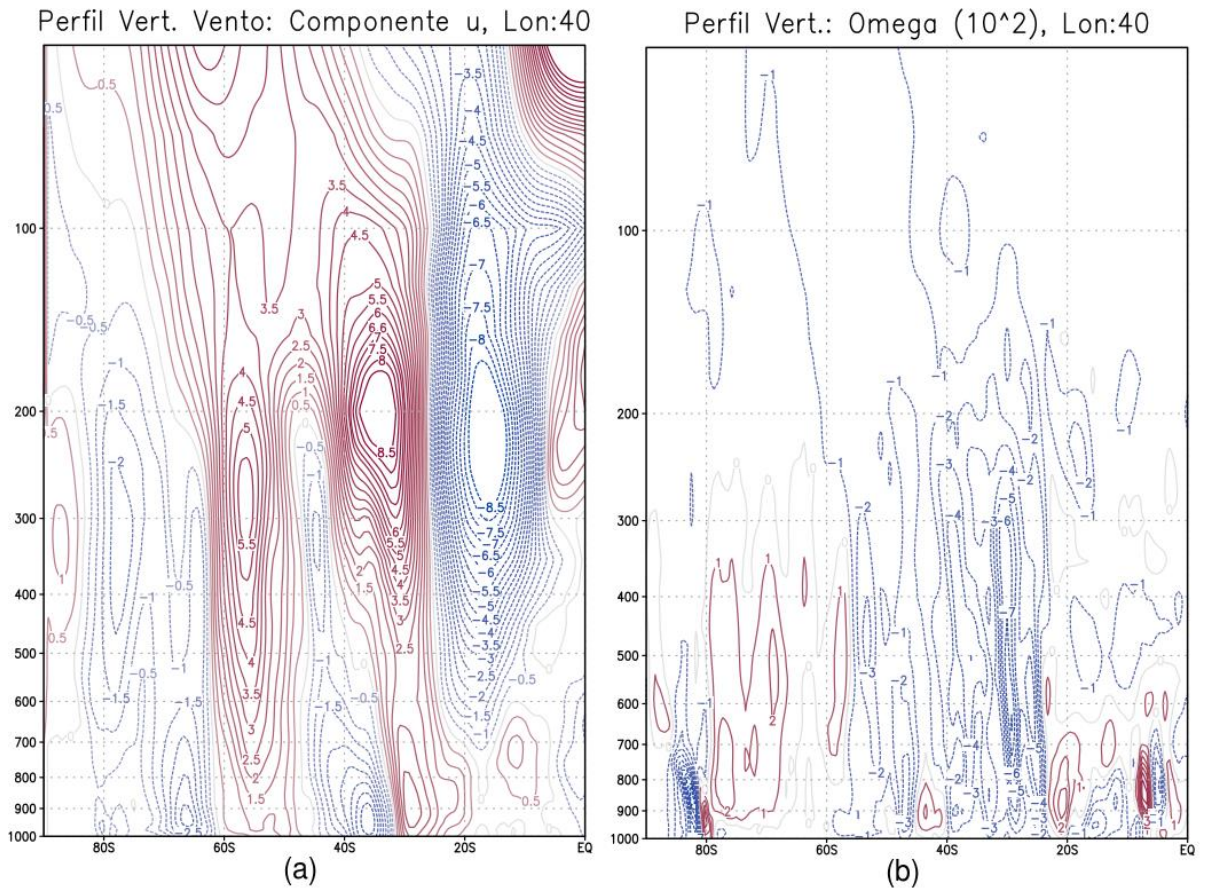
Para o composto de perfil vertical, utilizamos a longitude de 40°W, região de maior frequência de frentes sobre o oceano (Figura 4.26). Assim, para a Figura 4.29a, podemos visualizar uma intensificação do JTS e do JP. Nos perfis de temperatura (Figura 4.29b), há uma maior área de anomalias positivas. No entanto, destacam-se anomalias negativas de temperatura em latitudes polares nos níveis baixos e médios e na alta estratosfera entre aproximadamente 50°-30°S.

Figura 4.29: Composto de Perfil Vertical para SAM positivo, La Niña e Mínima extensão de gelo marinho no MWD: a) anomalia de magnitude do vento ($m.s^{-1}$); b) anomalia de temperatura do ar ($^{\circ}C$).



O perfil vertical de anomalias do vento zonal (Figura 4.30a) mostra-se coerente com o da magnitude do vento (Figura 4.29a). No perfil vertical de ω , podemos notar a intensificação (enfraquecimento) do ramo ascendente (descendentes) da célula de Hadley. Nota-se também na Figura 4.30b, o enfraquecimento do ramo descendente das células de Ferrel e Polar.

Figura 4.30: Composto de Perfil Vertical para SAM positivo, La Niña e Mínima extensão de gelo marinho no MWD: a) anomalia do vento zonal ($m.s^{-1}$); b) anomalia de ômega ($10^2 Pa.s^{-1}$).



5. PROJETO RELACIONADO

Este trabalho é integrado ao projeto “interação gelo marinho-oceano-atmosfera-ondas no setor Atlântico do Oceano Austral e a relação com o Clima da América do Sul” (ATMOS – Antarctic Modeling and Observation System – CNPq/PROANTAR Processo 443013/2018-7)

6. CONCLUSÃO

Nesse estudo, foi observado que durante as máximas frequências de frentes frias sobre o continente, em ambos os mares, houve uma anomalia ciclônica no Atlântico Sul extratropical e no sul da AS, sugerindo uma área mais propensa à atuação de sistemas transientes. Trens de ondas contribuíram para a essa anomalia. Também foi notória a presença de um gradiente positivo de anomalia de TSM no Atlântico Sul

extratropicos/subtrópicos em todas as categorias. Um gradiente positivo anômalo de temperatura do ar que ocorre nas regiões de maior frequência de frentes foi observado em todas as configurações. Para a categoria dos compostos de máxima frequência de frentes frias sobre o oceano, foi observada uma intensificação da ASAS, favorecendo a formação de sistemas transientes mais ao sul no oceano. Para a continuação do trabalho pretende-se continuar a investigação dos mecanismos envolvidos com a máxima frequência de frentes frias, através do cálculo do Balanço de Energia e das conversões baroclínica e barotrópica na região do Atlântico Sul em cada categoria.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 2005. 185 p. IBI: <6qtX3pFwXQZ3P8SECKy/Gt9nD>. (INPE-14056-TDI/1067). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/6qtX3pFwXQZ3P8SECKy/Gt9nD>>.

BERNARDINO, B. S.; VASCONCELLOS, F. C.; NUNES, A. M. B. Impact of the equatorial Pacific and South Atlantic SST anomalies on extremes in austral summer precipitation over Grande river basin in Southeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v.38, p.131–143, 2018.

BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. B. Simulating the influence of the South Atlantic dipole on the South Atlantic convergence zone during neutral ENSO. **Theoretical and Applied Climatology** v. 118, p. 251–269. 2014. .

BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; REBOITA, M. S. Precipitation over eastern South America and the South Atlantic Sea surface temperature during neutral ENSO periods. **Climate Dynamics**, v. 42, p.1553–1568, 2014.

CAI, W.; SULLIVAN, A.; COWAN, T. Interactions of ENSO, the IOS, and the SAM in CMIP3 models. **Journal of Climate**, v. 24, n. 6, p. 1688–1704, 2011.

CALDAS, C. F. Impacto do gelo marinho antártico, do ENOS e do Modo Anular Sul sobre as frentes frias na América do Sul, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2020. (Relatório PIBIC/CNPq/INPE)

CALDAS, C.F.; VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F. A.; CARVALHO, N. O.; LOPES, I. R. Impacto do gelo marinho antártico, do ENOS e do Modo Anular Sul sobre as frentes frias na América do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 4, 2020.

CARPENEDO, C. B.; AMBRIZZI, T. Células de Circulação Meridional Durante os Eventos Extremos de Gelo Marinho Antártico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 251-261, 2016.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; AMBRIZZI, T. Opposite phases of the Antarctic Oscillation and relationships with intraseasonal to interannual activity in the tropics during the austral summer. **Journal of Climate**, v. 18, n. 5, p. 702–718, Mar. 2005.

CAVALCANTI, I. F. A.; AMBRIZZI, T. Teleconexões e influências no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (Ed.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009. p. 463. ISBN 9788586238925.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes Frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (Ed.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009. p. 463. ISBN 9788586238925

COURA DA SILVA, L. H. R.; CAVALCANTI, I. F. A. Identificação de sistemas frontais em uma simulação de 10 anos com o modelo de Circulação Geral da Atmosfera CPTEC/COLA na Região Sul e Sudeste do Brasil, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. (Relatório PIBIC/CNPq/INPE)

CLEM, K. R.; FOGT, R. L. Varying roles of ENSO and SAM on the Antarctic Peninsula climate in austral spring. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, 118, 11481-11492, 2013.

CLEM, K. R.; RENWICK, J. A.; MCGREGOR, J.; FOGT, R. L. The relative influence of ENSO and SAM on Antarctic Peninsula climate. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, 121, 9324-9341, 2016.

DEE, D. P. *et al.* The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 137, p. 553–597, 2011.

DOYLE, M. E.; BARROS V. R. Midsummer Low-Level Circulation and Precipitation in Subtropical South America and Related Sea Surface Temperature Anomalies in the South Atlantic. **Journal of Climate**, v. 15, p. 3394–3410, 2002.

ESCOBAR, G. Jatos de Altos Níveis. In: CAVALCANTI, I. F. A. *et al.* (Ed.) **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.127-134.

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

FOGT, R. L., MARSHALL, G. J.; The Southern Annular Mode: variability, trends, and climate impacts across the southern hemisphere. **WIREs Climate Change** v.11, p. 652, 2020

GILLETT, N. P.; KELL, T. D.; JONES, P. D. Regional climate impacts of the Southern Annular Mode. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. L23704, p. 4, 2006.

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

HALL, A.; VISBECK, M. Synchronous Variability in the Southern Hemisphere Atmosphere, Sea Ice, and Ocean Resulting from the Annular Mode. **Journal of Climate**, v. 15, p. 3043–3057, 2002.

HUANG, B. ET AL. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validations, and intercomparisons. **Journal of Climate**, 2017. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1.

HUANG, B., THORNE, P. W., BANZON, V. F., BOYER, T., CHEPURIN, G., LAWRIK, J. H., Menne, M. J., SMITH, T. M., VOSE, R. S., ZHANG, H-M. 2017. Extended reconstructed sea surface temperature, version 5 (ERSSTv5): upgrades, validations, and intercomparisons. *Journal of Climate*, v. 30, p. 8179-8205.

KING, J. C., TURNER, J. 1997. **Antarctic Meteorology and Climatology**. Cambridge: University Press, p. 409

JORGETTI T, SILVA DIAS PL, Freitas ED. 2014. The relationship between South Atlantic SST and SACZ intensity and positioning. **Climate Dynamics**, v.42, p. 3077–3086, 2014.

PEZZA A. B.; DURRANT, T. H.; SIMMONDS, I., SMITH, I. Southern Hemisphere synoptic behaviour in extreme phases of SAM, ENSO, sea ice extent and southern Australia rainfall. **Journal of Climate**, v. 21, p. 5566-5584, 2008.

PEZZA A. B.; RASHID, H. A.; SIMMONDS, I. Climate links and recent extremes in Antarctic sea ice, high-latitude cyclones, Southern Annular Mode and ENSO. **Climate Dynamics**, v. 38, p. 57–73, 2012.

PHILANDER, S. G. **El Niño, La Niña and the Southern Oscillation**. San Diego, California: Academic Press, 1990.

RAPHAEL, M. N.; HOBBS, W.; WAINER, I. The effect of Antarctic sea ice on the Southern Hemisphere atmosphere during the southern Summer. **Climate Dynamics**, v. 36, p. 1403–1417, 2010.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. D. Relationship between the Southern Annular Mode and the Southern Hemisphere atmospheric systems. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 48–55, mar. 2009.

TEDESCHI, R. G. **As influências de tipos diferentes de ENOS na precipitação e nos seus eventos extremos sobre a América do Sul - observações, simulações e projeções**. 2013. 254 p. IBI: <8JMKD3MGP7W/3DTKRF2>. (sid.inpe.br/mtc-m19/2013/04.16.16.57-TDI). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de

Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2013. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3DTKRF2>>

THOMPSON, D. W. J; WALLACE, J. M; Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part I: Month-to-Month Variability. **Journal of Climate**, v. 13, p 1000-1017, 2000.

WILKS, D.S. 2006. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. San Diego, CA: Academic Press. 627p. (International Geophysics Series 91) ISBN 978-0-12-751966-1

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

VASCONCELLOS, F. C. **A Oscilação Antártica - mecanismos físicos e a relação com características atmosféricas sobre a América do Sul/oceanos adjacentes**. 2012. 192 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/10.09.19.33-TDI). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CPTMAL>>.

VASCONCELLOS, F. C.; PIZZOCHERO, R. M.; CAVALCANTI, I. F. A. Month-to-month impacts of Southern Annular Mode over South America climate. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, v. 41, p. 783-792, 2019.

VASCONCELLOS F. C.; SOUZA J. N. The anomalous wet 2020 southeast Brazil austral summer: characterization and possible mechanisms. *Atmósfera*. Early View, 2020.

VERA, C.; SILVESTRI, G.; BARROS, V; CARRIL, A. differences in El Niño response over the Southern Hemisphere. **Journal of Climate**, v. 17, p. 1741–1753, 2004.

YUAN X. J.; MARTINSON D. G. Antarctic Sea Ice Extent Variability and Its Global Connectivity. **Journal of Climate**, v. 13, p.1697–1717, 2000.

