

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, EDUCAÇÃO E LETRAS
CAMPUS MARECHAL CÂNDIDO RONDON
CURSO DE GEOGRAFIA**

SABRINA MATIAS GRANJA

**VARIABILIDADE SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO NO SUDESTE DA AMÉRICA DO
SUL ASSOCIADA COM AS FASES DA OSCILAÇÃO DECENAL DO PACÍFICO**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON
2024**

SABRINA MATIAS GRANJA

**VARIABILIDADE SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO NO SUDESTE DA AMÉRICA DO
SUL ASSOCIADA COM AS FASES DA OSCILAÇÃO DECENAL DO PACÍFICO**

Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação em Geografia (nível Mestrado) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - *Campus* Marechal Cândido Rondon, como requisito para obtenção do grau de mestra em Geografia. Área de concentração: Espaço de Fronteira: Território e ambiente. Linha de pesquisa: Dinâmica e gestão ambiental em zona subtropical.

Orientadora: Prof. Dra. Leila Limberger

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON
2024**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho para a minha avó, Maria de Lourdes Granja, por ser a pessoa que mais me incentivou, apoiou e depositou fé. E pelo amor além da vida!

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Matias Granja, Sabrina
VARIABILIDADE SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO NO SUDESTE DA
AMÉRICA DO SUL ASSOCIADA COM AS FASES DA OSCILAÇÃO DECENAL DO
PACÍFICO / Sabrina Matias Granja; orientadora Leila
Limberger. -- Marechal Cândido Rondon, 2024.
53 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Marechal
Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná,
Centro de Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em
Geografia, 2024.

1. Variabilidade climática. 2. Teleconexões atmosféricas.
3. Temperatura da Superfície dos Mares. 4. Oscilação Decenal
do Pacífico . I. Limberger, Leila , orient. II. Título.



Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-48
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000
Marechal Cândido Rondon - PR.



Programa de Pós-Graduação em Geografia

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE SABRINA MATIAS GRANJA, ALUNO(A) DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE, E DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO DO PROGRAMA E O REGIMENTO GERAL DA UNIOESTE.

Ao(s) 20 dia(s) do mês de junho de 2024 às 14h00min, no(a) Unioeste - Campus de Marechal Cândido Rondon na modalidade híbrida (presencial e remota), realizou-se a sessão pública da Defesa de Dissertação do(a) candidato(a) Sabrina Matias Granja, aluno(a) do Programa de Pós-Graduação em Geografia - nível de Mestrado, na área de concentração em Espaço de Fronteira: Território e Ambiente. A comissão examinadora da Defesa Pública foi aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia. Integraram a referida Comissão os(as) Professores(as) Doutores(as): Isabel Tamara Pedron, Leila Limberger, Marina Sória Castellano. Os trabalhos foram presididos pelo(a) Leila Limberger, orientador(a) do(a) candidato(a). Tendo satisfeito todos os requisitos exigidos pela legislação em vigor, o(a) aluno(a) foi admitido(a) à Defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, intitulada: "Variabilidade Sazonal da Precipitação no Sudeste da América do Sul Associada com as Fases da Oscilação Decenal do Pacífico". O(a) Senhor(a) Presidente declarou abertos os trabalhos, e em seguida, convidou o(a) candidato(a) a discorrer, em linhas gerais, sobre o conteúdo da Dissertação. Feita a explanação, o(a) candidato(a) foi arguido(a) sucessivamente, pelos(as) professores(as) doutores(as): Isabel Tamara Pedron, Marina Sória Castellano. Findas as arguições, o(a) Senhor(a) Presidente suspendeu os trabalhos da sessão pública, a fim de que, em sessão secreta, a Comissão expressasse o seu julgamento sobre a Dissertação. Efetuado o julgamento, o(a) candidato(a) foi **aprovado(a)**. A seguir, o(a) Senhor(a) Presidente reabriu os trabalhos da sessão pública e deu conhecimento do resultado. E, para constar, o(a) Coordenador(a) do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE - Campus de Marechal Cândido Rondon, lavra a presente ata, e assina juntamente com os membros da Comissão Examinadora e o(a) candidato(a).


Orientador(a) - Leila Limberger

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon
(UNIOESTE)

Marina Sória Castellano

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Francisco Beltrão (UNIOESTE)



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-48

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR,



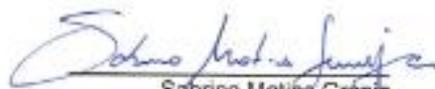
PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO

Programa de Pós-Graduação em Geografia

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE SABRINA MATIAS GRANJA, ALUNO(A) DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE, E DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO DO PROGRAMA E O REGIMENTO GERAL DA UNIOESTE.

Isabel Tamara Pedron



Sabrina Matias Granja

Aluno(a)



Coordenador(a) do Programa de Pós-Graduação em Geografia



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cs. P. 91 - <http://www.unioeste.br>
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000
Marechal Cândido Rondon - PR.



PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DECLARAÇÃO E PARECER DE PARTICIPAÇÃO EM BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE MESTRADO REALIZADA À DISTÂNCIA, DE FORMA SÍNCRONA, POR VIDEOCONFERÊNCIA

Eu, Prof^ª Dr^ª Isabel Tamara Pedron, declaro que participei à distância, de forma síncrona e por videoconferência, da Banca Examinadora de Defesa de Dissertação da candidata Sabrina Matias Granja, aluna de Mestrado deste Programa de Pós-Graduação.

Considerando o trabalho entregue, apresentado e a arguição realizada, formalizo como membro externo, para fins de registro, por meio desta declaração, minha decisão de que a candidata pode ser considerada APROVADA na banca realizada em 24/06/2024, com o trabalho intitulado "Variabilidade sazonal da precipitação no sudeste da América do Sul associada com as fases da oscilação decenal do Pacífico".

Descreva abaixo observações e/ou restrições (se julgar necessárias):

Foram feitas algumas correções, observações e sugestões para aprimoramento do trabalho.

Isabel Tamara Pedron

Prof^ª Dr^ª ISABEL TAMARA PEDRON



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78880337/0003-46

Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>

Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000

Marechal Cândido Rondon - PR.



PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DECLARAÇÃO E PARECER DE PARTICIPAÇÃO EM BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE Mestrado REALIZADA À DISTÂNCIA, DE FORMA SÍNCRONA, POR VIDEOCONFERÊNCIA

Eu, Prof^ª Dr^ª Marina Sória Castellano, declaro que participei à distância, de forma síncrona e por videoconferência, da Banca Examinadora de Defesa de Dissertação da candidata **Sabrina Matias Granja**, aluna de Mestrado deste Programa de Pós-Graduação.

Considerando o trabalho entregue, apresentado e a arguição realizada, formalizo como membro, para fins de registro, por meio desta declaração, minha decisão de que a candidata pode ser considerada APROVADA na banca realizada em 24/06/2024, com o trabalho intitulado "Variabilidade sazonal da precipitação no sudeste da América do Sul associada com as fases da oscilação decenal do Pacífico".

Descreva abaixo observações e/ou restrições (se julgar necessárias):



Documento assinado digitalmente

MARINA SÓRIA CASTELLANO

Data: 21/06/2024 14:03:03 -0300

Verifique em <https://verifica.br.gov.br>

Prof^ª Dr^ª MARINA SÓRIA CASTELLANO
UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Geografia

Modelo 1 - Para membros de Banca Examinadora de Programa de Pós-graduação da UNIOESTE

AGRADECIMENTOS

A pesquisa científica é uma tarefa solitária, entretanto, os seus caminhos nunca são trilhados de maneira isolada, de modo que muitas pessoas contribuíram, direta e indiretamente, para a realização deste estudo. Dessa forma, não poderia concluir esta dissertação sem agradecer a todos aqueles que me acompanharam nesta jornada. Agradeço, em primeiro lugar, ao Universo por me conceder as forças necessárias para prosseguir e concluir com êxito esta pesquisa. Por não deixar eu desistir nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Nelson José Granja e Lindamir do Carmo Matias, pelo amor e pelos ensinamentos, por sacrificarem muitas coisas ao longo da vida no intuito de proporcionarem para mim e para o meu irmão (Roberto Granja) boas condições de estudo, por compreenderem as minhas ausências no período de escrita desta dissertação e por me apoiarem sempre. Vocês são os meus grandes exemplos na vida!!! Ao meu irmão, por sempre ter uma palavra de apoio e carinho, um abraço apertado e por me fazer rir. Obrigada por todas as trocas de ideias e conselhos. Você é fera e o seu apoio durante este período foi fundamental!

Não poderia deixar de fora dessa, minha vó, Dona Maria de Lourdes Granja, obrigada por todo cuidado, ajuda, carinho e compreensão, por ser a pessoa que mais depositou fé que este trabalho seria concluído com sucesso. Minha anciã de todos os ensinamentos, de todos os papos, ideias e lutas. Gratidão por tudo Dona Lourdes!!!

Agradeço infinitamente ao meu companheiro, Alceu Leonardo, por eu poder compartilhar todo processo deste trabalho, por vivenciar comigo toda a angústia, sentimentos e dificuldades enfrentadas. Por me abraçar naqueles dias mais difíceis, e acalmar minhas emoções e minha ansiedade. Meu aventureiro, obrigada por embarcar em todos esses sonhos comigo. Muito obrigada por todo carinho, amor e dedicação por mim, por nós.

À Vanessa Arruda, minha geógrafa-amiga-irmã de todas e para todas as horas! Aquela que deu a ideia inicial e me fortaleceu para que esse mestrado acontecesse. Minha maior incentivadora, em todos os sentidos. Obrigada por torcer sempre por mim e por fortalecer essa linda amizade.

Às amigas de longa data, Josieli Opalchuka, Debora Rey e Nicole Ponestk. A correria e os compromissos do dia a dia não nos possibilitam de estarmos juntas como antigamente, mas mesmo que por vezes distantes, a torcida verdadeira pela felicidade e pelo sucesso umas das outras sempre nos une!

Agradeço imensamente duas pessoas muito especiais, minha cunhada Maria Isadora e minha sogra Fátima. Obrigada por todo apoio, todo companheirismo, eu fico extremamente feliz em saber que fazemos parte de uma família. Vocês também foram fundamentais durante este processo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO/UNIOESTE), do câmpus de Marechal Cândido Rondon, gostaria de expressar um agradecimento especial a todos os professores do curso, que não mediram esforços para transmitirem seus conhecimentos e experiências de vida durante esses longos anos de pandemia, superando os desafios que todos enfrentamos.

À minha orientadora, Profa. Dra. Leila Limberger, agradeço por aceitar orientar este trabalho, por buscar ideias e estar sempre disponível para conversar, oferecendo incentivo contínuo e transmitindo tranquilidade em relação aos processos de realização da pesquisa. Pela dedicação à ciência geográfica e pela orientação desde a graduação. Agradeço por confiar em meu trabalho, pelas oportunidades e auxílios nestes anos de orientação e, principalmente, por me incentivar a ter grandes sonhos. Muito obrigada Leila, sua fé é inabalável!!!

Agradeço também ao Prof. Dr. Carlos Eduardo das Neves por conceder a sua disciplina de Fisiologia da Paisagem para eu realizar o estágio de docência, e permitir que eu ampliasse as minhas experiências profissionais em sala de aula. Suas aulas e ensinamentos foram essenciais para que eu conseguisse concluir o estágio. Muito obrigada!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro desta pesquisa, na forma de bolsa de mestrado. À Universidade Estadual do Oeste do Paraná pelo exemplo de instituição pública, gratuita e de qualidade. Sou muito grata pela boa formação que a UNIOESTE me proporcionou!!!

A todos, muito obrigada!

Minhas primeiras viagens, ainda na infância, feitas por alguém que não pensava que um dia viesse a se tornar geógrafo, adquiriram, posteriormente, uma importância fundamental. Ao longo da vida, cada impressão que tive da paisagem, de clima ou de tempo, foi por mim interpretada geograficamente mais tarde, por mais recôndita que estivesse na memória. Aos poucos, atingi a noção da organização natural do espaço em face da (des)organização humana do território.

Aziz Nacib Ab'Saber

O que é ser geógrafo (2007)

GRANJA, S.M. **Variabilidade sazonal da Precipitação no Sudeste da América do Sul associada com as fases da Oscilação Decenal do Pacífico.** Marechal Cândido Rondon: PPGGEO/Unioeste, 2024.

RESUMO

Os fenômenos que mais causam variabilidade climática são os relacionados com a oscilação da Temperatura da Superfície dos Mares (TSM). As oscilações da TSM afetam o clima dos continentes por meio de um processo físico conhecido por teleconexões atmosféricas. Os estudos das teleconexões atmosféricas e suas influências na estrutura horizontal da circulação atmosférica podem ser úteis para a compreensão da ocorrência de eventos anômalos de chuva ou temperatura em várias regiões do globo. Entre os fenômenos de teleconexões que causam variabilidade climática global está a Oscilação Decenal do Pacífico (ODP). A ODP é um padrão de variabilidade decenal (30-40 anos) que pode modular os efeitos de outras áreas de anomalias oceânicas, como o El Niño/Oscilação Sul (ENOS), na definição da variabilidade climática Sudeste da América do Sul. Portanto, estudos sobre a ODP são importantes no cenário de projeções climáticas de intensificação dos eventos ENOS e aquecimento geral dos oceanos globais. Diante disso, esta pesquisa tem por objetivo analisar se as diferentes fases da ODP têm influência nos padrões de precipitação do SEAS (Sudeste da América do Sul), considerando-se as diferentes estações do ano. Os objetivos específicos são a) demonstrar os padrões de anomalias pluviométricas causadas pela ODP para a região sudeste da América do Sul; b) analisar se há diferenças nos efeitos da ODP para diferentes estações do ano. Foram elaborados mapas de anomalias de precipitação anual para cada uma das fases da ODP adotadas na pesquisa, sendo: a) fase fria, 1950 a 1976; b) fase quente, 1977 a 1996; c) fase fria: 1997 a 2019. Também foram elaborados mapas para as 4 estações do ano para cada uma das fases da ODP. Os resultados mostram que no centro da América do Sul há um padrão inverso de anomalias de precipitação em cada uma das fases da ODP, sendo anomalias negativas durante as fases frias e anomalias positivas durante a fase quente. Já para o SEAS, o que foi verificado é uma tendência positiva de precipitação durante o período analisado. Ou seja, o que se identificou é que a ODP não exerce influência nas anomalias de precipitação no SEAS, mas o que se verifica é uma tendência positiva, que também não pode ser explicada por outro elemento de variabilidade climática, como o El Niño, mas que é resultado do processo de aquecimento oceânico da região equatorial do planeta, com a expansão da região tropical.

Palavras-chave: variabilidade climática; teleconexões atmosféricas; temperatura da superfície dos mares.

GRANJA, S.M. **Seasonal variability of Precipitation in Southeast South America associated with the phases of the Pacific Decadal Oscillation.** Marechal Cândido Rondon: PPGGEO/Unioeste, 2024.

ABSTRACT

The phenomena that most cause climate variability are those related to the oscillation of Sea Surface Temperature (SST). SST oscillations affect continental climates through a physical process known as atmospheric teleconnections. Studies of atmospheric teleconnections and their influences on the horizontal structure of atmospheric circulation can be useful for understanding the occurrence of anomalous rainfall or temperature events in various regions of the globe. Among the teleconnection phenomena that cause global climate variability is the Pacific Decadal Oscillation (PDO). The PDO is a pattern of decadal variability (30-40 years) that can modulate the effects of other areas of oceanic anomalies, such as the El Niño/Southern Oscillation (ENSO), in defining the climate variability of Southeast South America. Therefore, studies on the PDO are important in the scenario of climate projections of intensified ENSO events and general warming of global oceans. Thus, this research aims to analyze whether the different phases of the PDO influence precipitation patterns in Southeast South America (SESA), considering the different seasons of the year. The specific objectives are: a) to demonstrate the patterns of precipitation anomalies caused by the PDO for the southeastern region of South America; b) to analyze if there are differences in the effects of the PDO for different seasons of the year. Annual precipitation anomaly maps were developed for each phase of the PDO adopted in the research, namely: a) cold phase, 1950 to 1976; b) warm phase, 1977 to 1996; c) cold phase: 1997 to 2019. Maps were also developed for the 4 seasons of the year for each phase of the PDO. The results show that in the center of South America, there is an inverse pattern of precipitation anomalies in each phase of the PDO, with negative anomalies during cold phases and positive anomalies during warm phases. As for SESA, a positive trend in precipitation was observed during the analyzed period. In other words, it was identified that the PDO does not exert influence on precipitation anomalies in SESA, but rather a positive trend is observed, which also cannot be explained by another element of climate variability, such as El Niño, but is a result of the oceanic warming process in the equatorial region of the planet, with the expansion of the tropical region.

Keywords: climate variability; atmospheric teleconnections; sea surface temperature.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Padrões de anomalia de TSM e vento durante as fases da PDO: A) fase quente; B) fase fria 21
- Figura 2 – Dados mensais da série temporal Oscilação Decenal do Pacífico de 1854 a 2022 21
- Figura 3 - Mapa de precipitação e vento 850hPa para a América do Sul para o período de 1993 a 2016 para a) JJA e b) JJA c) DJF d) DJF 27
- Figura 4 – Sistemas produtores de tempo na América do Sul no que diz respeito a Baixa Troposfera é ANE ventos alísios de nordeste, ASE ventos alísios de sudeste, ASAS anticiclone subtropical do Atlântico Sul, ASPS anticiclone subtropical do Pacífico Sul, B baixa pressão, BC baixa do Chaco – região de baixas térmicas, BNE região de baixas térmicas no noroeste argentino, CCM complexo convectivo de mesoescala, FF frente fria, FQ frente quente, JBN jato de baixos níveis a leste dos Andes, LI linha de instabilidade tropical, LIP linha de instabilidade pré-frontal, NV nuvem vírgula, RC regiões ciclogénicas, ZCAS zona de convergência do Atlântico Sul e ZCIT zona de convergência intertropical. Já em relação à alta troposfera tem-se: AB alta da Bolívia, BL região de bloqueios atmosféricos, CNE cavado do nordeste do Brasil, JS jato subtropical, JP jato polar, VCAN sub vórtices ciclônicos de altos níveis subtropicais, VCAN trop vórtices ciclônicos de altos níveis tropicais. É importante destacar que a AB e o CNE são sistemas que se configuram no verão e desaparecem no inverno 28
- Figura 5 - Mapas de precipitação da América do Sul (GPCC) para as fases da ODP a) fase fria 1950 – 1976 b) fase quente 1977 – 1996 c) fase fria 1997 – 2019 33
- Figura 6 – Mapas de anomalia de precipitação da América do Sul (GPCC) para as fases da ODP a) fase fria 1950 – 1976 b) fase quente 1977 – 1996 c) fase fria 1997 – 2019 34
- Figura 7 – Mapas de anomalia de precipitação no SEAS (GPCC) para as fases da ODP a) fase fria 1950 – 1976 b) fase quente 1977 – 1996 c) fase fria 1997 – 2019 34
- Figura 8 – Mapas de correlação entre o índice da ODP e a chuva na América do Sul durante as fases da ODP: a) fase fria 1950 – 1976 b) fase quente 1977 – 1996 c) fase fria 1997 – 2019 35
- Figura 9 – Mapas de correlação entre o índice da ODP e a chuva no SESA durante as fases da ODP: a) fase fria 1950 – 1976 b) fase quente 1977 – 1996 c) fase fria 1997 – 2019 36

Figura 10 – Anomalia sazonal de precipitação para a América do Sul durante fase fria da ODP (1950 a 1976) a) DJF; b) MAM; c) JJA; d) SON 37

Figura 11 – Anomalia sazonal de precipitação para o SESA durante fase fria da ODP (1950 a 1976) a) DJF; b) MAM; c) JJA; d) SON 38

Figura 12 – Anomalia sazonal de precipitação para a América do Sul durante fase quente da ODP (1977 a 1996) a) DJF; b) MAM; c) JJA; d) SON 38

Figura 13 – Anomalia sazonal de precipitação para o SESA durante fase quente da ODP (1977 a 1996) a) DJF; b) MAM; c) JJA; d) SON 39

Figura 14 – Anomalia sazonal de precipitação para a América do Sul durante fase fria da ODP (1997 a 2019) a) DJF; b) MAM; c) JJA; d) SON 40

Figura 15 – Anomalia sazonal de precipitação para o SESA durante fase fria da ODP (1997 a 2019) a) DJF; b) MAM; c) JJA; d) SON 41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	VARIABILIDADE CLIMÁTICA: TELECONEXÕES ATMOSFÉRICAS E INFLUÊNCIAS NA AMÉRICA DO SUL	18
3	SISTEMAS ATUANTES NA AMÉRICA DO SUL	26
4	MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	32
5	RESULTADOS	36
6	CONCLUSÕES	42
7	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O Planeta Terra tem seu clima definido por dois fluidos: o ar e a água. Ambos têm dinâmica própria e interagem entre si, com a terra sólida, com os ecossistemas naturais e aspectos socioeconômicos (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007). O oceano tem o papel de modulador climático por meio de seu acoplamento com a atmosfera (Silva, 2012), o que faz dele um componente fundamental no ciclo hidrológico e um dos principais desencadeadores de variabilidade climática sobre os continentes.

Segundo Silva e Silva (2016), a variabilidade climática é vista cada vez mais sob a ótica de dependência dos papéis desempenhados pelos oceanos na interação com a atmosfera. A oscilação da Temperatura da Superfície dos Mares (TSM) afeta o clima dos continentes por meio de um processo físico conhecido por teleconexões atmosféricas. O conceito de teleconexões de Ambrizzi (2003, p. 1) elucida que esse fenômeno é um "recorrente e persistente padrão de anomalia de pressão e circulação de grande escala que cobre vastas áreas geográficas. [...] são também conhecidos como modos preferenciais de variabilidade de baixa frequência". Ou seja, uma anomalia de pressão, normalmente desencadeada por anomalias de TSM, desencadeiam "vibrações" na atmosfera, que vão se transferir, segundo alguns padrões de física da atmosfera, para locais distantes, causando variabilidade climática.

Na Geografia, os estudos das teleconexões atmosféricas e suas influências na estrutura horizontal da circulação atmosférica podem ser úteis para a compreensão da ocorrência de eventos anômalos de chuva ou temperatura em várias regiões do globo, já que análises de teleconexões compreendem uma visão geral da circulação atmosférica (Cavalcanti e Oliveira, 2015). Além disso, Cavalcanti e Ambrizzi (2009) destacam que as teleconexões atmosféricas são essenciais e evidenciam a variabilidade interanual e interdecenal da circulação atmosférica, pois várias delas atuam e são de escala planetária, cobrindo grandes regiões, como bacias oceânicas e continentais.

Portanto, estudos de teleconexões atmosféricas em escala global são importantes para compreender a variabilidade climática; porém, demandam dados globais, pois as

alterações nas condições de TSM podem causar disseminação de ondas atmosféricas e anomalias climáticas em locais distantes (Limberger, 2016).

O padrão de teleconexão atmosférica responsável pela maior parte da variabilidade climática global é o El Niño/Oscilação Sul (ENOS). Esse fenômeno se constitui como uma gangorra de pressão atmosférica entre as ilhas de Tahiti e Darwin, no oceano Pacífico, ocasionada por padrões anômalos de TSM neste oceano. Quando a TSM está acima do normal no leste ou centro do Pacífico, configura-se um El Niño; quando esta região oceânica apresenta TSM abaixo do normal, tem-se uma La Niña (NWS/CPC, 2024).

Além do ENOS, outros fenômenos de associação oceano/atmosfera produzem alterações nos padrões médios da atmosfera, favorecendo uma intensificação na variabilidade climática. Dentre aqueles que mais afetam a circulação atmosférica na América do Sul destacam-se o *Tropical South America (TSA)*, *Tropical North America (TNA)*, Índice de TSM nas Regiões, RG2 + RG3 (ITSMRG2+RG3), a *Madden-Julian Oscillation (MJO)* e a *Pacific Decadal Oscillation (PDO)*, ou ODP em português (Souza; Reboita, 2021).

Dentre esses padrões de teleconexões a ODP ganha destaque por ser uma oscilação de larga escala, que tem ciclos de 30 a 40 anos (Mantua et al., 1997), caracterizado por anomalias de TSM entre as áreas equatorial e extratropical sobre toda a bacia do Pacífico (Mantua e Hare, 2002), influenciando os padrões climáticos em diversas áreas do globo, especialmente na América do Sul (Silva et al., 2020). Além disso, a ODP é um padrão de variabilidade que pode modular os efeitos de outras áreas de anomalias oceânicas, como o ENOS (Kayano; Andreoli, 2004; Andreoli; Kayano, 2005; Kayano; Andreoli, 2007), já que se encontram no mesmo oceano e têm proximidade geográfica.

Mesmo tendo a possibilidade de influenciar a dinâmica climática na América do Sul, há poucos estudos que se dedicam na análise desta relação. Villamayor et al. (2018), Marengo et al. (2004) e Kayano e Andreoli (2004), estudaram os efeitos da ODP no norte da América do Sul; Robertson e Mechoso (2000), estudaram os efeitos da ODP na vazão de rios do Sudeste da América do Sul e no sul da Amazônia. Andreoli e Kayano (2005), estudaram a variabilidade da chuva na América do Sul associada ao ENOS nas duas

fases da ODP, especialmente nos meses de outono. Kayano e Andreoli (2007), estudaram a variação interanual da chuva no verão da América do Sul associada à ODP. Silva et al. (2016) e Silva et al. (2020), estudaram a variabilidade de circulação atmosférica para a América do Sul nas fases positivas e negativas da ODP.

Portanto, há lacunas nesse campo do conhecimento que precisam ser preenchidas e é nesse intuito que a presente pesquisa assume sua relevância, pois busca analisar o padrão médio da chuva no SEAS nas diferentes fases da ODP durante o período de 1950 a 2019 em escala sazonal.

O período de 1950 a 2019 foi adotado devido ao fato de que, a partir de 1950 há maior disponibilidade de dados, com maior confiabilidade, sobre os índices de precipitação e TSM disponibilizados por institutos de pesquisa meteorológica e, também, porque esse período mais longo permitirá analisar os efeitos da ODP na chuva do SEAS em suas sucessivas fases negativas e positivas.

O SEAS área definida para estudo, compreende a região Sul e partes do Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, além de Argentina, Paraguai, Bolívia e Uruguai. São áreas responsáveis pela produção de grande parte dos bens de consumo desses países, além de terem importante papel na agropecuária e na produção de energia hidrelétrica, no caso do Brasil. Portanto, a variabilidade no regime de chuvas dessa região afeta substancialmente tanto as condições de vida das pessoas quanto a economia dos países envolvidos. Entender os fatores que desencadeiam a variabilidade climática em determinada região é essencial para o planejamento e a adaptação proativa da sociedade e dos governos, uma vez que as informações climáticas confiáveis e bem articuladas podem fortalecer a gestão de riscos e promover ações adaptativas efetivas, considerando as vulnerabilidades locais e regionais (IPCC, 2022).

Levando em consideração que a variabilidade climática se trata de um fenômeno caracterizado por flutuações naturais no clima ao longo do tempo, envolvendo alterações nas temperaturas, precipitações e outros fatores atmosféricos, conforme explicam Marengo et al. (2018), ela desempenha um papel crucial na dinâmica ambiental. Essas variações podem ocorrer em diferentes escalas temporais e espaciais, desde oscilações anuais, como as associadas ao El Niño-Oscilação Sul (ENSO), até mudanças mais prolongadas em décadas ou séculos (IPCC, 2021). Por impactar diretamente atividades

humanas, como agricultura, gestão de recursos hídricos e infraestrutura urbana, a compreensão da variabilidade climática se torna uma ferramenta estratégica para melhorar a qualidade de vida da população, pois otimiza os recursos disponíveis e reduz os riscos associados aos extremos climáticos.

O objetivo deste trabalho é analisar se as diferentes fases da Oscilação Decenal do Pacífico têm influência nos padrões de precipitação do SEAS, considerando-se as diferentes estações do ano. Os objetivos específicos são a) demonstrar os padrões de anomalias pluviométricas causadas pela ODP para a região sudeste da América do Sul; b) analisar se há diferenças nos efeitos da ODP para diferentes estações do ano.

Com isto, a presente pesquisa visa focar na associação entre as diferentes fases da ODP (negativa e positiva) e a variabilidade das chuvas no SEAS, procurando evidenciar se há alguma diferença sazonal dos efeitos da ODP no padrão das chuvas do SEAS. A hipótese é de que, mesmo sob a mesma fase da ODP, os impactos no SEAS podem ocorrer via interferência da ODP nos diferentes sistemas produtores de tempo que atuam na América do Sul, que apresentam variação sazonal, como a Alta da Bolívia, a Zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Zona de convergência intertropical (ZCIT) e os Jatos de baixos níveis (JBN). Ou seja, considera-se que a ODP pode influenciar a circulação na América do Sul de forma diferente nas estações do ano de forma indireta.

A dissertação está organizada da seguinte forma: no capítulo 2 são apresentados os principais conceitos sobre a variabilidade climática gerada a partir de padrões de teleconexões atmosféricas, enfocando na ODP e analisando os principais efeitos na precipitação da América do Sul. No capítulo 3 os sistemas de circulação que atuam sobre a América do Sul, e no capítulo 4 são apresentados os dados e os principais procedimentos metodológicos utilizados para a elaboração dos resultados. No capítulo 5 são apresentados os resultados, com suas discussões, seguido do capítulo 6, com as conclusões, e na sequência, as referências bibliográficas.

2 VARIABILIDADE CLIMÁTICA: TELECONEXÕES ATMOSFÉRICAS E INFLUÊNCIAS NA AMÉRICA DO SUL

Desde as contribuições da escola Norueguesa de Meteorologia, as concepções sobre a atuação de elementos físicos e dinâmicos na atmosfera têm tornado complexas as explicações do sistema climático (Silva, 2012), demonstrando os fatores desencadeadores de variabilidade climática, especialmente atrelados à interação oceano-atmosfera, padrões anômalos de aquecimento e esfriamento da superfície dos oceanos e pelo escoamento da atmosfera. A interação entre esses fenômenos pode, muitas vezes, ser materializada em alterações nos elementos do clima, principalmente da precipitação, gerando variabilidade climática.

Pode-se dizer que o conceito de variabilidade climática é inerente ao conceito de clima (Limberger, 2015). A combinação de diversos componentes do clima gera diferentes resultados no tempo e no espaço, gerando variabilidade climática, que é o modo como um elemento varia em um determinado período (Tavares, 2001). O conhecimento do conceito de variabilidade climática nos estudos da geografia torna-se importante em razão da sua relação com os eventos extremos, aqueles que “saem da média”, ou seja, os que mais prejudicam as diversas atividades humanas, como agropecuária, indústria e a produção de energia (Limberger, 2015).

A variabilidade climática é vista cada vez mais sob a ótica de dependência dos papéis desempenhados pelos oceanos na interação com a atmosfera (Silva, 2012). Os fenômenos que mais causam variabilidade climática são os relacionados com a oscilação da TSM. O oceano é um imenso corpo de água salgada que ocupa as depressões da Terra, contendo aproximadamente 97% de toda a água do Planeta e ocupando cerca de dois terços da superfície terrestre (Garrison, 2010). Oceano e atmosfera estão ligados diretamente entre si e trocam energia, gases e água (Christopherson, 2012). A interação do oceano e da atmosfera ameniza as temperaturas superficiais, molda o tempo e o clima da Terra e cria maior parte das ondas e correntes do mar (Garrison, 2010).

Assim, os oceanos assumem o papel de grande modulador climático global, correlacionando a temperatura das superfícies oceânicas e as alterações dos campos de pressão e ondas atmosféricas, geradas devido às eventuais modificações dos padrões

da superfície dos oceanos, com as anomalias climáticas em diversos locais do planeta por meio de padrões de teleconexões atmosféricas (Silva e Silva, 2016).

A palavra teleconexão significa conexão a distância e refere-se a um padrão recorrente e persistente de anomalias de uma determinada variável (Cavalcanti e Ambrizzi, 2009). Os padrões de teleconexões são também conhecidos como maneiras potenciais de variabilidade de uma baixa frequência e são, geralmente, de escalas planetárias, envolvendo oceano e continentes (Ambrizzi, 2003). É importante entender os padrões de teleconexões atmosféricas para compreender como se propagam, suas variações nas escalas de tempo e espaço (o que envolve os deslocamentos desses padrões) e como resultam na disseminação da variabilidade climática, que em algumas situações, podem resultar em desastres ambientais (Grimm, 2009b).

Assim, entende-se que a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) desempenha um papel fundamental na regulação do clima e de sua variabilidade. Em especial, as variações lentas da TSM atuam como uma fonte potencial para a previsibilidade climática, influenciando flutuações em escalas temporais que vão desde dias até períodos mais prolongados, como semanas, meses ou até mesmo anos. Analisando-se a questão atmosférica é necessário levar em consideração a nebulosidade, a velocidade do vento e a umidade como reguladores da troca de energia com a superfície do mar (Deser et al., 2010). Na Geografia, os estudos das teleconexões e suas influências na estrutura horizontal da circulação atmosférica podem ser úteis para a compreensão da ocorrência de eventos anômalos de chuva ou temperatura em várias regiões do globo, visto que análises de teleconexões apresentam um panorama geral da circulação atmosférica (Cavalcanti e Oliveira, 2015).

Algumas teleconexões mostram configurações de “trens de ondas”, que têm sido explicadas pela teoria de propagação de ondas de Rossby, em razão de uma forçante local. A partir da indução de forçantes, estas podem modificar os padrões atmosféricos e produzir persistentes anomalias de pressão em larga escala capazes de cobrir vastas regiões continentais, como destacado por Cavalcanti e Ambrizzi, 2009.

Nos clássicos trabalhos de Bjerknes (1921), Walker (1928), Rossby (1945), Bjerknes (1969), Hoskins e Karoly (1981), Wallace e Gutzler (1981), Karoly (1989), dentre tantos outros, é possível compreender melhor a dinâmica pelas quais as anomalias de

TSM e da pressão atmosférica modificam remotamente os padrões de precipitação e temperatura. Wallace e Gutzler (1981), estruturaram um conjunto de técnicas para os estudos dos fenômenos de teleconexão. A evolução dos estudos sobre teleconexões demonstrou que dentre as mais eminentes configurações que afetam a variabilidade climática global e, em particular a América do Sul, estão os fenômenos ENOS e a ODP (Cavalcanti e Ambrizzi, 2009; Grimm, 2009b).

No início da década de 1970, o maior prejuízo na produção pesqueira, mencionado no contexto das oscilações climáticas, foi observado na região do Oceano Pacífico Norte, especialmente nas áreas de pesca de salmão ao largo das costas dos Estados Unidos e Canadá. Essa região sofreu impactos significativos devido às alterações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), que foram posteriormente associadas à Oscilação Decenal do Pacífico (ODP) (Mantua et al., 1997). O padrão mais recorrente de anomalias de TSM do oceano Pacífico na escala de décadas.

Na Figura 1 apresentam-se as duas fases da ODP; a fase positiva (ou quente) é apresentada na Figura 1A, na qual verifica-se que a região equatorial do Pacífico, incluindo a costa oeste dos EUA, é marcada por anomalias positivas de TSM, enquanto a região central do Pacífico Norte apresenta anomalias negativas de TSM. O padrão contrário é visto na Figura 1B, que representa a fase negativa (ou fria) da ODP.

Vários autores procuraram definir as fases da ODP por diversas técnicas (Mantua et al., 1997; Gerólomo; Kayano, 2008). A partir de estudos de diversos autores (Mantua et al., 1997; Zhang et al., 1998), a *North Carolina Climate Office* (2023) define como períodos de fase fria os anos de 1890 a 1924 e 1947 a 1976; os períodos da fase quente são de 1925 a 1946 e 1977 até meados dos anos 90. A partir de 1997 até os anos 2020 há uma predominância de fase fria, porém não tão bem definida como nas demais fases da ODP.

A**B**

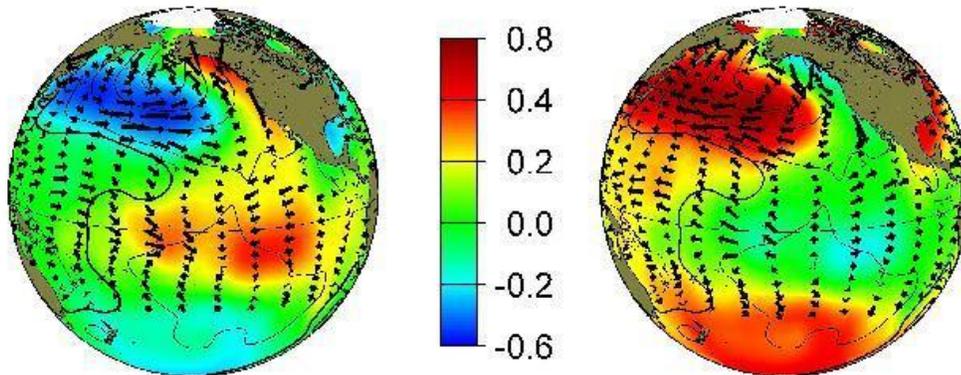
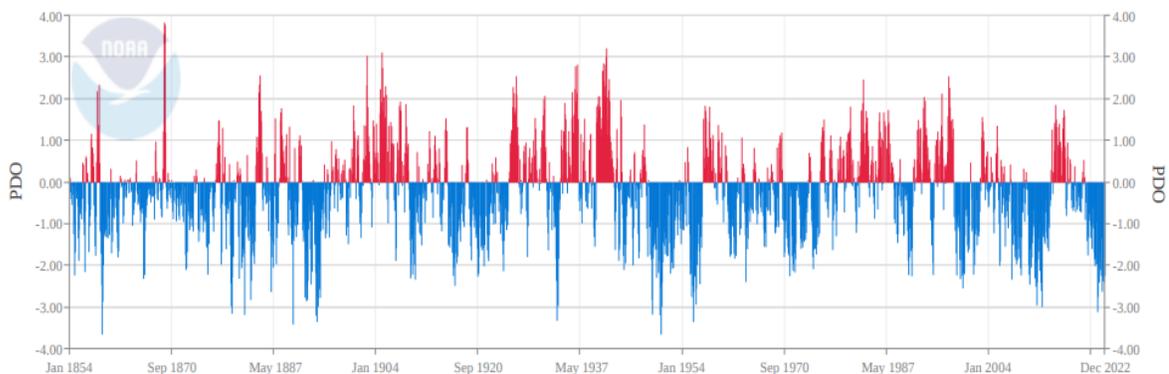


Figura 1 - Padrões de anomalia de TSM e vento durante as fases da PDO: A) fase quente; B) fase fria.
Fonte: JISAO (2017).

Na Figura 2 é apresentada a série temporal do valor anual do índice da ODP, pela qual pode-se identificar uma grande variabilidade interanual e grandes ciclos, de aproximadamente 30 anos, de fases negativas e positivas. A variabilidade dessa oscilação é de baixa ou baixíssima frequência (Mantua; Hare, 2002; Kayano; Andreoli, 2009). Minobe (2000), identificou que a fase mais energética de flutuação da ODP tem duas periodicidades: 15-25 anos em 50-70 anos.

Pacific Decadal Oscillation (PDO)



Source: <https://www.ncei.noaa.gov/pub/data/cmb/ersst/v5/index/ersstv5.pdo.dat>

Figura 2 – Dados mensais da série temporal Oscilação Decenal do Pacífico de 1854 a 2022.
Fonte: NCEI/NOAA, 2024.

Por consequência, a partir dessas anomalias de TSM, são geradas anomalias de circulação atmosférica, que vão afetar primeiramente regiões do Hemisfério Norte, de forma mais direta.

Inicialmente, ODP foi considerada como um fenômeno análogo ao ENOS quanto ao padrão de variação da TSM global, pressão ao nível do mar e padrão do vento, com os padrões de anomalia de TSM da ODP se expandindo mais para o Pacífico Norte extratropical (Zhang et al., 1997).

Para Mantua et al. (1997), o resultado dessa oscilação seria perceptível apenas na América do Norte, especialmente no inverno boreal. No entanto, alguns trabalhos têm mostrado que este modo influencia na variabilidade climática em outras partes do planeta (Kayano e Andreoli, 2004; Andreoli e Kayano, 2005; Kayano e Andreoli, 2007; Silva, Drumond e Ambrizzi, 2011; Silva, 2012; Nascimento Jr., 2013; Silva e Silva, 2016; entre outros).

Para entender como a ODP pode modular a TSM na região equatorial do Pacífico, Gerólamo e Kayano (2008), por meio de análises de ondaletas, estudaram a influência das fases positiva e negativa da ODP no ciclo anual da TSM no Pacífico Tropical. Os resultados mostraram que as influências da ODP nos ciclos anuais de TSM dependem da longitude e do hemisfério; porém, há deslocamentos das áreas com maior TSM e mudança dos meses com registro de maior ou menor valor de temperatura quando se analisam os valores médios para as fases quente ou fria da ODP.

Procurando entender a variabilidade decenal das chuvas no nordeste do Brasil, Kayano e Andreoli (2004) identificaram que esta é ligada de forma independente à região da ODP. Essa teleconexão ocorre via circulação em altos níveis na atmosfera, que transfere as anomalias de TSM e sua associação com a atmosfera adjacente para o Atlântico Norte (via padrão *Pacific North America* – PNA), que, por sua vez, modula o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ZCIT é o principal sistema produtor de chuvas na região nordeste do Brasil. Quando a TSM no Atlântico Norte é mais fria, a ZCIT tende a se localizar mais ao sul da sua posição habitual, causando mais chuvas sobre o Nordeste do Brasil. Ao contrário, quando a TSM está mais quente do que o normal no Atlântico Norte, a ZCIT tende a se posicionar mais ao norte, o que subtrai a chuva na região Nordeste. Ou seja, Kayano e Andreoli (2004), identificaram que a dinâmica de anomalias de TSM no oceano Atlântico tropical norte, avaliada pelo índice *North Atlantic Oscillation* (NAO), sugere uma relação entre a ODP e o NAO, que poderia influenciar as chuvas no nordeste brasileiro.

Nesta mesma linha de pesquisa, em trabalho de Andreoli e Kayano (2005), as autoras analisaram como as anomalias de chuva na América do Sul causadas pelos fenômenos ENOS se apresentavam nas diferentes fases (quente e fria) da ODP. Analisaram, para isso, os meses da primavera e verão no Hemisfério Sul (novembro, dezembro, janeiro e fevereiro) de 1948 a 1999. Os resultados dessa pesquisa foram muito importantes para a evolução dos estudos sobre a relação entre ENOS e ODP, já que as autoras concluíram que, quando os eventos estão em fase, ou seja, ODP quente e El Niño, os efeitos do El Niño são mais fortes. Resultados similares foram identificados em Kayano e Andreoli (2007). Além disso, Silva, Drumond e Ambrizzi (2011), identificaram que durante a fase positiva da ODP se observa maior número de El Niños e durante a fase negativa da ODP as La Niñas são mais fortes.

Andreoli e Kayano (2005), também identificaram que grandes volumes de chuva no sul da América do Sul e secas no nordeste são explicadas por um fraco centro anticiclônico no sudeste da América do Sul e por um centro ciclônico no leste e nordeste do Brasil, quando da ocorrência em fase de El Niño e ODP quente. As anomalias positivas de precipitação sobre o sudeste da América do Sul são localizadas mais ao sul de sua posição climatológica quando há El Niño e ODP fria. Isso é explicado por que quando há ODP fria, ocorre uma forte circulação ciclônica em baixos níveis sobre o sul da América do Sul, o que fortalece o jato subtropical em altos níveis.

Essas evidências de circulação ciclônica anômala em baixos níveis no centro-sul da América do Sul quando da ocorrência da fase fria da ODP e anticiclônica, quando da fase quente da ODP, também foram identificadas por Silva e Silva (2016), Silva, Silva e Ambrizzi (2016), Villamayor, Ambrizzi e Mohino (2018) e Silva et al. (2020).

Silva e Silva (2016), em suas pesquisas identificaram padrões climáticos de circulação e precipitação sobre a AS durante as fases negativa e positiva da ODP. Os resultados apontaram anomalia positiva de altura geopotencial em altos níveis troposféricos sobre o SEAS na fase negativa da ODP, proporcionando condições mais secas que o normal para esta região. Já na fase positiva da ODP, os autores verificaram anomalia negativa de altura geopotencial em altos níveis sobre o SEAS, indicando condições mais úmidas. Associados a estes padrões de geopotencial, anomalias

anticiclônicas e ciclônicas de circulação em altos e baixos níveis são observadas nas fases negativa e positiva da ODP, respectivamente.

Chu et al. (2020), estudaram a associação entre os padrões de teleconexão atmosférica no inverno do ENOS nas duas fases da ODP para o período de 1950 a 2010. Foram utilizados os dados da reanálise ERA-20C. Os autores identificaram que quando o ENOS ocorre durante a fase quente da ODP, os jatos de oeste ficam fortalecidos e mais uniformes do que a climatologia, acompanhados de anomalias de *eddies* transientes no nordeste do Pacífico, o que fortalece o padrão *Pacific North America* (PNA) de teleconexão. Quando o ENOS ocorre na fase fria da ODP, as anomalias do jato de oeste se separam em duas partes, uma ficando ao norte do que seria o fluxo climatológico e a outra no fluxo abaixo; assim, os *eddies* transientes também se dividem em duas partes, enfraquecendo o padrão PNA.

Além da relação ENOS e ODP, há muitos estudos que relacionam os oceanos Pacífico e Atlântico para entender os impactos da ODP na AS. Considera-se que na escala decenal, os dois padrões de teleconexões que influenciam a AS são a ODP e a Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA). Kayano et al. (2019), indicam que a associação OMA fria/ODP quente (CAMO/WPDO) e OMA quente/ODP fria (WAMO/CPDO) desencadeia, respectivamente, uma célula de Walker mais forte e mais fraca, respectivamente, no Pacífico tropical durante o outono austral. Os resultados indicam que a célula Leste-Oeste inter-bacia entre o Atlântico equatorial e o Pacífico leste contribuem para o fortalecimento (enfraquecimento) da célula de Walker durante o outono austral de WAMO/CPDO (CAMO/WPDO). Os autores também verificaram que o estado médio da ligação das duas bacias oceânicas (Atlântico e Pacífico) alteram as características do ENOS. As maiores anomalias positivas de TSM ocorrem no Pacífico Tropical Central durante WAMO/CPDO, e no Pacífico tropical leste durante a CAMO/WPDO. A interligação entre os oceanos Atlântico e Pacífico desenvolvem um importante papel na modulação das características do EN e seus efeitos na chuva da América do Sul.

Wei et al. (2021), estudaram a influência da ODP nos extremos de precipitação ao redor do globo. Eles identificaram que, na China, a gangorra de precipitação no verão com enchentes (secas) no sul e secas (enchentes) no norte correspondem bem às fases

positivas (negativas) da ODP. Na Austrália, eles identificaram um padrão de tripolo, com correlação positiva entre extremos de precipitação e ODP na região Central e correlação negativa entre o leste e o oeste do país. Na Europa, também foi identificada correlação positiva. Ou seja, a ODP pode ter ainda mais efeitos na circulação global do que até hoje é conhecido.

Em um cenário de mudanças climáticas, Kwon et al. (2013), estudaram as mudanças na relação entre ENOS e ODP utilizando modelos climáticos do IPCC com os resultados do Relatório 4 (AR4). Eles identificaram que em um cenário de aquecimento, considerando os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, o ENOS e a ODP vão ocorrer em fase com mais frequência, ou seja, mais La Niñas em ODP fria e mais El Niños em ODP quente. Como já foi visto, quando esses fenômenos ocorrem em fase, os efeitos no clima são mais fortes. Assim, os autores indicam um clima com sinais mais fortes do ENOS no futuro.

Kayano e Andreoli (2009), indicam que a abordagem da sobreposição dos modos de variabilidade climática de baixa frequência (em escalas decenal e multidecenal, como a ODP), e os de modos de variabilidade de alta frequência (em escalas interanuais, como o ENOS) representam avanços bastante interessantes tanto na identificação de teleconexões climáticas (mais e menos frequentes aos modos), quanto na observação de alterações climáticas em algumas regiões do globo.

Neste sentido, dada a complexidade climática da AS (América do Sul), os estudos das características de circulação de baixa frequência associada aos eventos ENOS ocorridos em fases distintas da ODP até o presente não esgotam o tema, já que os estudos sobre a ODP ainda são recentes na comunidade científica se comparados aos estudos sobre o fenômeno ENOS. A sociedade científica brasileira ainda necessita de mais estudos para identificar os efeitos da ODP sobre a AS, visto que não se tem muitos estudos sobre este tema. É neste sentido que a presente pesquisa se apresenta, visando entender os efeitos das diferentes fases da ODP na variabilidade da precipitação da AS em escala sazonal. A hipótese é que a circulação anômala gerada pela ODP deve afetar de forma diferenciada os sistemas atmosféricos que atuam na América do Sul durante as 4 estações do ano, levando em consideração os resultados não terem relação

linear com a ODP. Para proceder com essa discussão, é necessário conhecer os sistemas atmosféricos que atuam na América do Sul, enfatizando sua variabilidade anual.

3 SISTEMAS ATUANTES NA AMÉRICA DO SUL

Analisando a interação de fatores físicos, geográficos e atmosféricos da América do Sul (AS), compreende-se o quanto sua climatologia é complexa e diversificada. É fundamental estudar a climatologia de cada região da AS para auxiliar em decisões políticas, planejamento urbano, gestão ambiental e desenvolvimento sustentável, contribuindo para a resiliência das comunidades e ecossistemas frente aos desafios climáticos.

A AS possui uma geografia heterogênea, e incorpora a existência de feições particulares (como por exemplo, a Cordilheira dos Andes e a Floresta Amazônica) e regiões secas, por exemplo, o Deserto do Atacama e o semiárido do Nordeste do Brasil (Reboita et al., 2012). Dessa forma, o regime de chuvas na América do Sul é bem variado espacialmente, principalmente entre os trópicos e subtropicais, e apresenta um ciclo anual regular (Carvalho e Jones, 2009), como pode ser verificado na Figura 4. O início da estação chuvosa sobre boa parte do Centro-Oeste e Sudeste do Brasil ocorre, em média, na segunda quinzena de outubro, e o pico da estação chuvosa, entre dezembro e fevereiro. Já nos meses de março e abril, a atividade convectiva profunda se enfraquece sobre a região tropical (Carvalho e Jones, 2009).

A Figura 3 a e b ilustram os padrões climáticos médios na AS durante o inverno, caracterizados por chuvas máximas na região equatorial do continente (incluindo o norte do Brasil e os países do norte da AS) e menos precipitação na maior parte do centro e nordeste do Brasil, Argentina, Bolívia e porções do Paraguai e do Peru (Ferreira e Reboita 2022). A Figura 3 c e d apresentam os padrões climáticos médios para a AS durante o verão, indicando aumento dos totais de chuvas no centro da AS, incluindo a maior parte do Brasil, norte e leste da Bolívia. Fica evidente a representação bem configurada da ZCAS, caracterizada por uma faixa de maior precipitação que se estende do sul da região amazônica até o Atlântico Oceano, passando pelo centro-oeste e sudeste do Brasil (Ferreira e Reboita, 2022). Segundo Ferreira e Reboita (2022), nota-se que partes da AS, como o sul do Brasil e o Uruguai, têm menos diferenças espaciais e sazonais, que

causam uma variabilidade da precipitação, uma vez que os totais de precipitação não indicam mudanças substanciais no inverno e temporadas de verão.

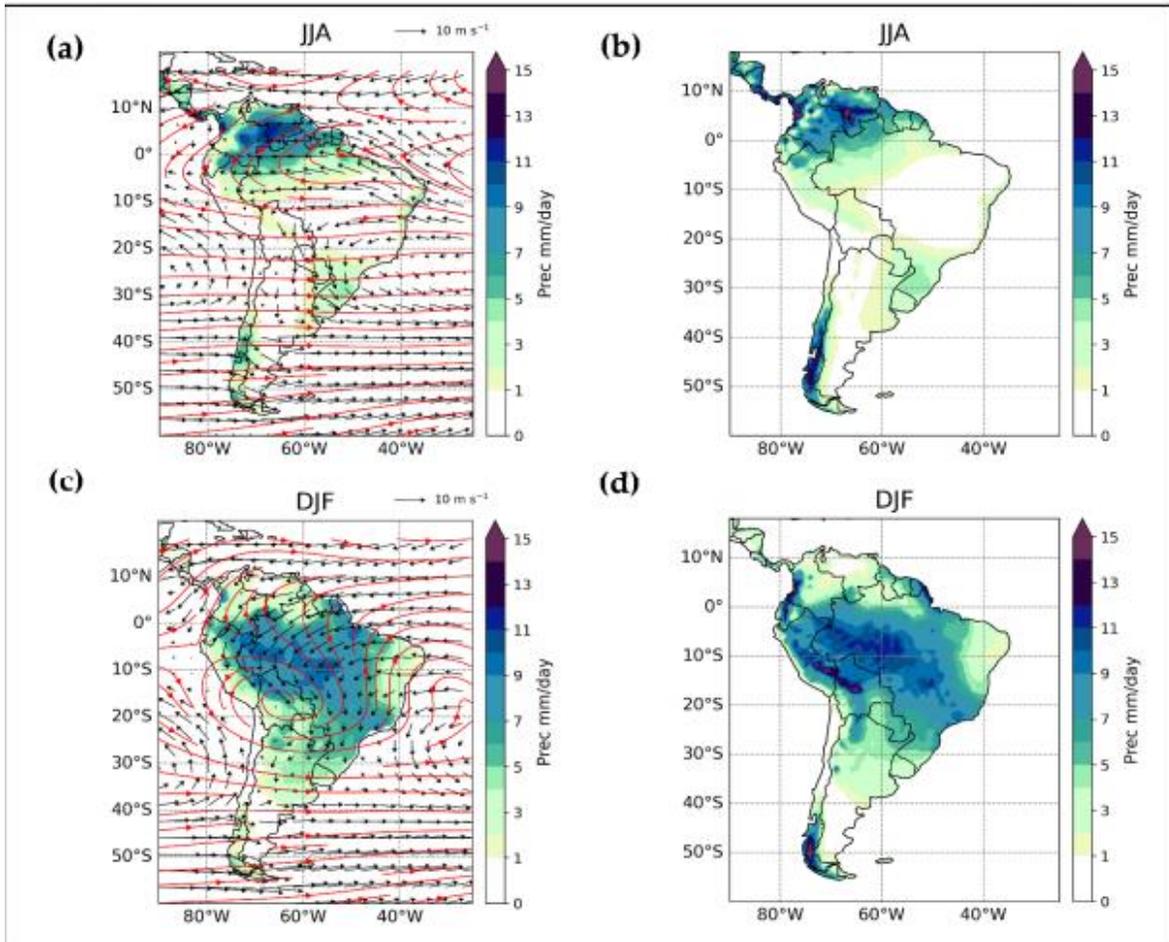


Figura 3 – Mapa de vento e precipitação 850hPa para a América do Sul para o período de 1993 a 2016 para a) JJA e b) JJA c) DJF d) DJF.

Fonte: Ferreira e Reboita (2022).

Tais particularidades contribuem para a ocorrência de diferentes sistemas atmosféricos e contrastes climáticos em seu vasto território (Ferreira e Reboita, 2022). Os principais sistemas produtores de precipitação na América do Sul estão representados na Figura 3, que diz respeito aos sistemas produtores de tempo na América do Sul. Como pode-se observar, no que diz respeito a Baixa Troposfera é ANE ventos alísios de nordeste, ASE ventos alísios de sudeste, ASAS anticiclone subtropical do Atlântico Sul, ASPS anticiclone subtropical do Pacífico Sul, B baixa pressão, BC baixa do Chaco – região de baixas térmicas, BNE região de baixas térmicas no noroeste argentino, CCM complexo convectivo de mesoescala, FF frente fria, FQ frente quente,

JBN jato de baixos níveis a leste dos Andes, LI linha de instabilidade tropical, LIP linha de instabilidade pré-frontal, NV nuvem vírgula, RC regiões ciclogenéticas, ZCAS zona de convergência do Atlântico Sul e ZCIT zona de convergência intertropical. Já em relação à alta troposfera tem-se: AB alta da Bolívia, BL região de bloqueios atmosféricos, CNE cavado do nordeste do Brasil, JS jato subtropical, JP jato polar, VCAN sub vórtices ciclônicos de altos níveis subtropicais, VCAN trop vórtices ciclônicos de altos níveis tropicais. É importante destacar que a AB e o CNE são sistemas que se configuram no verão e desaparecem no inverno.

Em baixos níveis destacam-se os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), os Jatos de Baixos Níveis (JBN) e as frentes frias (FF). Em altos níveis serão apresentados a Alta da Bolívia (AB) e os Jatos Subtropical (JS) e Polar (JP).

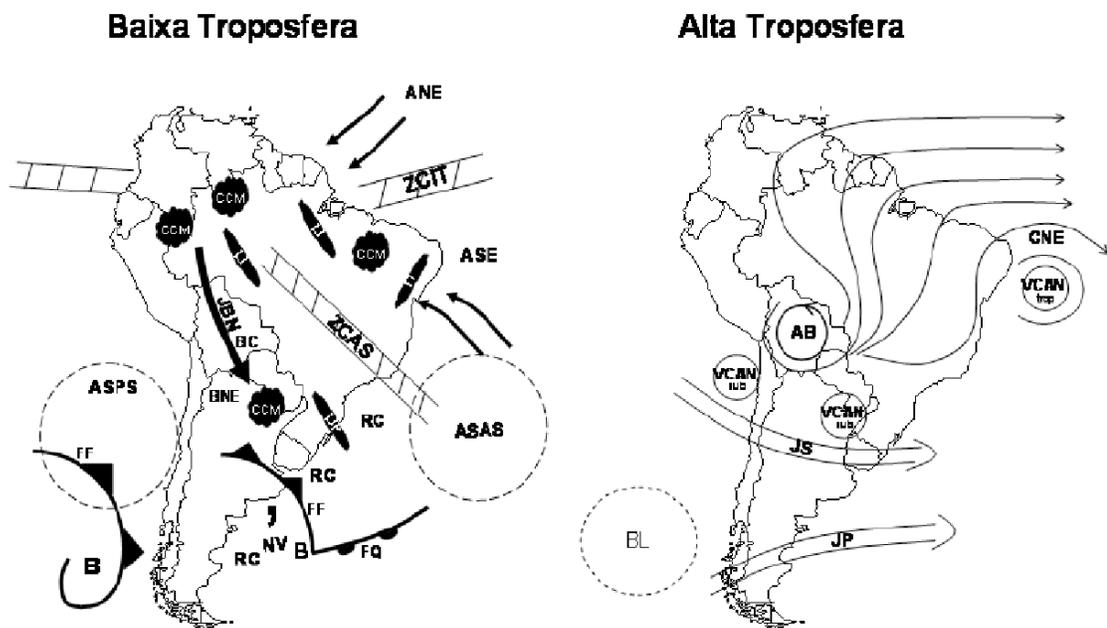


Figura 4 – Sistemas produtores de tempo na América do Sul

Fonte: Reboita et al. (2010).

Os CCMs são conjuntos de cumulonimbus acompanhados por densa camada de cirrus, que podem ser facilmente identificados em imagens de satélites como sendo

sistemas de nuvens com aparência aproximadamente circular (Reboita et al, 2010). O elemento principal para a formação dos CCMs nos extratropicais da AS é a presença de um jato em baixos níveis (JBN) de norte, com máxima velocidade em torno de 850 hPa, o qual proporciona forte advecção de ar quente e úmido. Na AS, o JBN é muito importante para o desenvolvimento de CCMs (Marengo et al., 2004).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é considerada o sistema mais importante gerador de precipitação sobre a região equatorial dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico, assim como áreas continentais adjacentes (Melo et al 2009). A ZCIT migra sazonalmente, em anos considerados normais, de sua posição mais ao norte (em torno de 14°N), durante agosto e setembro, para sua posição mais ao sul (em torno de 2° S), durante março e abril (Melo et al 2009). Essa migração sazonal da ZCIT, associada aos fatores que causam o fortalecimento ou enfraquecimento dos alísios de nordeste e sudeste, tem papel importante na determinação da estação chuvosa do norte da região nordeste (Melo et al 2009).

A ZCAS tem um papel fundamental em modular a precipitação sobre a região mais populosa do Brasil (Carvalho e Jones, 2009), e é o sistema mais importante para manutenção das chuvas sobre a AS durante a fase úmida. A ZCAS corresponde a uma faixa de nuvens que se estende da Amazônia ao sudeste do Brasil e atinge o oceano Atlântico Sul, sendo a sua formação relacionada à combinação da convecção continental e do transporte de umidade pelo JBN e pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) para áreas do sudeste do Brasil (Silva et al., 2019).

Em várias regiões do globo, fortes fluxos meridionais são observados na baixa troposfera ao longo de cadeias montanhosas. Esses ventos têm máxima velocidade, em torno de 2.000m, e são conhecidos como Jatos de Baixos Níveis (JBNs). Na América do Sul, o JBN é conhecido como Jatos de Baixos Níveis da América do Sul (JBNAS), que transporta umidade da bacia Amazônica para a bacia dos rios Paraná e Prata (Dias e Silva, 2009). Eventos de JBNAS podem influenciar, por meio de variações no transporte de umidade, as condições de tempo severas associadas às grandes nuvens convectivas na região de saída do jato, que podem gerar fortes tempestades e inundações.

As frentes frias afetam o tempo sobre a AS durante todo o ano. Frentes atmosféricas se formam quando há encontro de massas de ar de características

diferentes, com forte gradiente térmico. Quando o ar frio está avançando e substituindo o ar quente, a borda anterior da zona frontal é marcada por uma frente fria (Cavalcanti e Kousky, 2009). O período mais intenso de ocorrência de frentes frias é na primavera, no verão e início do outono, pois os sistemas de alta e baixa pressão estão fortalecidos pelo aquecimento do continente.

As frentes frias são sempre acompanhadas por sistemas ciclogênicos. A formação e o desenvolvimento de ciclones na atmosfera, denominados de ciclogênese, são estudados desde o século XIX, em razão da grande importância que tais sistemas assumem no transporte de calor, na umidade e na quantidade de movimento, além de mudanças no tempo nas regiões em que atuam (Gan e Seluchi, 2009). As advecções térmicas ocorrem em ambientes baroclínicos, a ciclogênese ocorre onde e quando a advecção de vorticidade ciclônica nos altos níveis se superpõe a uma zona baroclínica nos baixos níveis (Silva, 2012). Na AS os estudos de Gan (1991) mostraram dois casos de ciclogênese: um no período de inverno e outro no verão. No evento de inverno, ficou evidente a importância de efeitos baroclínicos na ciclogênese, mas o deslocamento inicial do ciclone no início para nordeste e, em seguida, girando para sudeste. No evento de verão, o efeito orográfico tornou-se marcante tanto na formação como no deslocamento inicial do ciclone, e o efeito baroclínico foi mais importante durante a fase de desenvolvimento (Gan e Seluchi, 2009).

Uma característica observada na monção na AS (verão) é a circulação dos ventos nos altos níveis e a mudança de um escoamento zonal no inverno para um ondulatório no verão, resultando na formação de um anticiclone sobre o altiplano boliviano, conhecido como Alta da Bolívia (AB), e de um cavado na região Nordeste do Brasil (Gan e Seluchi, 2009). Ela é resultado da alta convecção na região amazônica e define grande parte da circulação da AS durante o verão, especialmente a formação da ZCAS, sistema que define as monções da AS. Também, o cavado do Nordeste também é um intensificador do período de secas na região do semiárido nordestino.

Outro sistema em altos níveis que define os sistemas produtores de tempo na AS é a corrente de jato. Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OM) a corrente de jato define-se como uma corrente de ar em forma de um estreito cano ou conduto, quase horizontal, geralmente próximo da tropopausa, cujo eixo localiza-se ao longo de uma

linha de velocidade máxima e fortes cisalhamentos horizontais e verticais (Escobar, 2009). Existem dois tipos de correntes de jato: o Jato Subtropical (JST) e o Jato Polar ou da frente polar (JP). O JST é relativamente constante em sua posição em determinada estação do ano, e predomina nos campos médios sazonais do vento (Escobar, 2009). Durante o inverno, o JP migra para o norte e aumenta sua elevação, enquanto no verão ele se desloca para o sul, acompanhando o caminho das frentes frias (Escobar, 2009, p. 129). O JST tem sua posição média oscilando aproximadamente entre 30° e 35°S, ao passo que o JP apresenta uma posição média que oscila entre 55° e 35°S. Nota-se também que o JP mostra uma forte variabilidade, pois depende da posição dos sistemas frontais (Escobar, 2009).

Na presente pesquisa, o objetivo é entender a variação da precipitação nas diferentes fases da ODP, bem como a variabilidade sazonal. No caso, objetiva-se verificar se a ODP pode influenciar os sistemas que atuam nos diferentes momentos do ano na AS, por isso da explanação destes sistemas. A seguir, os procedimentos da pesquisa são apresentados, seguido dos resultados.

4. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os dados de precipitação utilizados são do *Global Precipitation Climate Center* (GPCC), na versão V2020 Combined, obtidos pelo site <https://psl.noaa.gov/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>. Foram gerados dados de chuva total anual, total por estação do ano (DJF, MAM, JJA, SON), anomalia de chuva anual e anomalia de chuva sazonal. Os dados de chuva total e de anomalia (a partir da normal climatológica de 1991 a 2020) foram gerados para a América do Sul e salvos em formato NetCDF para serem trabalhados no software NCL. No NCL, todos os mapas foram organizados na mesma escala, definidas as tabelas de cores e as coordenadas geográficas.

Todos os mapas foram gerados para três períodos que caracterizam as fases da ODP, segundo a *North Carolina Climate Office* (2023): a) 1950-1976 = fase fria; b) 1977-1996 = fase quente; c) 1997-2019 = fase fria.

No entanto, após o período de 1999, a fase fria é bastante mal definida, segundo a NASA (2023). Segundo esse site, em 1999 iniciou-se uma fase fria que durou aproximadamente apenas quatro anos (1999-2002), seguida de uma fase quente que continuou por três anos. Uma fase neutra seguiu até 2007, quando se iniciou uma fase fria que durou até 2013. Em 2014 a ODP mudou para uma fase quente. Portanto, nessa pesquisa a segunda fase fria (1997-2019) deve ser considerada com bastante cuidado quanto aos seus resultados.

Além dos mapas de chuva para as diferentes fases da ODP foram gerados mapas de correlação linear entre o índice da ODP e a chuva na América do Sul. Isso foi realizado no site <https://psl.noaa.gov/data/correlation/>. Neste procedimento, os dados de precipitação são da Reanálise NCEP/NCAR. Da mesma forma como os demais mapas, os mapas de correlação foram gerados para cada uma das fases da ODP, salvo em NetCDF e organizados no Software NCL.

5 RESULTADOS

Na Figura 5 estão apresentados os mapas da AS com os valores médios anuais de precipitação para as fases da ODP, segundo dados do GPCC com destaque para o SEAS. Verifica-se que há um padrão de maiores valores de precipitação no Norte da América do Sul, entre o estado do Amazonas (Brasil), norte do Peru, Colômbia, sul da Venezuela e na foz do rio Amazonas. Os menores valores de precipitação estão na região central da Argentina, Chile e no semiárido nordestino brasileiro. Quanto à diferenciação da chuva no sudeste da América do Sul nas diferentes fases da ODP, verifica-se que os valores são menores na primeira fase da ODP (Figura 6a), de 1950 a 1976, e os valores foram se intensificando com o tempo, passando por uma fase quente da ODP, de 1977 a 1996 e outra fase fria, de 1997 a 2019.

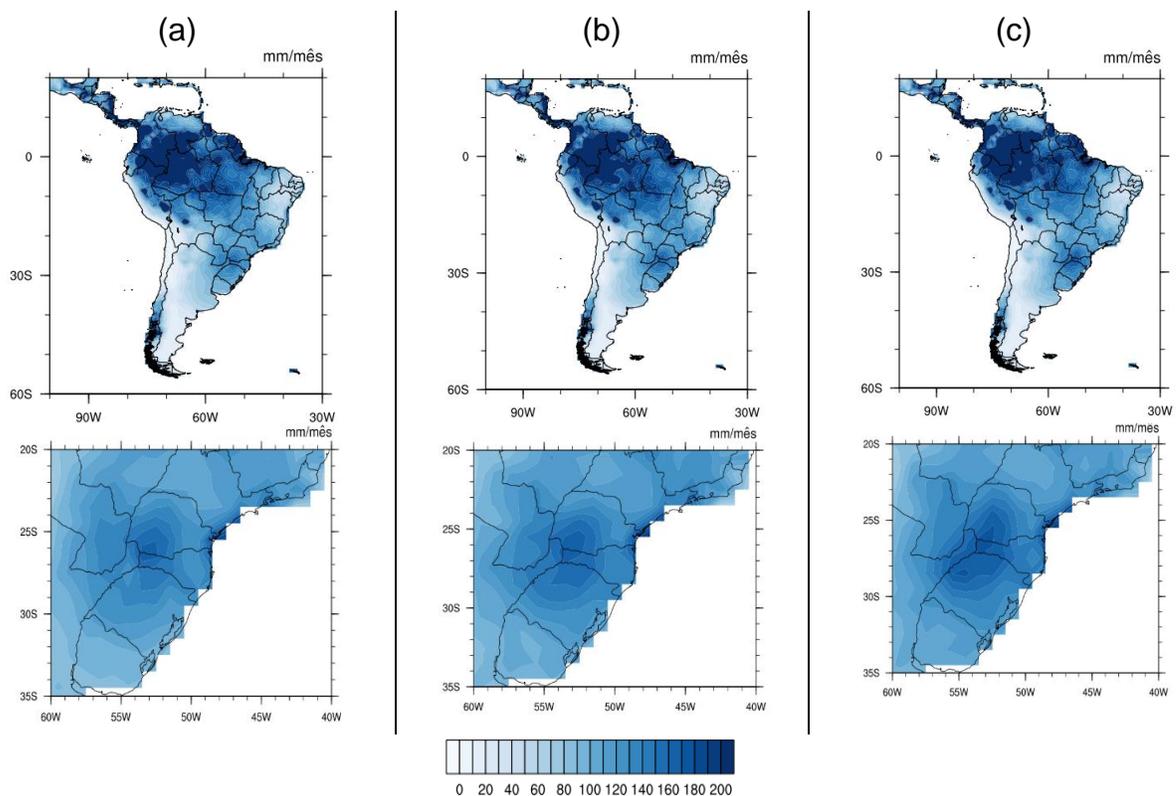


Figura 5 – Mapas de precipitação da América do Sul (GPCC) para as fases da ODP a) fase fria 1950 – 1976 b) fase quente 1977 – 1996 c) fase fria 1997 – 2019. Há um destaque para a região Sul do Brasil nas imagens apresentadas na parte de baixo.

Fonte: GPCC.

No mesmo sentido da Figura 5, a Figura 6a demonstra que na primeira fase negativa analisada na pesquisa (1950 a 1976) há um padrão de anomalias negativas no sul da América do Sul, estendendo-se até o sul da bacia amazônica (especialmente no centro da Bolívia), e um padrão positivo de precipitação no norte da bacia amazônica e no nordeste brasileiro. Durante a fase quente da ODP (1977 a 1996) há um padrão positivo de precipitação no centro da América do Sul (Figura 6b, contrastado por um padrão negativo de precipitação no sul do Brasil e norte da América do Sul. Essa alteração entre a fase fria e a fase quente da ODP nos anos de 1970 foi definida por Jacques-Coper e Garreaud (2015) como “the 1970s climate shift” na América do Sul, alterando padrões de temperatura, precipitação e pressão ao nível do mar. Durante a segunda fase fria analisada (1997 a 2019) há um padrão negativo no centro da América do Sul (Figura 6c), enquanto no sul do Brasil e no norte da América do Sul há anomalia positiva.

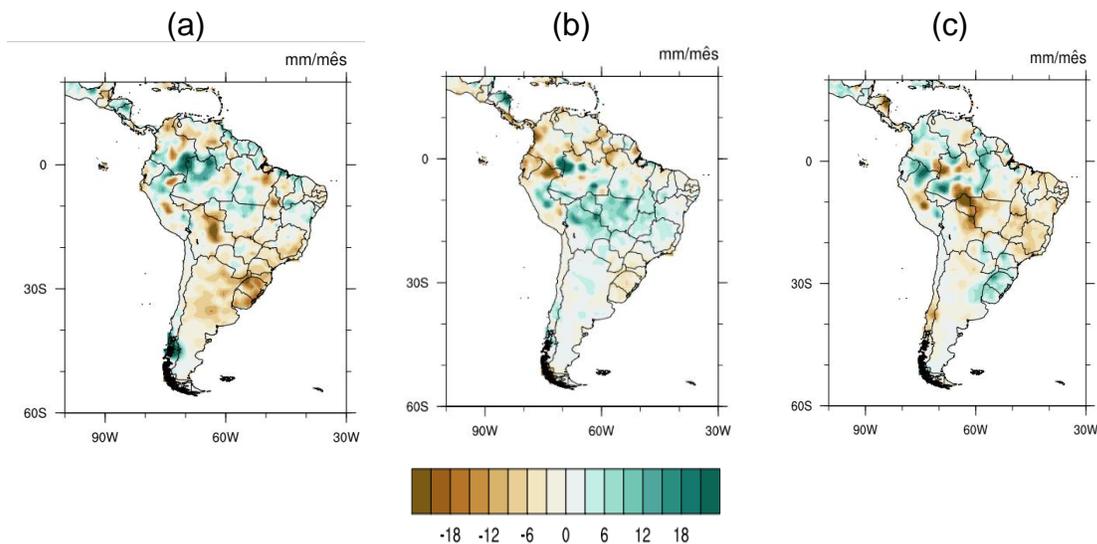


Figura 6 – Mapas de anomalia de precipitação da América do Sul (GPCC) para as fases da ODP a) fase fria 1950 – 1976 b) fase quente 1977 – 1996 c) fase fria 1997 – 2019. A normal climatológica para o cálculo de anomalia é 1981-2010.

Fonte: GPCC.

Na Figura 7 é possível verificar, no destaque para o SEAS, que não há um padrão nos mapas de anomalia da AS para as fases da ODP. Na primeira fase negativa (Figura 7a), há uma anomalia negativa de precipitação no SEAS. Isso se explica fisicamente já que, segundo Andreoli e Kayano (2005), em fases frias (quentes) da ODP, as La Niñas

(El Niños) ficam mais intensificados, o que gera anomalias negativas (positivas) de precipitação no SEAS. Silva et al. (2020), identificaram esse padrão de forma mais clara nos conjuntos de dados do GPCC e do NCEP-NCAR.

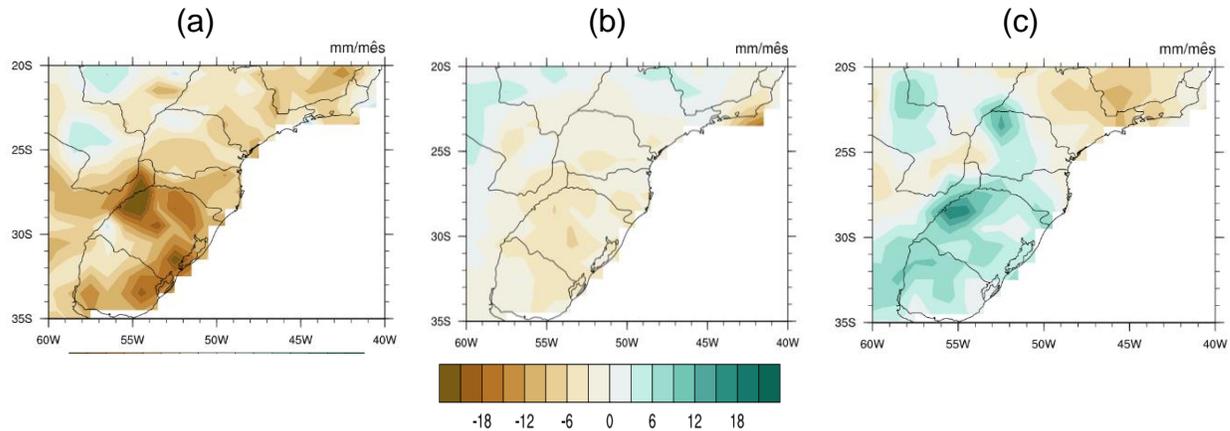


Figura 7 – Mapas de anomalia de precipitação no sul da América do sul para as fases da ODP a) fase fria 1950 – 1976 b) fase quente 1977 – 1996 c) fase fria 1997 – 2019. A normal climatológica para o cálculo de anomalia é 1981-2010.

Fonte: GPCC.

Mas o que realmente chama a atenção na Figura 8 é o aumento de precipitação média na segunda fase fria, de 1997 a 2019 (Figura 8c). Aparentemente, o que se verifica no SEAS é uma tendência positiva de precipitação de 1950 a 2019. Trabalhos anteriores, como Haylock et al. (2006) e Doyle et al. (2012), também identificaram tendência positiva de precipitação na região sul do Brasil, Paraguai e Uruguai nas últimas décadas. Costa et al. (2024), afirmam que o padrão de tendência da TSM na região tropical parece explicar a tendência positiva de precipitação no SESA durante o período de estudo, associado com a intensificação dos JBN desencadeado por um anticiclone mais forte no leste da América do Sul. Mangili (2021) indica que a intensificação dos JBN leva a um aumento no fluxo de umidade para o SEAS.

Visando entender a variabilidade da chuva na AS, associada com as fases da ODP, elaborou-se mapas de correlação entre a chuva registrada pela reanálise NCEP/NCAR e o índice da ODP. Verifica-se um padrão de correlação positiva na faixa de 30°S nas Figuras 8a e 8c, fases negativas da ODP. Ou seja, as áreas em vermelho no mapa, indicam que quando o índice da ODP diminui (TSM fica fria) a chuva nessas áreas também diminui. Na fase quente da ODP (Figura 8b), a correlação linear na faixa de 30°S é negativa. Percebe-se um padrão levemente diverso de correlação entre o

índice da ODP e as chuvas na AS nas fases fria (Figuras 8a e 8c) e na fase quente da ODP (Figura 8b). No centro-leste-norte da América do Sul há um padrão sempre negativo de correlação, mais forte na fase quente. Já na parte Sul da América do Sul os valores de correlação alteram-se entre as fases frias e a fase quente.

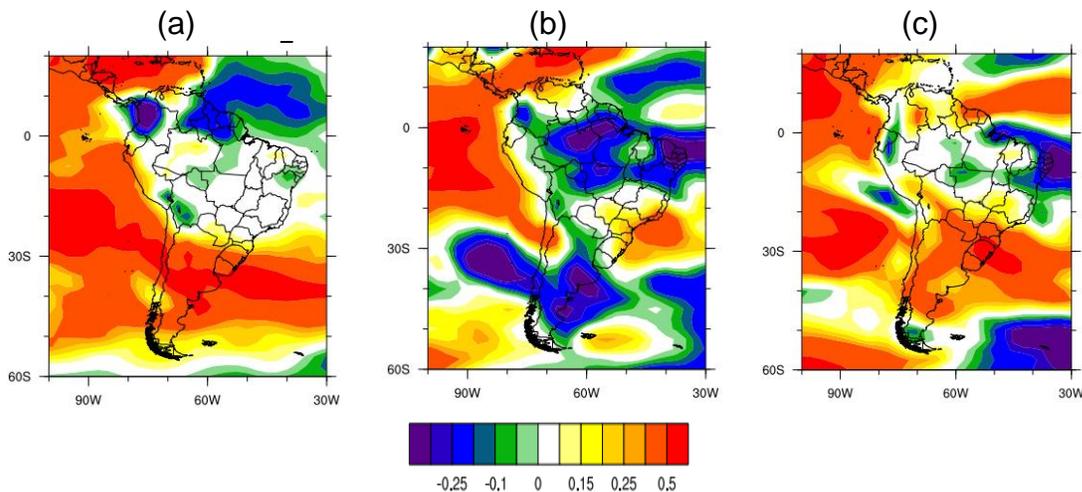


Figura 8 – Mapas de correlação entre o índice da ODP e a chuva na América do Sul durante as fases da ODP: a) fase fria 1950 – 1976 b) fase quente 1977 – 1996 c) fase fria 1997 – 2019. Fonte: GPCC.

No SEAS o padrão é sempre positivo, como pode ser visto na Figura 9, com exceção da Figura 9b, onde há um sinal negativo no sudoeste. Essa correlação positiva significa que quando há aquecimento (resfriamento) da TSM na região da ODP, há aumento (diminuição) de chuvas no SEAS. Esse resultado é condizente com a literatura quando se afirma que durante a ODP quente, os efeitos do El Niño são intensificados, e quando ocorre a ODP fria, os efeitos da La Niña são intensificados. El Niño e La Niña geram, respectivamente, chuva acima e abaixo da média no SEAS. Assim, nessa análise inicial, sem considerar a circulação atmosférica, entende-se que os efeitos da ODP no SEAS são indiretos, ocorrendo pela relação entre ODP e os fenômenos ENOS.

Passando para a análise sazonal, verifica-se na Figura 10 que, enquanto na análise anual para esse período (1950 a 1976) a anomalia de precipitação na porção sul da América do Sul é negativa, para as estações do ano há resultados diferentes. Nas estações de verão (Figura 10a), outono (Figura 10b) e primavera (Figura 10d), a anomalia continua sendo negativa no Sul da América do Sul; porém, resultado diverso é verificado

no inverno (Figura 10c), quando o sinal é predominantemente positivo. Essa variação fica mais clara quando se analisa a Figura 11, que enfoca no SEAS as anomalias de precipitação sazonal durante a primeira fase fria da ODP estudada na presente pesquisa.

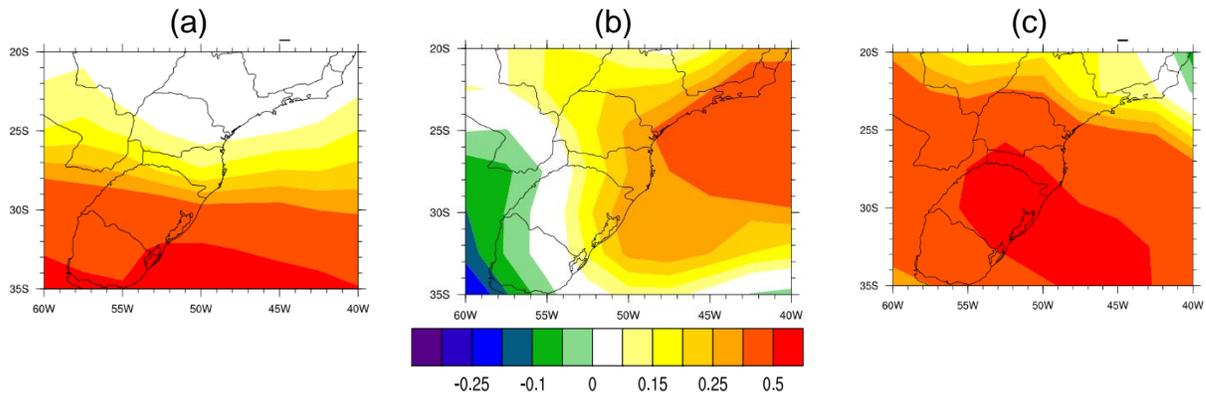
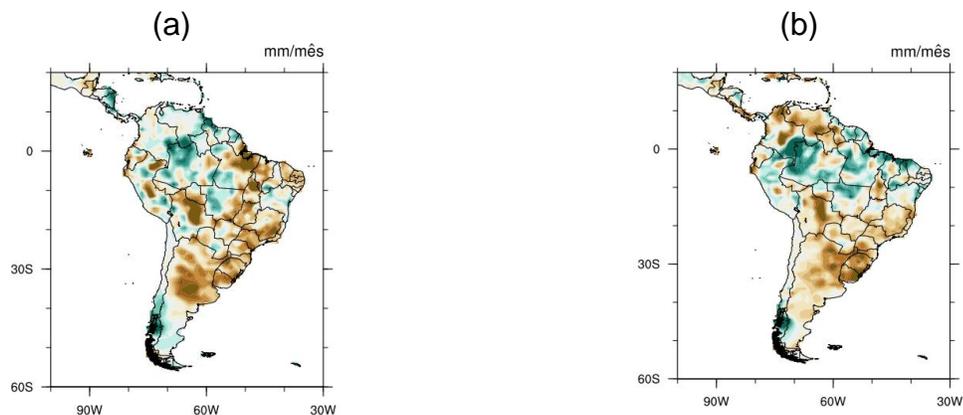


Figura 9 – Mapas de correlação entre o índice da ODP e a chuva no SEAS durante as fases da ODP: a) fase fria 1950 – 1976 b) fase quente 1977 – 1996 c) fase fria 1997 – 2019. Fonte: GPCC.

Foram plotados os mapas de anomalias de vetor do vento para cada mês e cada estação do ano, para cada uma das três fases da ODP estudadas na presente pesquisa, mas não foram identificadas diferenças entre elas que pudessem explicar as diferenças registradas nos mapas das Figuras 10 e 11. Uma análise mais geral será feita ao final deste capítulo.



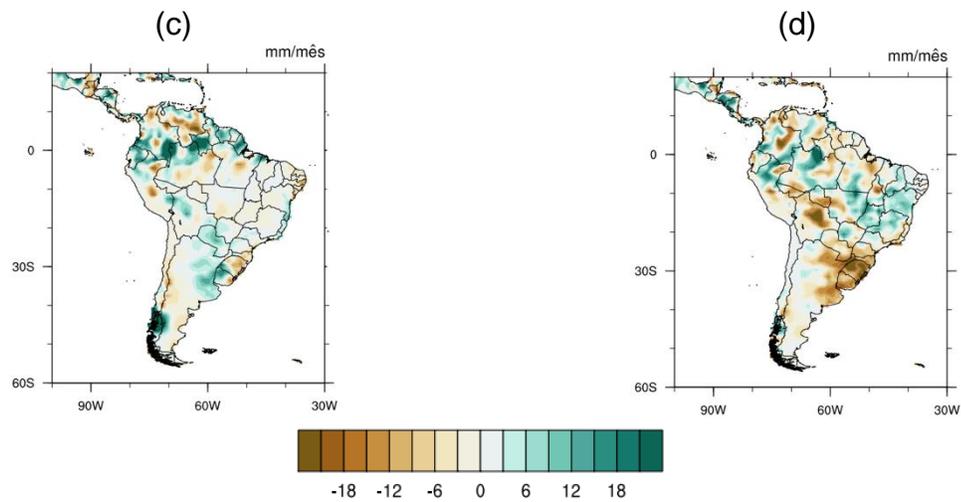


Figura 10 – Anomalia sazonal de precipitação para a América do Sul durante fase fria da ODP (1950 a 1976) a) DJF; b) MAM; c) JJA; d) SON. A normal climatológica considerada para o cálculo de anomalia é 1981-2010.

Fonte: GPCC.

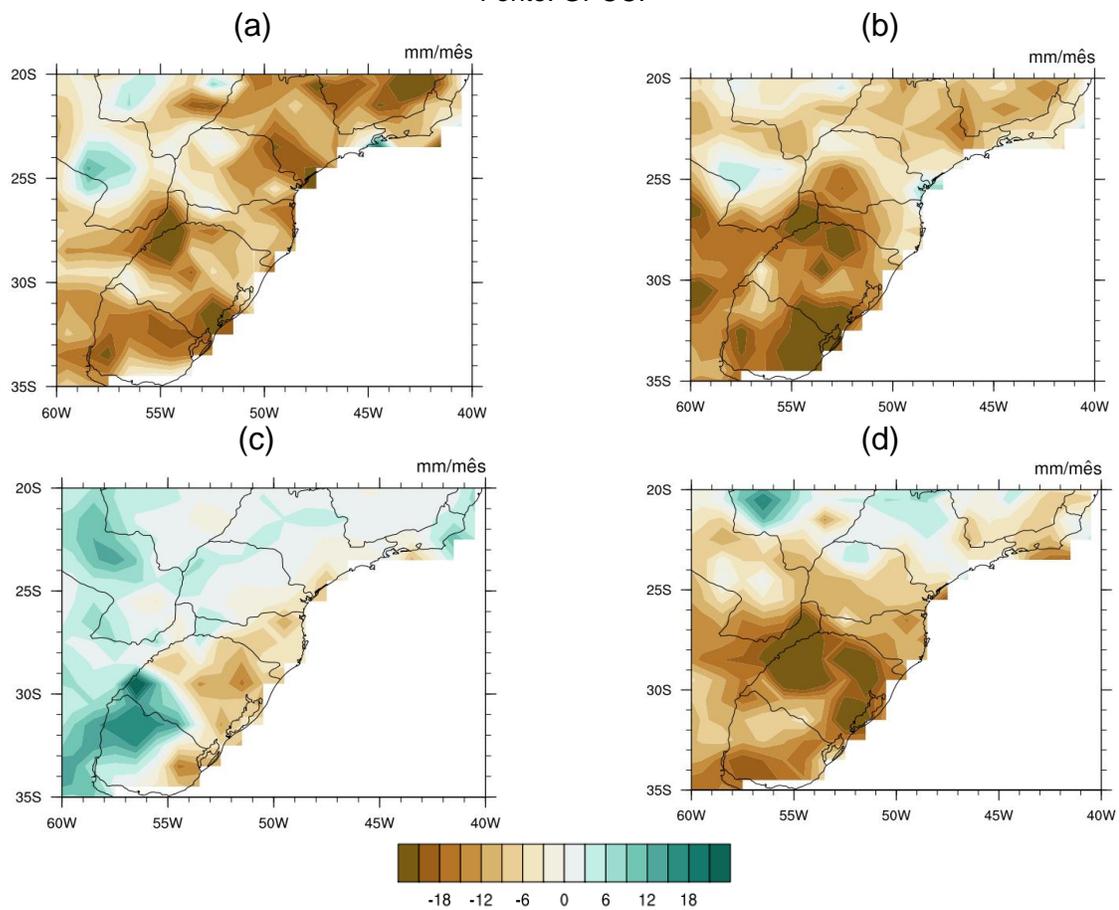


Figura 11 – Anomalia sazonal de precipitação para o SEAS durante fase fria da ODP (1950 a 1976) a) DJF; b) MAM; c) JJA; d) SON. A normal climatológica considerada para o cálculo de anomalia é 1981-2010.

Fonte: GPCC.

Para a fase quente da ODP (1977 a 1996) percebe-se pela Figura 12 que no centro da AS houve uma mudança de padrão de chuva, com anomalias positivas de precipitação, especialmente nos meses de DJF (Figura 12a) e SON (Figura 12d), meses de verão e primavera.

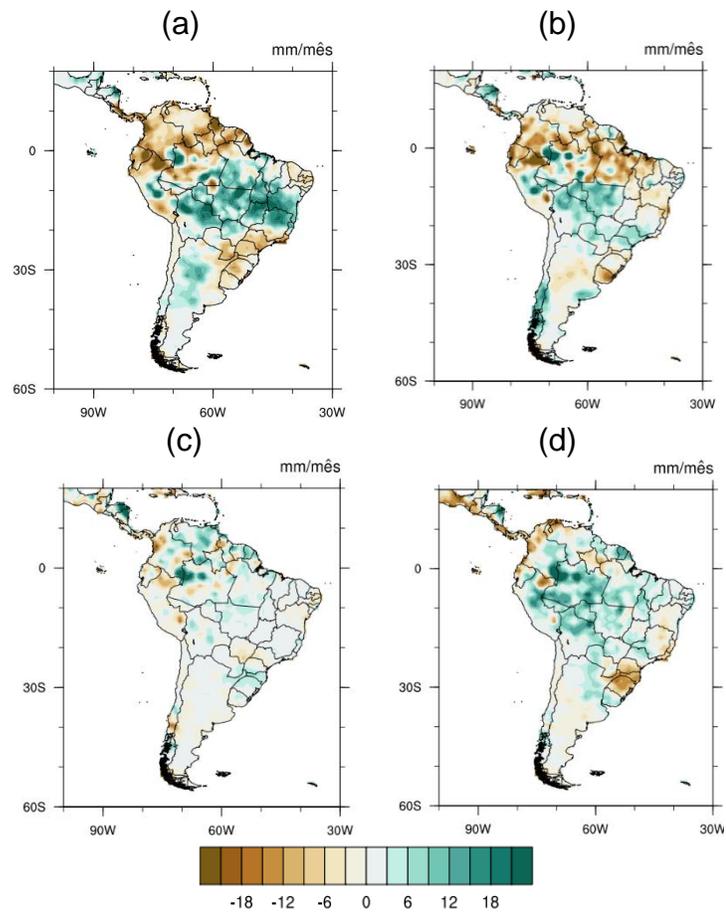


Figura 12 – Anomalia sazonal de precipitação para a América do Sul durante fase quente da ODP (1977 a 1996) a) DJF; b) MAM; c) JJA; d) SON. A normal climatológica considerada para o cálculo de anomalia é 1981-2010.

Fonte: GPCC.

Já no SEAS (Figura 13), percebe-se um padrão bem semelhante à fase fria, com anomalias negativas de DJF (Figura 13a) e SON (Figura 13d). Nos meses de outono e inverno, também há anomalias negativas, porém em áreas mais específicas.

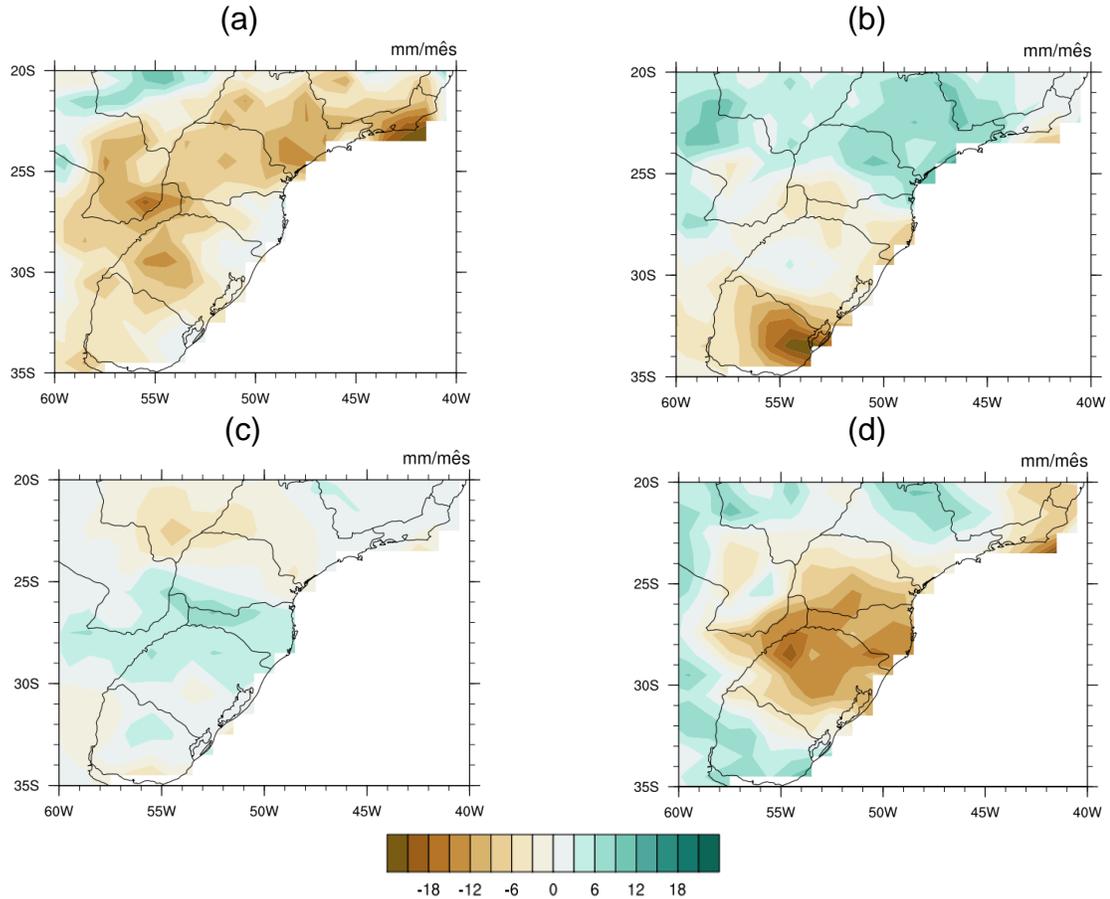


Figura 13 – Anomalia sazonal de precipitação para o SEAS durante fase quente da ODP (1977 a 1996)
a) DJF; b) MAM; c) JJA; d) SON. A normal climatológica considerada para o cálculo de anomalia é 1981-2010.

Fonte: GPCC.

Na seguinte fase fria da ODP analisada (1997 a 2019) verifica-se, novamente, no centro da AS o retorno a uma condição de anomalia negativa de precipitação, como ocorreu na primeira fase. Isso pode ser explicado pelo padrão anticiclônico de circulação no centro da AS, gerado na fase negativa da ODP, conforme identificado por Silva et al (2020).

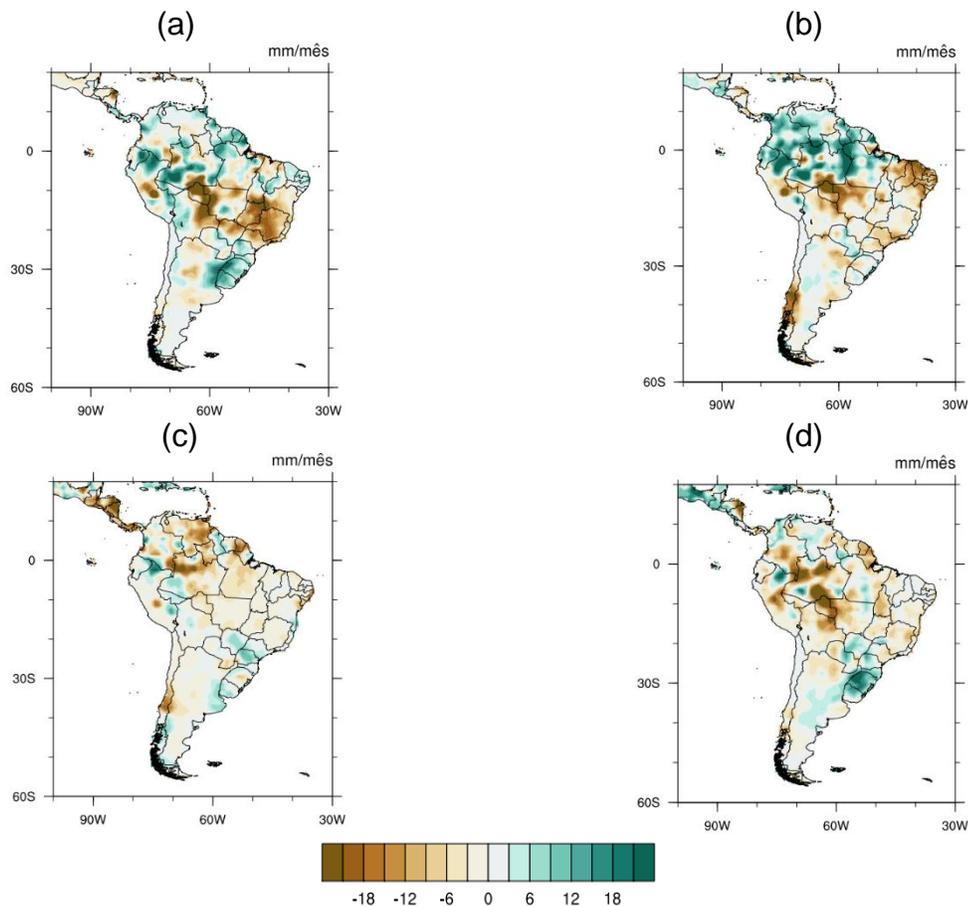


Figura 14 – Anomalia sazonal de precipitação para a América do Sul durante fase fria da ODP (1997 a 2019) a) DJF; b) MAM; c) JJA; d) SON. A normal climatológica considerada para o cálculo de anomalia é 1981-2010.

Fonte: GPCC.

No entanto, o que se verifica na Figura 15 é um padrão de intensificação da anomalia positiva de precipitação, mesmo em análise sazonal, seguindo o padrão do que foi identificado na análise anual. Exceto nos meses de outono (Figura 15b), onde há uma predominância de anomalia negativa, nos demais períodos sazonais há uma intensificação das chuvas, especialmente no verão (Figura 15a) e primavera (Figura 15d). Esse resultado é muito significativo para o desenvolvimento científico na área, já que, apesar de um padrão de teleconexão com a ODP no centro da AS, que segue o que já foi indicado em outras pesquisas, no SEAS há um padrão de intensificação da tendência positiva de chuva durante o período de análise.

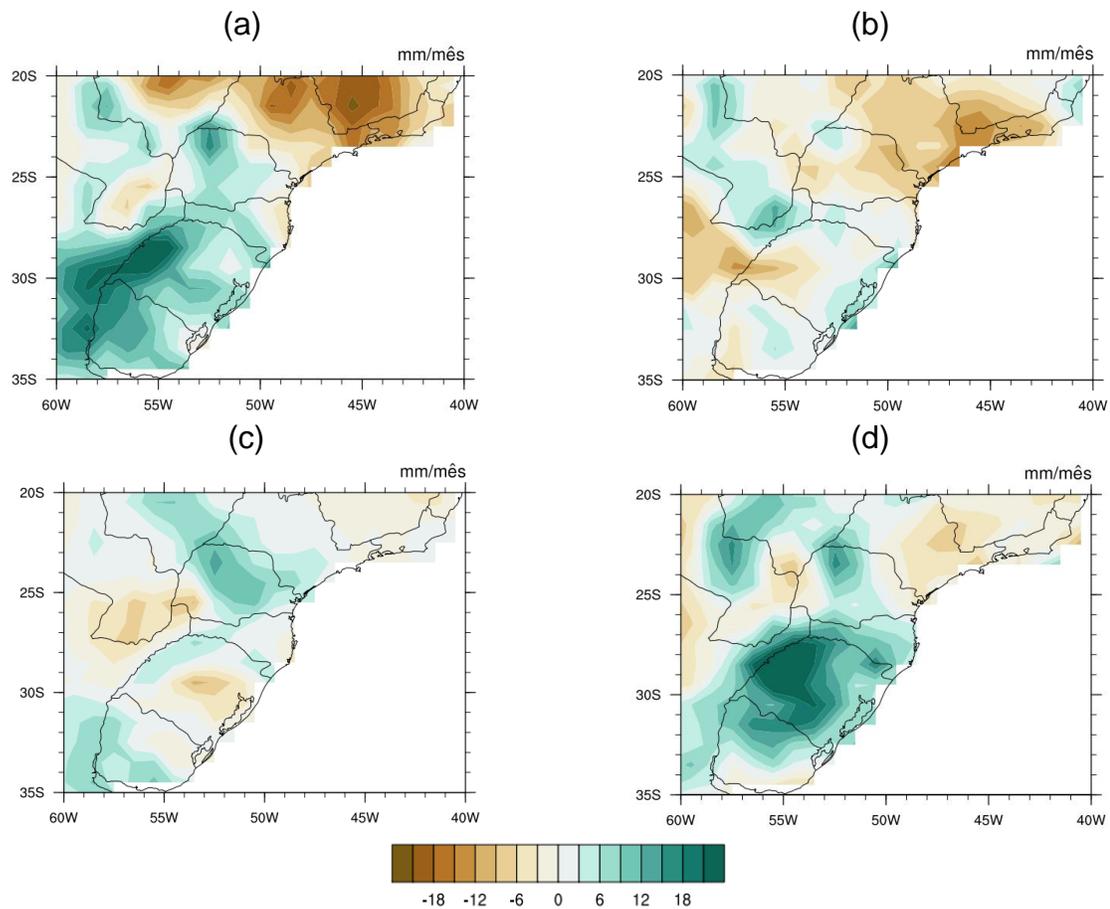


Figura 15 – Anomalia sazonal de precipitação para o SESA durante fase fria da ODP (1997 a 2019) a) DJF; b) MAM; c) JJA; d) SON. A normal climatológica considerada para o cálculo de anomalia é 1981-2010.

Fonte: GPCC.

Esse resultado é condizente com o identificado na literatura, desde Liebmann et al. (2004) até Costa et al. (2024). Costa et al. (2024), apontam que essa tendência positiva ocorre com e sem a influência do El Niño, demonstrando ser algo atrelado a uma migração para o sul da célula de Hadley, ou uma migração para sul da faixa tropical, devido ao processo de aquecimento da região equatorial. Varuolo-Clarke et al. (2022), mostraram que essa tendência positiva de precipitação no SEAS também é atrelada ao fluxo de umidade levado pelos JBN, sendo que Jones (2019) identificou um direcionamento mais ao sul dos JBN.

6 CONCLUSÕES

A presente pesquisa se propôs a estudar como a ODP pode influenciar a precipitação no SEAS. Por meio de mapas de anomalias de precipitação, tanto anual quanto sazonal, foi possível perceber que, na área de estudos, a ODP parece exercer pouca influência, já que não houve resultados contrastantes entre as fases da ODP fria e quente adotadas. De maneira diferente, o centro da AS apresentou os sinais de anomalia negativa de precipitação durante as fases frias da ODP e anomalia positiva durante a fase quente.

Já no SEAS o que se identificou foi um aumento nos valores de precipitação durante o período de estudos. Essa tendência positiva de precipitação no SESA já foi identificada por outros autores, e está relacionada ao fluxo de JBN e à expansão da região tropical, devido ao aquecimento da faixa equatorial do planeta.

Portanto, para estudos futuros, sugere-se uma análise minuciosa da circulação atmosférica, especialmente em baixos níveis, buscando-se verificar a origem da umidade para o SESA durante as fases da ODP.

7 REFERÊNCIAS

AMBRIZZI, T. **El Niño/Oscilação Sul e teleconexões atmosféricas no Hemisfério Sul**. Tese (Livre-docência). São Paulo: IAG/USP, 2003.

ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. ENSO-Related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific Decadal Oscillation regimes. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 2017-2030, 2005. doi: 10.1002/joc.1222

BJERKNES, V. The meteorology of the temperate zone and the general atmospheric circulation. **Monthly Weather Review**, vol. 49, n. 1, p. 1-3, 1921.

BJERKNES, V. Atmospheric teleconnections from the Equatorial Pacific. **Monthly Weather Review**. Vol. 97, n. 3, p. 163-172, 1969.

CARVALHO, L.M.V.; JONES, C. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In___: CAVALCANTI, I.F.A. et al. (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p.95-109.

CAVALCANTI, I.F.A.; AMBRIZZI, T. Teleconexões e suas influências no Brasil. In___: CAVALCANTI, I.F.A. et al. (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 317-335.

CAVALCANTI, I.F.A.; KOUSKY, V.E.; Frentes frias sobre o Brasil. In___: CAVALCANTI, I.F.A. et al. (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 135-147.

CAVALCANTI, I.F.A.; OLIVEIRA, G.S. **Teleconexões**. Climanálise, vol. 2, s.p., 2015. Disponível em <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/esteleg.html>>. Acesso em 14 nov. 2022.

CHRISTOPHERSON, R.W. **Geossistemas: uma introdução à Geografia Física**. 7ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

CHU, C. ; HU, H. ; YANG, X. ; YANG, D. Midlatitude atmospheric transient eddy feedbacks influenced ENSO-associated wintertime Pacific teleconnection patterns in two PDO phases. **Climate Dynamics**, vol. 54, p. 2577-2595, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05134-4>

DESER, C.; ALEXANDER, M. A.; XIE, S.-P.; PHILLIPS, A.S. Sea Surface Temperature variability: patterns and mechanisms. **Annual Review of Marine Science**. Vol. 2, p. 115-143, 2010.

DIAS, M.A.F.S; SILVA, M.G. A. J.; Para entender tempo e clima. In__: CAVALCANTI, I.F.A. et al. (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p.15-21.

DOYLE, M.E.; SAURRAL, I.; BARROS, V.R. Trends in the distributions of aggregated monthly precipitation over the La Plata Basin. **International Journal of Climatology**, vol. 32, p. 2149–2162, 2012. <https://doi.org/10.1002/joc.2429>.

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

FERREIRA, G.W.S.; REBOITA, M.S. A New Look into the South America Precipitation Regimes: Observation and Forecast. **Atmosphere** 2022, 13, 873. <https://doi.org/10.3390/atmos13060873>.

Gan, M. A., & Rao, V. B. (1991). Surface cyclogenesis over South America. Monthly Weather Review, 119(5), 1293–1302. DOI: 10.1175/1520-0493(1991)119<1293:SCOSA>2.0.CO;2

GAN, M.A; SELUCHI, M.E.; Ciclones e ciclogênese. In__: CAVALCANTI, I.F.A. et al. (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p.111 -125.

GARRISON, T. **Fundamentos de oceanografia**. São Paulo: Cengage Learning. 2010.

GERÓLAMO, R. O. P; KAYANO, M. T. **Influência da oscilação decenal do pacífico no ciclo anual de temperatura da superfície do mar do pacífico tropical**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15 2008, São Paulo. Anais.2008. Disponível em <Http://urlib.net/ibi/j8lnkan8rw/34dnune>. Acesso 13 fev 2023.

GRIMM, A. M. Clima da região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A. et al. (orgs) **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009a, p.353-374.

GRIMM, A.M.; Variabilidade Interanual do clima no Brasil. In__: CAVALCANTI, I.F.A. et al. (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009b, p. 353-374.

HAYLOCK, M.; PETERSON, T.C.; ALVES, L.M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIAÇÃO, M.T.; BAEZ, J.; BARROS, V.R.; BERLATO, M.A.; BIDEgain, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, V.J.; GRIMM, A.M.; KAROLY, D.; MARENGO, J.A.; MARINO, M.B.; MONCUNILL, D.F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J.L.; TREBEJO, I.; VICENT, L.A.. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960–2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, vol. 19, p. 1490–1512, 2006. <https://doi.org/10.1175/JCLI3695.1>.

HOSKINS, B.J.; KAROLY, D.J. The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing. **Journal of Atmospheric Sciences**, vol. 38, p. 1179-1196, 1981.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 18 nov. 2024.

IPCC (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/cliimate-change-2022-impacts-adaptation-and-vulnerability/> Acesso em: 18 nov. 2024.

JACQUES-COPER, M.; GARREAUD, R.D. Characterization of the 1970s climate shift in South America. **International Journal of Climatology**, vol. 35, pl. 2164-2179, 2015.

JISAO. Joint Institute for the Study of Atmosphere and Ocean. **The Pacific Decadal Oscillation (PDO)**. Publicado em fev. 2017. Disponível em <http://research.jisao.washington.edu/pdo/>>. Acesso em 27 mai. 2024.

JONES, C. Recent changes in the South America low-level jet. **Climate and Atmospheric Science**, vol. 20, p. 1-8, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0077-5>.

KAROLY, D.J. Southern Hemisphere Circulation Features Associated with El Niño – Southern Oscillation Events. **Journal of Climate**, vol. 2, p. 1239-1252, 1989.

KAYANO, M.T.; ANDREOLI, R.V. Decadal variability of northern northeast Brazil rainfall and its relation to tropical sea surface temperature and global sea level pressure anomalies. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, p. C11011 (1 a 8), 2004. doi: <https://doi.com/10.1029/2004jc002429>.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Relations of South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. In: **Journal of Climate**, v. 27, 4, 2007, p. 531 – 540.

KAYANO, M.T.; ANDREOLI, R.V.; DE SOUZA, R.A.F. Pacific and Atlantic multidecadal variability relations to the El Niño events and their effects on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, s. vol., p. 1-18, 2019. <https://doi.org/10.1002/joc.6326>.

KWON, M.; YEH, S.; PARK, Y.; LEE, Y. Changes in the linear relationship of ENSO-PDO under the global warming. **International Journal of Climatology**, vol. 33, p. 1121-1128, 2013. DOI: 10.1002/joc.3497

LIEBMANN, B.; VERA, C.S.; CARVALHO, L.M.V.; CAMILLONI, I.A.; HOERLING, M.O.; ALLURED, D. et al. An observed trend in central South American precipitation. **Journal of Climate**, vol. 17, p. 4357-4367, 2004.

LIMBERGER, L. **Variabilidade da vazão de regiões homogêneas da bacia hidrográfica amazônica brasileira: teleconexões com a temperatura da superfície do mar (TSM) de 1976 – 2010**. São Paulo, 2015. 484 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - FFLCH/USP.

LIMBERGER, L. Estudos de teleconexões e possibilidades de avanços na climatologia geográfica: conceitos, fontes de dados e técnicas. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 19, p.10-19, 2016.

MANGILI, F.B. **Dinâmica das chuvas no Paraná: da análise rítmica à espacial**. Tese (Doutorado em Geografia). Londrina: UEL, 2021.

MANTUA, Nathan J.; HARE, S.J.; ZHANG, Y.; WALLACE, J.M.; FRANCIS, R.C. et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 6, p. 1069-1080, 1997.

MANTUA, N. J.; HARE, S. R. **The Pacific Decadal Oscillation**. *J. Oceanog*, 58, p. 35-44, 2002.

MARENGO, J.A.; SOARES, W.R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses: characteristics and temporal variability. **Journal of Climate**, v. 17, p. 2261-2280, 2004.

MARENGO, J. A.; et al. Impactos, vulnerabilidades e adaptação à mudança do clima no Brasil. **Parcerias Estratégicas**, v. 23, n. 49, p. 27-40, 2018.

MELO, A.B.C; CAVALCANTI, I.F.A.; Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In___: CAVALCANTI, I.F.A. et al. (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p.25-41.

MENDONÇA, F.A.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MINOBE, S. Spatio-temporal structure of the pentadecadal variability over the North Pacific. **Progress in Oceanography**, vol. 47, p. 381-408, 2000.

NASCIMENTO JR, L. **As chuvas no Paraná: variabilidade, teleconexões e impactos de eventos extremos**. Mestrado em Geografia. Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, 2013.

NASA. **El Niño/La Niña Watch & PDO**. Disponível em < <https://sealevel.jpl.nasa.gov/data/el-nino-la-nina-watch-and-pdo/pacific-decadaloscillationpdo/#:~:text=A%20'cool'%20phase%20occurred%20from,that%20continued%20for%203%20years.>>. Acesso em 15 fev.2023.

NCEI/NOAA. National Centers for Environmental Information – National Oceanic and Atmosphere Administration. Pacific Decadal Oscillation (PDO). Disponível em <<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/pdo/>>. Acesso em 27 mai. 2024.

NWS/CPC. National Weather Service / Climate Prediction Center. **Frequently asked questions about El Niño and La Niña**. Disponível em https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensofaq.shtml#NINO. Acesso em 22 mai. 2024.

NORTH CAROLINA CLIMATE OFFICE. **Global Patterns: Pacific Decadal Oscillation**. Disponível em <<https://legacy.climate.ncsu.edu>> Acesso em 15 de fev. 2023.

ROBERTSON, A.W.; MECHOSO, C.R. Interannual and interdecadal variability of the South Atlantic convergence zone. **Monthly Weather Review**, v. 128, p. 2947-2957, 2000.

REBOITA, Michelle Simões; KRUSCHE, Nisia; AMBRIZZI, Tércio; ROCHA, Rosmeri Porfírio da. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terra e Didática**, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

REBOITA, Michelle Simões; GAN, Manoel Alonso; ROCHA, Rosmeri Porfírio da; AMBRIZZI, Tércio. REGIMES DE PRECIPITAÇÃO NA AMÉRICA DO SUL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l], v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

ROGERSON, P. A. **Métodos estatísticos para a geografia: um guia para o estudante**. 7 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 348 p.

ROSSBY, C.-G. On the propagation of frequencies and energy in certain types of oceanic and atmospheric waves. **Journal of Meteorology**, vol. 2, n. 4, p. 187-204, 1945.

SANT'ANNA NETO, J.L. **Clima, Sociedade e Território**. Organizador – 1 ed – Jundiaí [SP]: Paco Editorial, 2020.

SANTOS, J. G. M. **Introdução ao climate data operators** (versão atualizada). São José dos Campos: INPE, versão: 2016-11-18. 67 p. Disponível em:. Acesso em: 17 jan 2023.

SILVA, G. A. M.; DRUMOND, A.; AMBRIZZI, T. The impact of El Niño on South American summer climate during different phases of the Pacific Decadal Oscillation. **Theoretical and applied climatology**, v. 106, n. 3-4, p. 307-319, 2011.

SILVA, C. B. **Variabilidade climática nos oceanos e a vazão fluvial no Pantanal brasileiro**. (Dissertação de Mestrado). FFLCH/USP, 2012.

SILVA, M.E.S; SILVA, C.B. Influência da Oscilação Decadal do Pacífico e do padrão Pacific South America no clima da América do Sul para o período de 1970-2003. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 19, p. 20-35, 2016.

SILVA, C.B.; SILVA, M.E.S.; AMBRIZZI, T. Climatic variability of river outflow in the Pantanal region and the influence of sea surface temperature. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, p. 97-109, 2016.

SILVA, M.E.S.; SILVA, C.B.; AMBRIZZI, T.; DRUMMOND, A.; PATUCCI, N.N. South America Climate during the 1970-2001 Pacific Decadal Oscillation phases based on different reanalysis datasets. **Frontiers in Earth Science**, v. 7, p. 1-19, 2020. DOI: 10.3389/feart.2019.00359.

SOUZA, C. A. de; REBOITA, M. S. Ferramenta para o Monitoramento dos Padrões de Teleconexão na América do Sul. **Terrae Didactica**, Campinas, SP, v. 17, n. 00, p. e02109, 2021. DOI: 10.20396/td.v17i00.8663474

TAVARES, A. C. **Variabilidade e Mudanças Climáticas**. 2001. 228 f. Tese (LivreDocência) - Departamento de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2001.

VARUOLO-CLARKE, A.M.; WILLIAMS, A.P.; SMERDON, J.E.; TING, M.; BISHOP, D.A. Influence of the South American low-level jet on the austral summer precipitation trend in southeastern South America. **Geophysical Research Letters**, vol. 49(9), p. e2021GL096409, 2022.

VILLAMAYOR, J.; AMBRIZZI, T.; MOINO, E. Influence of decadal sea surface temperature variability on northern Brazil rainfall in CMIP5 simulations. **Climate Dynamics**, v. 51, p. 563-579, 2018.

WALKER, G.T. World Weather. **Monthly Weather Review**, vol. 56, n. 5, p. 167-170, 1928.

WALLACE, J. M.; GUTZLER, D. S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. **Monthly Weather Review**, v. 109, n. 4, p. 784-812, 1981.

WEI, W.; YAN, Z.; LI, Z. Influence of Pacific Decadal Oscillation on global precipitation extremes. **Environmental Research Letters**, vol. 16, p. 044031 (1-18), 2021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abed7c>.

XAVIER, A, XAVIER, T. Cálculo das Anomalias na Pesquisa Climática: Usos e Abusos. **Cadernos Atena**, n. 5. Ceará. 1997.

ZHANG, Y.; WALLACE, J.M.; BATTISTI, D. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. **Journal of Climate**, vol. 10, p. 1004-1020, 1997.