



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21d/2022/09.29.21.06-TDI

## **PREVISÃO CLIMÁTICA SAZONAL DE PRECIPITAÇÃO PARA O PERU COM ABORDAGEM ESTATÍSTICA**

Lenin Abimael Suca Huallata

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Meteorologia, orientada pelo Dr.  
Caio Augusto dos Santos Coelho,  
aprovada em 12 de setembro de  
2022.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/47N3QDB>>

INPE  
São José dos Campos  
2022

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)  
Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
CEP 12.227-010  
São José dos Campos - SP - Brasil  
Tel.:(012) 3208-6923/7348  
E-mail: pubtc@inpe.br

**CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):**

**Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra (CGCT)

**Membros:**

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)  
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e Ciência Espaciais (CGCE)  
Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas (CGIP)  
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon  
Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21d/2022/09.29.21.06-TDI

## **PREVISÃO CLIMÁTICA SAZONAL DE PRECIPITAÇÃO PARA O PERU COM ABORDAGEM ESTATÍSTICA**

Lenin Abimael Suca Huallata

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Meteorologia, orientada pelo Dr.  
Caio Augusto dos Santos Coelho,  
aprovada em 12 de setembro de  
2022.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/47N3QDB>>

INPE  
São José dos Campos  
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Suca Huallata, Lenin Abimael.

Su18p      Previsão climática sazonal de precipitação para o Peru com abordagem estatística / Lenin Abimael Suca Huallata. – São José dos Campos : INPE, 2022.  
xviii + 91 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21d/2022/09.29.21.06-TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2022.

Orientadores : Dr. Caio Augusto dos Santos Coelho.

1. Análise de Correlação Canônica (ACC). 2. Modelos estatísticos. 3. Precipitação sazonal. 4. Preditores oceânicos e atmosféricos. I. Título.

CDU 551.509(85)

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES

## INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

DEFESA FINAL DE DISSERTAÇÃO DA LENIN ABIMAEI SUCA HUALLATA  
BANCA Nº269/2022 , REGISTRO 198627/2020.

No dia 12 de setembro de 2022, às 14h00, Videoconferência, o(a) aluno(a) mencionado(a) acima defendeu seu trabalho final (apresentação oral seguida de arguição) perante uma Banca Examinadora, cujos membros estão listados abaixo. O(A) aluno(a) foi **APROVADO(A)** pela Banca Examinadora, por unanimidade, em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Mestre em Meteorologia. O trabalho precisa da incorporação das correções sugeridas pela Banca e revisão final pelo(s) orientador(es).

**Título: “PREVISÃO CLIMÁTICA SAZONAL DE PRECIPITAÇÃO PARA O PERU COM ABORDAGEM ESTATÍSTICA”.**

**Membros da Banca**

Dr. Luciano Ponzi Pezzi – Presidente – INPE

Dr Caio Augusto dos Santos Coelho – Orientador (a) – INPE

Dr. Francisco das Chagas Vasconcelos Junior – Membro Externo – FUNCEME



Documento assinado eletronicamente por **Luciano Ponzi Pezzi, Pesquisador**, em 26/09/2022, às 16:11 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **francisco das chagas vasconcelos junior (E), Usuário Externo**, em 26/09/2022, às 16:26 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Caio Augusto dos Santos Coelho, Pesquisador**, em 27/09/2022, às 09:15 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.mcti.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **10443652** e o código CRC **2DF8F4E6**.



*Dedico este trabalho aos  
meus queridos pais  
**Benjamin e Mónica**, e às  
minhas irmãs **Maritza**,  
**Leidy e Diana**.*





## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha saúde e por me dar força e perseverança para cumprir mais um objetivo em minha vida.

Aos meus queridos pais, Benjamín e Mónica por sempre me motivarem em todas as ligações e conversas à distância, por esse amor e carinho incondicionais de toda uma vida.

Às minhas queridas irmãzinhas Maritza, Leidy e Diana que com sua mera presença e sempre tendo o privilégio de vê-las sorrir eu daria tudo de mim.

Ao meu Orientador, Dr. Caio Augusto dos Santos Coelho, pela dedicação, experiência, contribuições e conselhos incansáveis, pois além de ser um excelente profissional é uma pessoa maravilhosa.

Aos membros da Banca, Dr. Luciano Ponzi Pezzi e Dr Francisco Fernandes de Vasconcelos; por suas maravilhosas orientações, contribuições e recomendações que fizeram este trabalho melhorar e concluir satisfatoriamente.

Aos meus professores do INPE que, com sua experiência, aprendi muito nos diferentes cursos de Pós-Graduação.

A Gustavo de la Cruz e Yury Escajadillo do SENAMHI, pela orientação específica no início deste trabalho. A Jaime F. António, Laurizio E. Riveiro, Francisco A. de Brito, Gilvani G. de Carvalho, Dayanis Montero, Lorena Martina, Cristielen Perceval, pessoas maravilhosas e tantos outros enormes amigos que conheci nesta linda trajetória da Meteorologia no Brasil.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).



## RESUMO

Previsões climáticas fornecem informações antecipadas que podem ajudar a reduzir os impactos negativos associados a períodos de excesso ou déficit de precipitação em diversos setores da sociedade, e fortalecer o desenvolvimento socioeconômico de uma determinada região. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi desenvolver e avaliar procedimentos para a produção de previsões climáticas sazonais de precipitação para o Peru; usando uma abordagem estatística baseada na análise de correlação canônica (ACC) com diferentes preditores, como a temperatura da superfície do mar (TSM) e variáveis de circulação atmosférica em níveis baixos (850 hPa), médio (500 hPa) e alto (200 hPa) da atmosfera. Os resultados mostraram que as principais variáveis atmosféricas e oceânicas analisadas no mês de outubro, que foram identificadas como relevantes preditoras para a previsão de precipitação no trimestre Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF) posterior ao mês de outubro sobre o Peru foram a TSM com influência em setores da Costa Norte, Costa Central, toda a Serra, Selva Norte e Selva Central do Peru; a variável de Altura Geopotencial em (850 hPa) baixos níveis (AG850) com influência na Costa Norte, Costa Central, todos os setores da Serra e Selva Peruana; a variável de Pressão ao Nível médio do Mar (PNM) com influência nos setores de toda a Costa e Serra Peruana além da Selva Norte e Selva Sul do Peru; a variável Vento Zonal em baixos níveis (850 hPa) com influência em setores da Costa Norte e toda Serra do Peru; e o Vento Zonal (200 hPa) em altos níveis (VZ200) com influência na Costa Norte, Costa Sul, e toda a Serra do Peru. Como a variável oceânica (TSM) foi identificada como o preditor predominante de precipitação sobre o Peru, essa variável foi combinada com outras variáveis atmosféricas (AG850, VZ850 e PNM), sendo os maiores índices de habilidade preditiva para o setor Serra Sul obtidos através da combinação de TSM e VZ850, enquanto as combinações de TSM e PNM, e TSM e AG850 apresentaram os maiores valores para o setor Serra Norte. Ao combinar as duas variáveis atmosféricas (PNM, VZ850 e PNM, AG850) que se destacaram com melhor desempenho com a variável oceânica

(TSM), resultados semelhantes aos obtidos através das combinações anteriores foram encontrados nos diferentes setores do Peru. Portanto, para a produção de previsões sazonais estatísticas de precipitação para DJF sobre o Peru, recomenda-se a combinação da TSM com pelo menos uma variável atmosférica para contemplar os mecanismos físicos do sistema climático acoplado que modulam a variabilidade climática da precipitação sazonal.

**Palavras-chave:** Análise de Correlação Canônica (ACC). Modelos estatísticos. Precipitação Sazonal. Preditores oceânicos e atmosféricos.

# SEASONAL PRECIPITATION FORECAST FOR PERU WITH STATISTICAL APPROACHES

## ABSTRACT

Climate forecast provide advanced information that can help reduce the negative impacts associated with periods of excess or deficit of precipitation in different sectors of society, and strengthen the socioeconomic development of a given region. In this context, the objective of this study was to develop and evaluate procedures for the production of seasonal precipitation forecasts for Peru; using a statistical approach based on canonical correlation analysis (CCA) with different predictors such as sea surface temperature (SST) and atmospheric circulation variables at low (850 hPa), medium (500 hPa) and high (200 hPa) levels of the atmosphere. The results showed that the main atmospheric and oceanic variables analyzed in the month of October, which were identified as relevant predictors for the forecast of precipitation in the December-January-February (DJF) quarter after the month of October over Peru, were the SST with influence in sectors of the North Coast, Central Coast, all Sierra, Selva Norte and Selva Central of Peru; the Geopotential Height variable at (850 hPa) low levels (AG850) with influence on the North Coast, Central Coast, all sectors of the Sierra and Peruvian Jungle; the Mean Sea Level Pressure (PNM) variable with influence on the sectors of the entire Coast and Sierra Peruana as well as the Selva Norte and Selva Sul of Peru; the Zonal Wind variable at low levels (850 hPa) with influence in sectors of the North Coast and the entire Sierra do Peru; and Zonal Wind (200 hPa) at high levels (VZ200) with influence on the North Coast, South Coast, and the entire Sierra del Peru. As the oceanic variable (SST) was identified as the predominant predictor for precipitation over Peru, this variable was combined with other atmospheric variables (AG850, VZ850 and PNM), with the highest predictive ability indices for the Sierra Sul sector obtained through the combination of SST and VZ850, while the combinations of SST and PNM, and SST and AG850 showed the highest values for the Sierra Norte sector.

By combining the two atmospheric variables (PNM, VZ850 and PNM, AG850) that stood out with the best performance with the oceanic variable (SST), results similar to those obtained through the previous combinations were found in the different sectors of Peru. Therefore, for the production of statistical seasonal forecasts of precipitation for DJF over Peru, it is recommended to combine the SST with at least one atmospheric variable to contemplate the physical mechanisms of the coupled climate system that modulate the climate variability of seasonal precipitation.

**Keywords:** Canonical Correlation Analysis (ACC). Statistical models. Seasonal precipitation. Oceanic and atmospheric predictors.

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 4.1: Relevo e localização na América do Sul do Peru (na esquerda) e regiões da Costa, Serra e Selva do Peru (na direita).....	06
Figura 4.2: Precipitação histórica acumulada mensal de algumas estações das regiões Costa, Serra e Selva do Peru (1965-2016).....	08
Figura 4.3: Anomalias de precipitação climática no trimestre DJF de acordo com as categorias dos anos a) El Niño Moderado (ENM), b) El Niño forte (ENF) para o ano 1973 e El Niño Extraordinário (ENE) no Peru para os anos 1983 e 1998.....	10
Figura 4.4: Padrões de circulação em altos e baixos níveis predominantes na América do Sul.....	12
Figura 5.1: Nove Setores de estudo para análise de precipitações no Peru.....	24
Figura 6.1: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Costa Norte” do Peru.....	27
Figura 6.2: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Costa Central” do Peru.....	30
Figura 6.3: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Costa Sul” do Peru.....	33
Figura 6.4: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Serra Norte” do Peru.....	35
Figura 6.5: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Serra Central” do Peru.....	38
Figura 6.6: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Serra Sul” do Peru.....	41
Figura 6.7: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Selva Norte” do Peru.....	44
Figura 6.8: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Selva Central” do Peru.....	46

Figura 6.9: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Selva Sul” do Peru.....	50
Figura 6.10: Análise de Correlação Canônica entre a TSM de outubro anterior a DJF com a precipitação em DJF sobre o Peru, em seus três modos.....	54
Figura 6.11: Análise de Correlação Canônica entre a AG850 de outubro anterior a DJF com a precipitação em DJF sobre o Peru, em seus três modos.....	56
Figura 6.12: Análise de Correlação Canônica entre o VZ200 de outubro anterior a DJF com a precipitação em DJF sobre o Peru, em seus dois modos.....	58
Figura 6.13: Análise de Correlação Canônica entre o VZ850 de outubro anterior a DJF com a precipitação em DJF sobre o Peru, em seus três modos.....	61
Figura 6.14: Análise de Correlação Canônica entre a PNM de outubro anterior a DJF com a precipitação em DJF sobre o Peru, em seus três modos.....	63
Figura 6.15: Correlação de Pearson entre as anomalias de precipitação sazonal previstas e observadas sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.....	66
Figura 6.16: Área abaixo a curva ROC para a categoria precipitação abaixo da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.....	68
Figura 6.17: Área abaixo a curva ROC para a categoria precipitação acima da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.....	70
Figura 6.18: Correlação de Pearson entre as anomalias de precipitação sazonal previstas e observadas sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.....	72
Figura 6.19: Área abaixo a curva ROC para a categoria precipitação baixo da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.....	74
Figura 6.20: Área abaixo a curva ROC para a categoria precipitação acima da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.....	75



Figura 6.21: Correlação de Pearson entre as anomalias de precipitação sazonal previstas e observadas sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.....	77
Figura 6.22: Area abaixo da curva ROC para a categoria precipitação abaixo da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.....	79
Figura 6.23: Area abaixo da curva ROC para a categoria precipitação acima da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.....	80



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. MOTIVAÇÃO.....	04
3. OBJETIVOS.....	05
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	06
4.1. A precipitação e fenômenos climáticos no Peru.....	07
4.2. Procedimentos de previsão climática sazonal utilizados no Peru.....	12
5. METODOLOGIA.....	15
5.1. Análise de correlação canônica.....	15
5.2. ACC para previsão de precipitação.....	18
5.3. Procedimento e dados utilizados para implementação do modelo de regressão baseado em ACC.....	19
5.4. Análise do modelo de regressão em modo de validação cruzada.....	20
5.5 A Curva ROC.....	21
5.6 Correlação de Pearson.....	23
5.7. Procedimento para identificação de variáveis preditoras para a previsão de precipitação para DJF sobre o Peru.....	23
6. RESULTADOS.....	26
6.1. Identificação de variáveis preditoras.....	26
6.1.1. Costa Norte.....	26
6.1.2. Costa Central.....	29
6.1.3. Costa Sul.....	32
6.1.4. Serra Norte.....	34
6.1.5. Serra Central.....	37
6.1.6. Serra Sul.....	40
6.1.7. Selva Norte.....	43
6.1.8. Selva Central.....	46
6.1.9. Selva Sul.....	49
6.2. Análise de correlação canônica entre preditores oceânicos e atmosféricos e a precipitação sobre o Peru.....	52
6.2.1. ACC entre TSM e Precipitação sobre o Peru.....	53

6.2.2. ACC entre AG850 e Precipitação sobre o Peru.....	55
6.2.3. ACC entre VZ200 e Precipitação sobre o Peru.....	57
6.2.4. ACC entre VZ850 e Precipitação sobre o Peru.....	59
6.2.5. ACC entre PNM e Precipitação sobre o Peru.....	62
6.3. Avaliação da destreza das previsões retrospectivas de precipitação sazonal (DJF) para o Peru.....	64
6.3.1. Avaliação das previsões produzidas utilizando individualmente cada um dos cinco preditores (TSM, AG850, VZ200, VZ850 e PNM).....	65
6.3.2. Avaliação das previsões produzidas utilizando a combinação de duas variáveis como preditoras.....	70
6.3.3. Avaliação das previsões produzidas utilizando a combinação de três variáveis como preditoras.....	75
7. CONCLUSÕES.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

## 1 INTRODUÇÃO

A precipitação é considerada a variável climática mais difícil de prever (MEHR et al., 2019). A América do Sul abriga a maior floresta tropical do mundo, a Amazônia, e a cadeia de montanhas mais alta do interior dos trópicos os Andes (SEGURA et. al, 2020). No entanto ao contrário de outros países equatoriais, o Peru não possui um clima exclusivamente tropical. A influência dos Andes e da corrente de Humboldt (uma corrente fria do Oceano Pacífico) conferem uma grande diversidade climática ao território peruano (BAZO, 2014), e portanto, a previsão climática sazonal de precipitação é complexa, sendo esta relevante para o planejamento de atividades de vários setores socioeconômicos.

A previsão sazonal é conhecida como previsão climática de longo prazo, e fornece informações uteis sobre as condições climáticas medias esperadas para o período de 1 a 6 meses à frente, sendo geradas a partir de modelos estatísticos ou de modelos dinâmicos derivados fisicamente. Os modelos estatísticos são baseados em relações defasadas temporalmente entre o preditor e o preditando, e podem gerar previsões do valor médio da temperatura ou do valor acumulado da precipitação para uma determinada estação (geralmente para o período de três meses) do ano (IAN; STEPHENSON, 2003). A previsão da precipitação na escala sazonal é possível devido a existência de fontes de informação que possuem variação lenta, por exemplo a temperatura da superfície do mar (TSM), que quando persiste por alguns meses como durante os episódios quentes (El Niño) ou frios (La Niña) do fenómeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) no Pacífico equatorial, modulam as condições climáticas em algumas regiões do planeta através de padrões de teleconexões atmosféricas.

O ENOS é a principal fonte de previsibilidade para as previsões climáticas na escala sazonal (SCAIFE et al., 2017; DANILA, et al., 2020), sendo considerado para o Peru um dos principais elementos da variabilidade climática interanual. Este modo climático acoplado oceano-atmosfera exhibe anomalias quentes (frias) no Pacífico equatorial centro-leste durante sua fase El Niño (La Niña), que induz sinais climáticas que podem ser identificados em várias regiões do mundo com uma frequência irregular de recorrência (2-7 anos) (DÍAZ; MARKGRAF, 1992;

GARREAUD, 2009). A temperatura anômala da superfície do mar e a circulação atmosférica associada durante os anos de El Niño, no período de dezembro a fevereiro, tendem a causar um aumento dramático da temperatura em todo o país e chuvas torrenciais ao longo da costa, enquanto condições mais secas são observadas nos Andes equatoriais (VUILLE et al., 2000; GARREAUD, 2009). Assinaturas quase opostas são esperadas durante os eventos de La Niña. Estudos mostraram que a variabilidade climática com características semelhantes pode ocorrer na escala de tempo decadal (JACQUES; GARREAUD, 2014; VUILLE et al., 2015), um fenômeno que foi associado por alguns autores com a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), (MÂNTUA; LEBRE, 2002).

Assim como geram-se diferentes impactos do El Niño no Pacífico central, oriental, nas chuvas de América do sul através da e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) (SULCA J. et al, 2017), existem outros sistemas como ventos de leste que transportam umidade da Amazonia Brasileira para o Peru e faz parte da Alta da Bolívia como resposta a liberação de calor latente gerado pela convecção profunda sobre a região continental da Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS (SEGURA et. al, 2020). O conhecimento e identificação destes sistemas atmosféricos que modulam as chuvas no Peru propiciam a identificação dos domínios (ou seja, as regiões mais relevantes) e variáveis preditoras para a previsão sazonal de precipitação. O uso de métodos estatísticos permite a inclusão espacial da representação dos padrões de teleconexões que influenciam as chuvas no Peru.

O centro de Previsão Numérica do Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia (SENAMHI) do Peru, usa duas fontes diferentes de informação para a emissão de previsões climáticas sazonais: previsões globais provenientes dos modelos dinâmicos da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) e previsões estatísticas produzidas utilizando-se dados observados de precipitação das redes de estações meteorológicas do Peru (KIARA, 2017), que utilizam a temperatura superficial do mar como variável preditora. Com base nisso, emite-se previsões sobre as condições de chuvas esperadas para os próximos três

meses nas diferentes áreas geográficas do Peru. O modelo numérico regional ETA para previsão climática sazonal é utilizado, porém ainda em fase experimental.

A dissertação está organizada da seguinte maneira. A Seção 2 contém a motivação do estudo. A Seção 3 apresenta os objetivos do trabalho. A Seção 4 apresenta uma revisão bibliográfica, incluindo a descrição dos fenômenos e mecanismos físicos que influenciam as condições climáticas de precipitação sobre o Peru e uma breve descrição dos modelos (estatísticos e dinâmicos) atualmente utilizados para a produção de previsões climáticas sazonais de precipitação para o Peru. A Seção 5 apresenta a metodologia utilizada neste estudo. A Seção 6 contém os resultados obtidos e a Seção 7 as conclusões do trabalho.

## 2 MOTIVAÇÃO

Nas últimas décadas, as mudanças no clima impactaram os sistemas naturais e humanos em todos os continentes e oceanos (BAZO, 2014). No Peru, os diferentes setores socioeconômicos como a agricultura, pesca, construção, turismo, o setor de energia, entre outros, também foram afetados pelas variações do clima na escala sazonal, considerando assim as condições climáticas médias avaliadas em períodos da ordem de três meses em particular, devido as variações mensais nos volumes de chuva. Nesse contexto faz-se necessário desenvolver um estudo sobre os procedimentos de previsão climática sazonal de precipitação, que permita produzir informação climática antecipada para planejamento de atividades e melhorar os processos de tomada de decisões por parte das autoridades competentes nas esferas dos governos locais, regionais e nacional. Na atualidade o Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia do Peru (SENAMHI), em um de seus relatórios intitulado "Verificação das previsões de precipitação sazonal em nível nacional para a estação chuvosa 2016-2017" (ESCAJADILLO et al., 2017), indica que os melhores índices de destreza foram encontrados para as regiões da serra central e parte da Serra do sul, para os trimestres de fevereiro - abril e março - maio com valores de 53% e 49% respectivamente para precipitação sazonal, sugerindo que para as demais regiões do Peru a destreza é conderada baixa. Neste contexto há espaço para o desenvolvimento de atividades de pesquisa visando a melhoria da qualidade dessas previsões para o Peru.



### **3 OBJETIVOS**

#### **Objetivo geral:**

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver e avaliar procedimentos para a produção de previsões climáticas sazonais de precipitação para o Peru através de abordagem estatística, isto é, usando modelos estatísticos baseados em observações do passado.

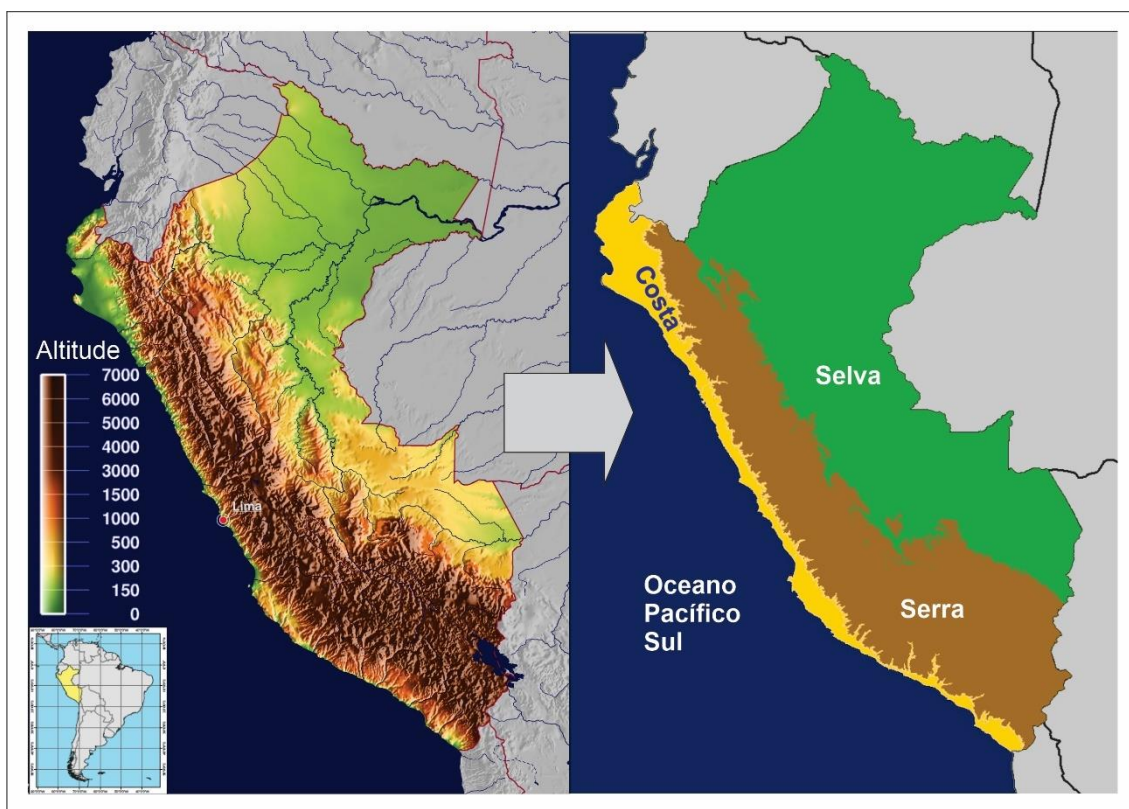
#### **Objetivos específicos:**

- Identificar preditores atmosféricos e oceânicos para a construção de modelos estatísticos de precipitação sazonal para o Peru;
- Construir modelos estatísticos de previsão de precipitação sazonal para o Peru;
- Avaliar e comparar o desempenho das previsões produzidas de precipitação sazonal para o Peru.

#### 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As regiões tropicais mais úmidas, recebem mais de 50% da precipitação global anual (ADLER et al., 2003). O Peru pertence a uma região intertropical, está localizado na parte ocidental da América do Sul e seu clima é influenciado pela topografia devido à existência da cordilheira dos Andes que divide o país em três regiões geomorfológicas naturais (Figura 4.1): Costa, Serra e Selva. (BAZO, 2014; CALDERON, 2019). A Costa é uma estreita faixa longitudinal, que se estende entre o sopé ocidental da Cordilheira dos Andes e o Oceano Pacífico, com uma área que representa 11% da área total do país, seu relevo é quase uniforme e constitui uma extensa planície árida e alguns vales de extensão reduzida, as pampas aluviais e as montanhas de baixa elevação.

Figura 4.1: O relevo e localização na América do Sul do Peru (na esquerda). Regiões da Costa, Serra e Selva do Peru (na direita).



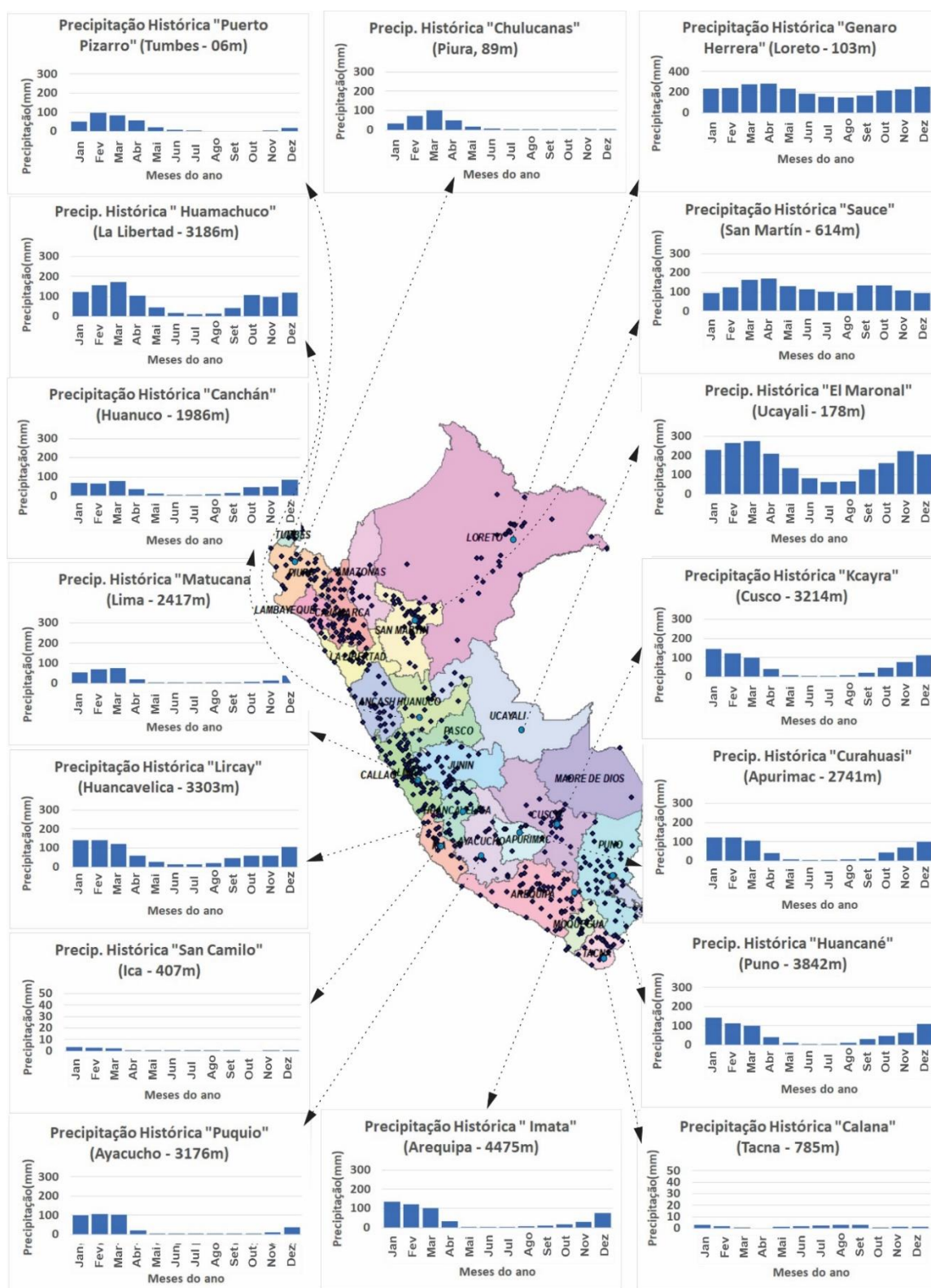
Fonte: Produção do autor.

A Serra, é a região geográfica situada entre a Costa e a Selva, com uma área que representa 32% do território nacional; seu relevo é irregular uma vez que a intersecção dos contrafortes andinos em diferentes direções impede a formação de extensas planícies de modo que apresentam zonas estreitas ao longo dos rios, formando vales Inter andinos. A Selva, está localizada no leste da Cordilheira dos Andes, é a região que ocupa a maior extensão territorial do país e representa 57% do território nacional, possuindo duas zonas bem definidas; por um lado, a Selva Alta ou Ceja de Montaña, onde o relevo é acidentado, arborizado e com barrancos profundas e de outro lado, a floresta Baixa ou Planície Amazônica, com relevo uniforme e exuberante vegetação tropical, cortada pelo rio Amazonas e seus afluentes.

#### **4.1. A Precipitação e fenômenos climáticos no Peru**

O comportamento do ciclo anual da precipitação sobre o Peru durante os 12 meses do ano varia dependendo da região sejam da Costa, Serra ou Selva. A Figura 4.2 mostra, por exemplo que as estações do litoral (Calana e San Camilo) com altitudes inferiores a 500m registram valores mensais inferiores a 100mm; As estações nas montanhas ou Serra, (Huancane Imata, Kcayra, Curahuasi, Lircay entre outras) com altitudes superiores a 2500m apresentam chuvas entre 100mm a 200mm e as estações localizadas na selva (Genaro Herrera, el Maronal entre outras) com altitudes acima do nível do mar a menos de 1000m apresentam os maiores valores de precipitação (entre 200 a 300mm) entre os meses de novembro a abril. Os dados históricos de precipitação mensal para o período de 1965 a 2016 ilustram que, o período chuvoso no Peru começa no mês de setembro e termina em abril do ano seguinte. As maiores precipitações ocorrem durante o período de verão (dezembro-março). Nesse contexto, o presente estudo terá como foco o período de verão que contribui com cerca de 60% das chuvas anuais no Peru, seguidas pela primavera e outono com cerca de 20% (PERRY et al., 2014; SHU WU et al., 2018).

Figura 4.2: Precipitação histórica acumulada mensal de algumas estações das regiões da Costa, Serra e Selva do Peru (1965-2016).

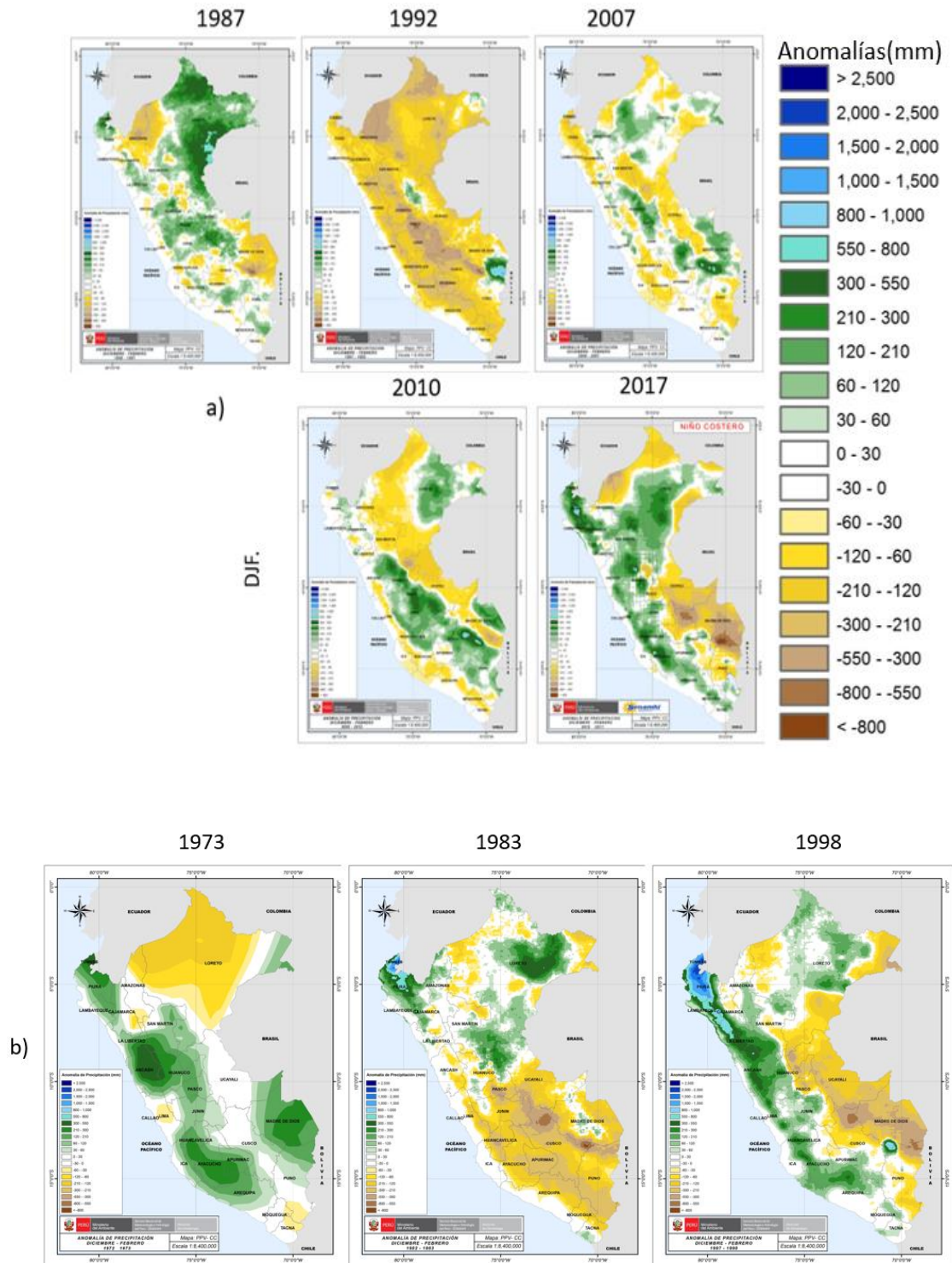


Fonte: Produção do autor.

O oceano desempenha um papel importante na regulação do clima mundial. Ao interagir com a atmosfera, suas manifestações ocorrem por meio de oscilações, por exemplo, o fenômeno El Niño (La Niña) associado ao aumento (diminuição) da temperatura da superfície do mar (TSM) ao longo do Pacífico equatorial, bem como um aprofundamento (elevação) da termoclina no Pacífico oriental (MCPHADEN, 1999), além disso, os padrões atmosféricos anômalos associados podem causar, em alguns casos, chuvas intensas (PENG, et al. 2019) ou secas (JIMÉNEZ-MUÑOZ, et al. 2016). No Peru, as chuvas ao longo da costa peruana e do noroeste dos Andes têm uma correlação positiva com o aquecimento costeiro e uma relação inversa com as terras altas “Altiplano” do sudeste (ESPINOZA; LAVADO, 2014). Uma das previsões alternativas mais acessíveis durante os eventos do ENOS é um mapa de teleconexão que representa o período de manifestação e a extensão espacial dos impactos do ENOS sobre as condições climáticas continentais. Durante a fase positiva ou negativa do ENOS geralmente são encontrados os melhores índices de habilidade preditiva em previsões da precipitação (PEZZI; KAYANO, 2009).

A Figura 4.3-a, mostra que para o Peru durante anos El Niño de intensidade moderada (1987, 1992, 2007, 2010 e 2017) foram registradas anomalias negativas de precipitação na Serra sul e Serra norte na fronteira com o Equador, e anomalias positivas em direção à selva norte, e com exceção do ano de 1992 que se manifestou com valores relativamente inverso para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF). A Figura 4.3-b, mostra que durante o ano de 1973 corresponde a um evento El Niño forte, expressivas anomalias negativas foram observadas na selva do norte e Serra sul, e anomalias positivas na Serra central, e durante os anos 1983 e 1998 identificados como El Niño extraordinário, anomalias negativas foram observadas na selva do sul, Serra central e anomalias positivas na costa norte para os meses de DJF.

Figura 4.3: Anomalias de precipitação climática no trimestre DJF de acordo com as categorias dos anos a) El Niño Moderado (ENM), b) El Niño forte (ENF) para o ano 1973 e El Niño Extraordinária (ENE) no Peru para os anos 1983 e 1998.



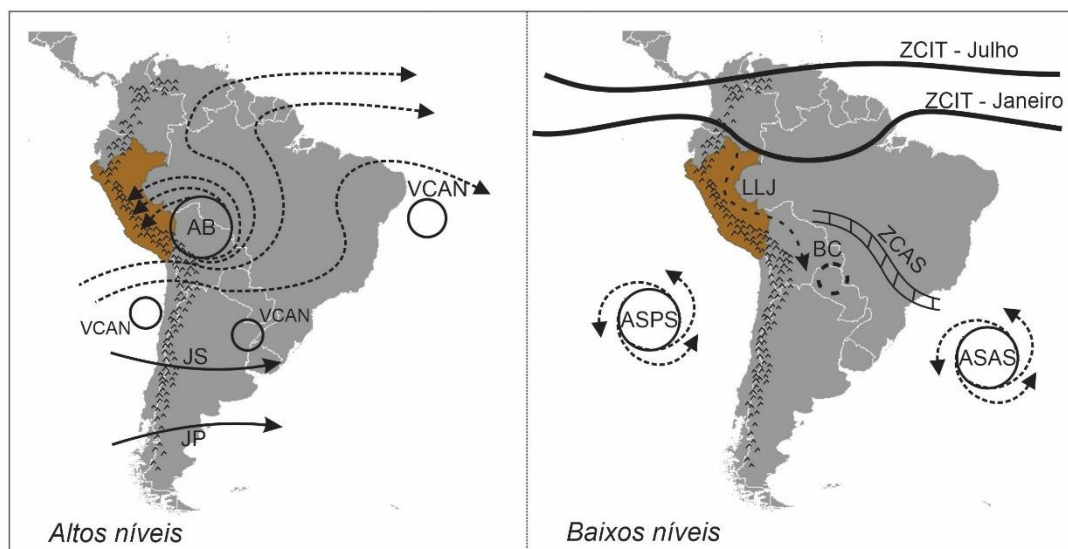
Fonte: Adaptado de SENAMHI (2022).

Diferenças na temperatura da superfície do mar em uma determinada região, podem gerar diferenças na pressão atmosférica. Esta diferença na pressão atmosférica na superfície pode ser suficiente para produzir ventos de áreas de alta pressão para áreas de baixa pressão. Uma parte importante da previsibilidade do clima sazonal está diretamente relacionada com as anomalias na temperatura da superfície do mar, especialmente em bacias oceânicas tropicais. Para uma melhor compreensão dos padrões de precipitação além de monitorar as mudanças na temperatura do mar no Oceano Pacífico equatorial e na costa peruana é importante também estudar a circulação atmosférica.

No assunto de padrões atmosféricos, de acordo com (CORREA, K. et al, 2019), recomenda-se a análise das variáveis atmosféricas na superfície, principalmente temperatura e precipitação. E de variáveis em níveis de pressão para a análise dos padrões de circulação atmosférica que influenciam o clima do Peru, avaliando por exemplo os níveis de 850hPa, 500hPa e 200 hPa, bem como a variável temperatura da superfície do mar. Esta avaliação pode ser realizada com as bases de dados Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations (PISCO; ZAPANA, 2019) e reanalises (CORREA et al, 2019).

Os sistemas meteorológicos que predominam na América do Sul (QUISPE, 2017) e que influenciam as condições climáticas regionais nos níveis altos (200hPa) da atmosfera do Peru são: a alta da Bolívia (AB), o jato subtropical (JS) e o jato polar (JP) ao sul, além do vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) ao nordeste do Brasil e sudoeste do Peru, como pode ser visto no painel da esquerda da Figura 4.4.

Figura 4.4: Padrões de circulação em altos e baixos níveis predominantes na América do Sul.



Fonte: Adaptado de SIMÕES et al. (2010) e QUISPE (2017).

Em baixos níveis os sistemas que influem as condições meteorológicas do Peru (painel da direita da Figura 4.4) são a zona de convergência intertropical (ZCIT) que no período de inverno se desloca para o norte da América do Sul e no período de verão se desloca para o Sul, influenciando assim as chuvas no Peru. No sudeste do continente apresenta-se a zona de convergência do atlântico sul (ZCAS), o jato de baixo nível (LLJ) a leste dos Andes que é modulado pelo anticiclone subtropical do atlântico sul (ASAS) a sudeste de América do Sul, o anticiclone subtropical do Pacífico sul (ASPS) a sudoeste do continente que apresenta o núcleo mais intenso na primavera e o mais fraco no outono e mantém sua posição mais próxima do continente no inverno; e a Baixa do Chaco localizada próxima ao Paraguai.

#### 4.2. Procedimentos de previsão climática sazonal utilizados no Peru

Atualmente há duas formas de se produzir a previsão climática sazonal para o Peru que é através do uso de modelos estatísticos (PASTOR, 2018; KIARA, 2017) e de modelo dinâmicos globais e regionais (BAZO, 2014). Os modelos



estatísticos são baseados na análise e processamento de dados do passado para a construção de relações entre variáveis preditoras e variáveis de interesse a ser previstas. Desta forma, com base em certas variáveis preditoras, como temperatura do mar ou pressão atmosférica, pode-se construir modelos para prever a precipitação e temperatura continental. Os modelos dinâmicos globais estão baseados nas leis físicas da atmosfera e dos oceanos assim como os modelos regionais. No entanto, ambos modelos dinâmicos necessitam de alta capacidade computacional para a produção de previsões climáticas. No contexto local, devido à complexidade da topografia, da cordilheira dos Andes, as previsões dinâmicas ainda não alcançam resultados com confiabilidade aceitável, faz-se necessário a análise de vários resultados de modelos climáticos por equipes de especialistas da área de clima a nível nacional, incluindo os resultados de modelos estatísticos.

Como parte de alguns estudos, destaca-se o desenvolvido por (KIARA, 2017), para os Departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque e a Libertad, que através de previsões estatísticas baseadas em análise de correlação canônica (ACC) que construiu relações lineares entre os preditores da TSM localizados na região El Niño 1 + 2 e na região central do Pacífico equatorial 3.4 e a precipitação observada em 41 estações meteorológicas do Peru. Para a análise do desempenho das previsões, foram utilizados os índices de correlação de Pearson e Spearman, acertos e erros lineares no espaço de análise. Os resultados indicaram que para a costa norte a precipitação tem correlação positiva com a TSM da região Niño 1 + 2 indicando que com um Pacífico anormalmente quente (frio) próximo a costa do Peru as chuvas tendem a um padrão de condições acima (abaixo) do seu valor normal na costa norte; e na Serra Norte a melhor correlação positiva foi obtida usando a TSM na região Niño 3.4 como preditor. Outro estudo realizado para os departamentos de Puno e Cuzco na Serra Sul do Peru, também utilizou ACC entre TSM proveniente da base de dados ERSST versão 4 (PASTOR, 2018) como variável preditora e com o intuito de prever as seguintes variáveis sobre o Peru; precipitação (PP), temperaturas máximas (TMAX) e temperaturas mínimas (TMIN). Nesse estudo foram utilizados como índices de desempenho a correlação de Pearson e o erro

quadrático médio. Os resultados mostram que os melhores desempenhos foram obtidos para as previsões de temperatura máxima e mínima nos trimestres fevereiro, março e abril (FMA), março, abril e maio (MAM), novembro, dezembro e janeiro (NDJ) e dezembro, janeiro e fevereiro (DJF). O desempenho das previsões de precipitação mostrou ser inferior ao desempenho das previsões de temperatura.

## 5. METODOLOGIA

### 5.1. Análise de correlação canônica

A Análise de Correlação Canônica (ACC) é uma técnica estatística de análise multivariada (BARNSTON; SMITH, 1996; PEZZI et al. 2000, BEZERRA et al., 2008; FALLAS; ALFARO, 2012; ZACARIA et al., 2019), que identifica uma sequência de pares de padrões em dois conjuntos de dados multivariados e constrói conjuntos de variáveis transformadas projetando os dados originais nesses padrões. O ACC extrai relacionamentos entre pares de vetores de dados  $\bar{x}$  (*variáveis independentes ou predictoras*) e  $\bar{y}$  (*variável única dependente ou preditando*), onde “T” que é a matriz transposta:

$$\bar{x}^T = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_i) \quad (5.1)$$

$$\bar{y}^T = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_j). \quad (5.2)$$

Vetores que são resumidos em sua matriz de covariância conjunta  $[S_C]$ , e para calcular esta matriz, os dois vetores de dados centrados são concatenados em um único vetor:

$$\bar{c}'^T = [\bar{x}'^T, \bar{y}'^T] \quad (5.3)$$

O símbolo prime (') é de anomalias (no sentido meteorológico de variáveis com suas médias “ $\bar{u}$ ” subtraídas) ou de dados centrados (por exemplo,  $\bar{x}' = \bar{x} - \bar{u}$ ).

A matriz de covariância  $\bar{c}'$  de ordem  $((I + J) \times (I + J))$ , sendo  $I$  os elementos de  $\bar{x}'$  e  $J$  os elementos de  $\bar{y}'$ , é particionada em quatro blocos, e mostrada na matriz de covariância conjunta, isso é:

$$[S_C] = \begin{bmatrix} [S_{x,x}] & [S_{x,y}] \\ [S_{y,x}] & [S_{y,y}] \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

A matriz  $[S_{x,x}]$  de ordem  $(I \times I)$  é a matriz de variância-covariância das variáveis  $I$  em  $x$ . A matriz  $[S_{y,y}]$  de ordem  $(J \times J)$  é a matriz de variância-covariância das variáveis  $J$  em  $y$ . As matrizes  $[S_{x,y}]$  e  $[S_{y,x}]$  contêm as covariâncias entre todas as combinações dos elementos de  $x$  e  $y$ , e estão relacionadas de acordo com  $[S_{x,y}] = [S_{y,x}]^T$ .

O ACC transforma pares de vetores de dados originais centrados  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  em conjuntos de novas variáveis, chamadas de variáveis canônicas,  $v_m$  e  $w_m$ , definidas pelos produtos escalares:

$$v_m = \bar{a}_m^T \bar{x}' = \sum_{i=1}^I a_{m,i} x'_i, \quad m = 1, \dots, \min(I, J) \quad (5.5)$$

$$w_m = \bar{b}_m^T \bar{y}' = \sum_{j=1}^J b_{m,j} y'_j, \quad m = 1, \dots, \min(I, J) \quad (5.6)$$

Os vetores de pesos  $\bar{a}_m$  e  $\bar{b}_m$  são chamados de vetores canônicos. (Um vetor canônico não precisa ter a mesma dimensão que o outro). Os vetores  $\bar{x}'$  e  $\bar{a}_m$  têm elementos  $I$ , e os vetores  $\bar{y}'$  e  $\bar{b}_m$  têm elementos  $J$ . O número de pares,  $M$ , de variáveis canônicas que podem ser extraídas dos dois conjuntos de dados é igual à menor das dimensões de  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$ ; isto é,  $M = \min(I, J)$ .

Os vetores canônicos  $\bar{a}_m$  e  $\bar{b}_m$  são as únicas escolhas que resultam nas variáveis canônicas com as propriedades:

$$\text{Corr}(v_1, w_1) \geq \text{Corr}(v_2, w_2) \geq \dots \geq \text{Corr}(v_M, w_M) \geq 0, \quad (5.7)$$

$$\text{Corr}(v_k, w_m) = \begin{cases} r_{c_m}, & k = m \\ 0, & k \neq m \end{cases}, \quad (5.8)$$

$$\text{Corr}(v_k, v_m) = \text{Corr}(w_k, w_m) = 0, \quad k \neq m, \quad (5.9)$$

e,

$$\text{Var}(v_m) = \bar{a}_m^T [S_{x,x}] \bar{a}_m = \text{Var}(w_m) = \bar{b}_m^T [S_{y,y}] \bar{b}_m = 1, \quad m = 1, \dots, M. \quad (5.10)$$

A Equação 5.7, afirma que cada um dos  $M$  pares sucessivos de variáveis canônicas não apresenta maior correlação (Corr) do que o par anterior. Essas correlações (produto-momento de Pearson) entre os pares de variáveis canônicas são chamadas de “correlações canônicas” ou de  $r_c$ . As correlações canônicas sempre podem ser expressas como números positivos, pois  $\bar{a}_m$  ou  $\bar{b}_m$  podem ser multiplicados por  $-1$  se necessário. As Equações 5.8 e 5.9 afirmam que cada variável canônica não é correlacionada com todas as outras variáveis canônicas, exceto sua contraparte específica no  $m$ -ésimo par. Finalmente, a Equação 5.10, afirma que cada uma das variáveis canônicas tem variância (Var) unitária. Alguma restrição nos comprimentos de  $\bar{a}_m$  e  $\bar{b}_m$  é necessária para definição, e escolher esses comprimentos para produzir variâncias unitárias para as variáveis canônicas acaba sendo conveniente para algumas aplicações. Assim, a matriz de covariância conjunta ( $2M \times 2M$ ) para as variáveis canônicas resultantes assume a forma simples e interessantes de:

$$Var\left(\begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix}\right) = \begin{bmatrix} [S_{v,v}] & [S_{v,w}] \\ [S_{w,v}] & [S_{w,w}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [I] & [R_C] \\ [R_C] & [I] \end{bmatrix}, \quad (5.11)$$

Onde  $[R_C]$ , é a matriz diagonal das correlações canônicas

$$[R_C] = \begin{bmatrix} r_{C_1} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & r_{C_2} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & r_{C_3} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & r_{C_M} \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

Na ACC, duas novas bases são definidas pelos vetores canônicos  $\bar{a}_m$  e  $\bar{b}_m$ . No entanto, esses vetores de base não são ortogonais nem de comprimento unitário. As variáveis canônicas são as projeções dos vetores de dados centrados  $\bar{x}'$  e  $\bar{y}'$  sobre os vetores canônicos e podem ser expressas em forma de matriz através das fórmulas de análise

$$\underbrace{v}_{MX1} = \underbrace{[\bar{A}]^T}_{M \times I} \underbrace{\bar{x}'}_{I \times 1} \quad (5.13)$$

e,

$$\underbrace{w}_{MX1} = \underbrace{[\bar{B}]^T}_{M \times J} \underbrace{\bar{y}'}_{J \times 1} \quad (5.14)$$

Aqui as colunas das matrizes [A] e [B] são  $M = \min(I, J)$ , vetores canônicos de  $\bar{a}_m$  e  $\bar{b}_m$ , respectivamente (WILKS, S. 2020).

A seguir são fornecidas informações adicionais de como as variáveis canônicas e suas correlações são obtidas.

## 5.2. ACC para previsão de precipitação

Para a previsão com ACC, são construídas regressões lineares simples que relacionam as variáveis canônicas do preditando “ $w_m$ ” (por exemplo, precipitação) com às variáveis canônicas do preditor “ $v_m$ ” (por exemplo, temperatura da superfície do mar).

$$w_m = \hat{\beta}_{0,m} + \hat{\beta}_{1,m}v_m, m = 1, \dots, M. \quad (5.15)$$

Onde, M é o menor número de pares ou variantes canônicas que podem ser extraídas dos dois conjuntos de dados  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$ , ou seja,  $M = \min(i, j)$  e os  $\beta'_s$  são identificados com o símbolo “ $\wedge$ ” e representa os coeficientes de regressão estimados, para distinguir dos vetores canônicos  $\bar{b}$ . A estimativa de parâmetros para as regressões na Equação (5.15) também é direta, usando os mínimos quadrados para as inclinações de regressão linear, em termos de Variância (Var) e Covariância (Cov) das variáveis canônicas  $v_m$  e  $w_m$ , da seguinte forma:

$$\hat{\beta}_{1,m} = \frac{nCov(v_m, w_m)}{nVar(v_m)} = \frac{nS_v S_w r_{v,w}}{nS_v^2} = r_{v,w} = r_{c_m}, m = 1, \dots, M. \quad (5.16)$$

(Onde,  $r_{v,w}$  é correlação de variáveis canônicas  $v$  e  $w$ ;  $n$ , número de linhas da covariância,  $S_v$  e  $S_w$  representam as covariâncias). As “variáveis canônicas” são escaladas para ter variância unitária (Equação 5.10), e os declives da regressão são simplesmente iguais às “correlações canônicas”. Em consequência a Equação da interceptação de regressão é:

$$\hat{\beta}_{0,m} = \bar{w}_m - \hat{\beta}_{1,m} \bar{v}_m = 0, \quad m = 1, \dots, M. \quad (5.17)$$

O ACC é calculado a partir dos dados centrados  $x'$  e  $y'$  cujos vetores médios são ambos 0, as médias das variáveis canônicas  $v_m$  e  $w_m$  também são zero, de modo que todos os interceptos são zero.

Uma vez que o ACC foi ajustado, o procedimento básico de previsão é primeiro, os valores centrados para o campo preditor  $\bar{x}'$  (ou seus primeiros componentes principais,  $u_x$ ) são usados na Equação (5.13) para calcular  $M$  e as variáveis canônicas ( $v_m$ ) para serem usadas como preditores de regressão. Combinando as Equações (5.15) e (5.17), o vetor ( $M \times 1$ ) de variáveis canônicas do preditando prevê-se:

$$\hat{w} = [R_C]v \quad (5.18)$$

Onde,  $[R_C]$  é a matriz diagonal ( $M \times M$ ) das correlações canônicas (WILKS, 2011).

### **5.3. Procedimento e dados utilizados para implementação do modelo de regressão baseado em ACC**

A análise de correlação canônica (ACC) foi utilizada para a construção de modelos estatísticos para a produção de previsões climáticas sazonais de precipitação para o Peru. A ACC entre as variáveis físicas consideradas como

preditor e o preditando foi realizada utilizando-se a ferramenta estatística Climate Predictability Tool (CPT), desenvolvida pelo Instituto Internacional de Pesquisa para o Clima e a Sociedade (IRI da sigla em inglês).

O termo, "preditor" refere-se a variável que é usada para prever uma ou outra "variável" denominada "preditando" (JOLLIFFE; STEPHENSON, 2012; ZACARIA et al, 2019). Na regressão multivariada utilizada para a construção dos modelos estatísticos (empíricos) o preditando é conhecido como "variável resposta", por exemplo precipitação sobre o Peru em DJF, que é prevista usando o "preditor", que pode ser a temperatura da superfície do mar observada no Pacífico equatorial no mês de outubro anterior, o qualquer outro preditor.

Para a variável preditando foi utilizado o produto de precipitação Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations (PISCO) em sua versão mensal é o resultado da combinação de dados de estações terrestres com produtos de satélite e reanálise para poder obter um banco de dados em grade de abrangência nacional de alta resolução espacial (5 km x 5 km em latitude e longitude) (ZAPANA, 2019; CUADROS, 2020); Os dados em grade cobrem o período de 1 de janeiro de 1981 até 31 de dezembro de 2016.

Para as variáveis preditoras foram utilizados, o conjunto de dados Extended Reconstructed Sea Surface Temperature ERSSTv5 (ZHENNING, 2020) que é um conjunto de dados global mensal de temperatura da superfície do mar derivado do International Comprehensive Ocean - Atmosphere Dataset (ICOADS) em resolução espacial de  $2^\circ \times 2^\circ$  em latitude e longitude (BOYIN HUANG, et al. 2017; IMFELD et al, 2019). Também foram utilizados os dados de reanálise do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) em parceria com o National Center for Atmospheric Research (NCAR) disponíveis desde 1948 até a atualidade na resolução espacial de  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  de latitude e longitude.

#### **5.4. Análise do modelo de regressão em modo de validação cruzada**

A avaliação das previsões produzidas através do procedimento de regressão empregando a análise de correlações canônicas utilizando-se dados



independentes, ou seja, dados não utilizados no processo de construção das equações de regressão, é de fundamental importância para a validação e análise do desempenho das previsões produzidas. Uma técnica comumente utilizada para este propósito é a validação cruzada. Na validação cruzada, o conjunto de dados disponível é separado em dois subconjuntos, um usado para treinar o modelo e o outro (dados não usados) para realizar o teste de validação (ARLOT; CELISSE, 2010; YANG; HUANG, 2014), em outras palavras, para fins de previsão. Neste trabalho de mestrado foram utilizados os dados de precipitação sobre o Peru disponíveis para período de 34 anos de 1981 a 2016, sendo então aplicado o procedimento de validação cruzada de modo que um ano de cada vez foi retirado da amostra inicial de 34 anos para a calibração do modelo de regressão empregando a análise de correlações canônicas entre precipitação e as variáveis preditoras utilizadas, resultando em 33 anos restantes que foram utilizados para prever o ano retirado, sendo repetido este processo até que os 34 anos fossem previstos sem a inclusão dos dados referentes as observações de cada um dos anos previstos.

### **5.5. A curva ROC**

O diagrama ROC (Relative Operating Characteristic, ou Receiver Operating Characteristic) é, entre outros, um gráfico utilizado para verificação de previsões de tempo e clima que auxilia diagnosticar a habilidade do sistema de previsão em emitir previsões probabilísticas capazes de discriminar a ocorrência da não ocorrência de um evento de interesse para o qual está sendo realizada a verificação das previsões (MASON, 2002; WILKS, 2020). Os tomadores de decisão devem escolher entre duas alternativas "não" caso o evento não ocorra (ação A) e "sim" caso o evento ocorra (ação B). Diferentes limiares de probabilidade para decidir sobre as ações A ou B são considerados em diferentes problemas de decisão (BOUALLÈGUE; RICHARDSON, 2022). Existem quatro resultados possíveis para uma previsão de teste: verdadeiro positivo (VP), falso positivo (FP), verdadeiro negativo (VN) e falso negativo (FN).

Tabela 5.1: Tabela de contingência para avaliação de eventos observados e previstos.

		Observado	
		Sim	Não
Previsão	Sim	VP	FP
	Não	FN	VN

Fonte: Adaptado de Wilks (2006).

A curva ROC é produzida calculando e plotando a taxa de verdadeiros positivos (TVP) em relação à taxa de falsos positivos (TFP) para um único classificador (um evento de interesse) em vários limites de probabilidade, como apresenta-se nas equações a seguir:

$$TVP = \frac{VP}{VP+FN} \quad (5.19)$$

Onde VP é o número de verdadeiros positivos e FN é o número de falsos negativos. A TVP é uma medida da probabilidade de que uma instância positiva real seja classificada como positiva (taxa de acerto).

$$TFP = \frac{FP}{FP+VN} \quad (5.20)$$

O FP é o número de falsos positivos e VN é o número de verdadeiros negativos. A TFP é essencialmente uma medida da frequência com que um “alarme falso” ocorrerá; ou com que frequência uma instância negativa real será classificada como positiva. A TFP é a fração de previsões sim que se mostram erradas, ou a proporção de eventos previstos que não se materializam (taxa de alarme falso). O TFP tem uma orientação negativa, de modo que valores menores de TFP

devem ser preferidos. O melhor TFP possível é zero, e o pior TFP possível é um. Situações contrárias a "TFP" indicam os resultados de "TVP".

A área abaixo da curva ROC fornece uma medida de discriminação, indicando a probabilidade de o sistema de previsão discriminar com sucesso a ocorrência da não ocorrência do evento sendo analisado.

## 5.6. Correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson ( $r_{x,y}$ ), também é chamado de coeficiente de correlação produto-momento de Pearson (GOLIAN; RUIGAR, 2015). O valor dos coeficientes de correlação de Pearson varia de -1 a 1. Se as duas variáveis estiverem em relação linear perfeita, o coeficiente de correlação será 1 (ou -1 caso a relação linear seja totalmente inversa). O sinal depende se as variáveis  $x$  e  $y$  estão positivamente (diretamente) ou negativamente (inversamente) relacionadas. O coeficiente de correlação é 0 se não houver relação linear entre as variáveis. Uma maneira de calcular a correlação de Pearson é através da razão da covariância amostral das duas variáveis ( $Cov(x,y)$ ) e o produto dos dois desvios padrão das variáveis  $x$  e  $y$ , ou seja, de  $S_x$  e  $S_y$  (WILKS, 2006).

$$r_{x,y} = \frac{Cov(x,y)}{S_x \cdot S_y} \quad (5.21)$$

## 5.7. Procedimento para identificação de variáveis preditoras para a previsão de precipitação para DJF sobre o Peru

A metodologia adotada neste trabalho para a identificação de variáveis preditoras consiste em analisar espacial e temporalmente a correlação sazonal entre a precipitação para DJF de nove setores de análise (Costa Norte, Costa Central, Costa Sul, Serra Norte, Serra Central, Serra Sul, Selva Norte, Selva Central e Selva Sul mostrada na Figura 5.1) e a TSM e outras variáveis atmosféricas globais de reanálise [Altura Geopotencial (AG), Vento Zonal (VZ), Vento Meridional (VM) em seus três níveis alto 200hPa, médio 500hPa e baixo

850hPa, além da pressão ao nível médio do mar (PNM)] no mês de outubro anterior, para a identificação de padrões de teleconexão e fontes de previsibilidade.

Figura 5.1: Nove Setores de estudo para análise de precipitações no Peru.

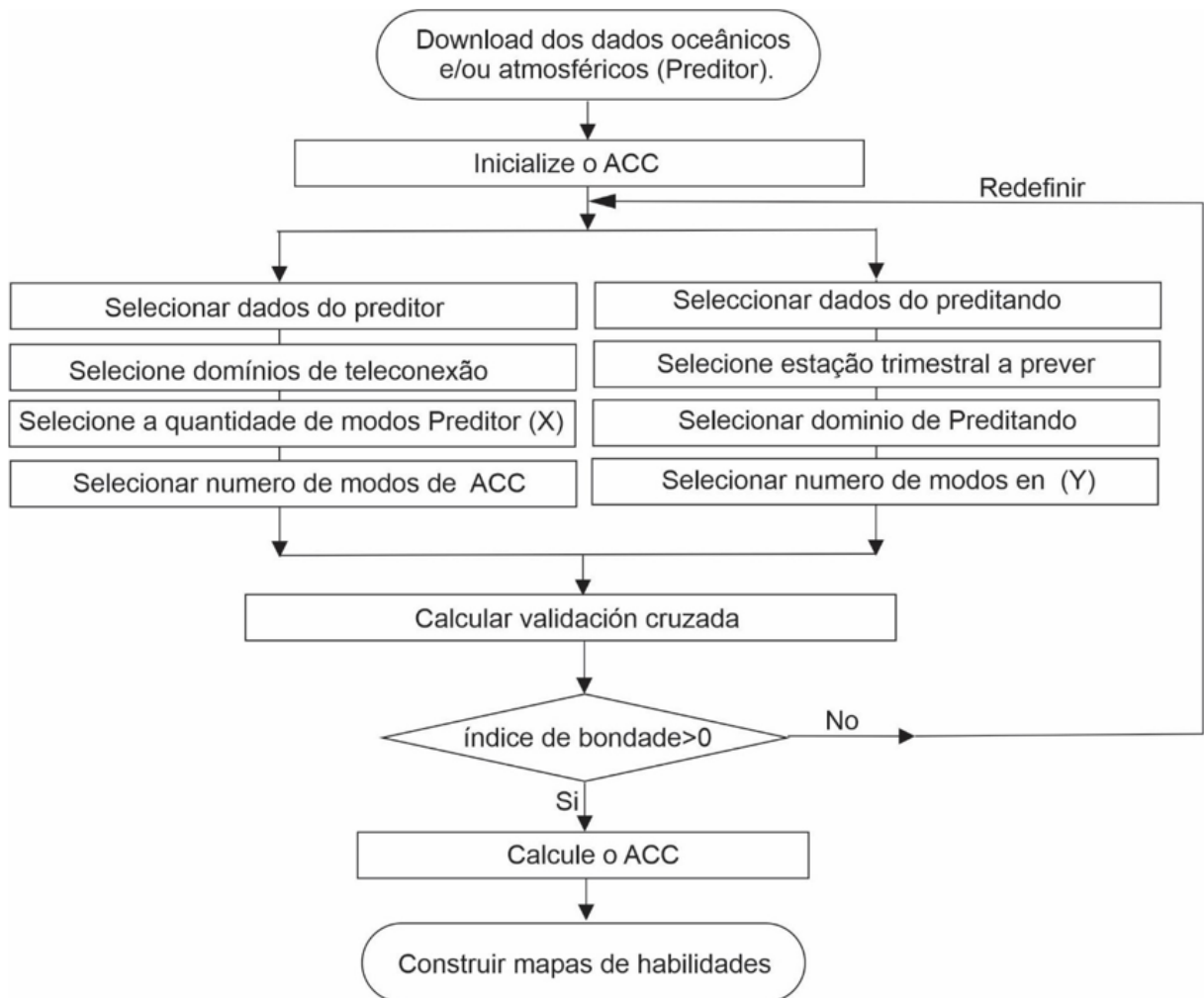


Fonte: Adaptado de SENAMHI (2021).

Dessa maneira, do ponto de vista prático para a elaboração de previsões sazonais de precipitação futuras para DJF para o Peru, uma vez identificados os preditores mais adequados e construídos os modelos de regressão utilizando-se a análise de correlações canônicas, dado um novo conjunto de dados observados das variáveis preditoras disponível para o mês de outubro, torna-se possível utilizar esse modelo de regressão, que pode ser rodado no mês de novembro, para prever a precipitação sazonal para os próximos 3 meses (DJF) sobre o Peru.

Nas seções a seguir apresenta-se a investigação das variáveis climáticas com as melhores relações com a precipitação sobre o Peru para a construção de modelos de regressão por análise de correlações canônicas e posterior avaliação por meio de métricas determinísticas e probabilísticas para verificar o desempenho das previsões climáticas sazonais de precipitação para o Peru durante o verão (DJF).

- Fluxograma da metodologia utilizada para avaliação dos índices de destreza.



## **6. RESULTADOS**

### **6.1. Identificação de variáveis preditoras**

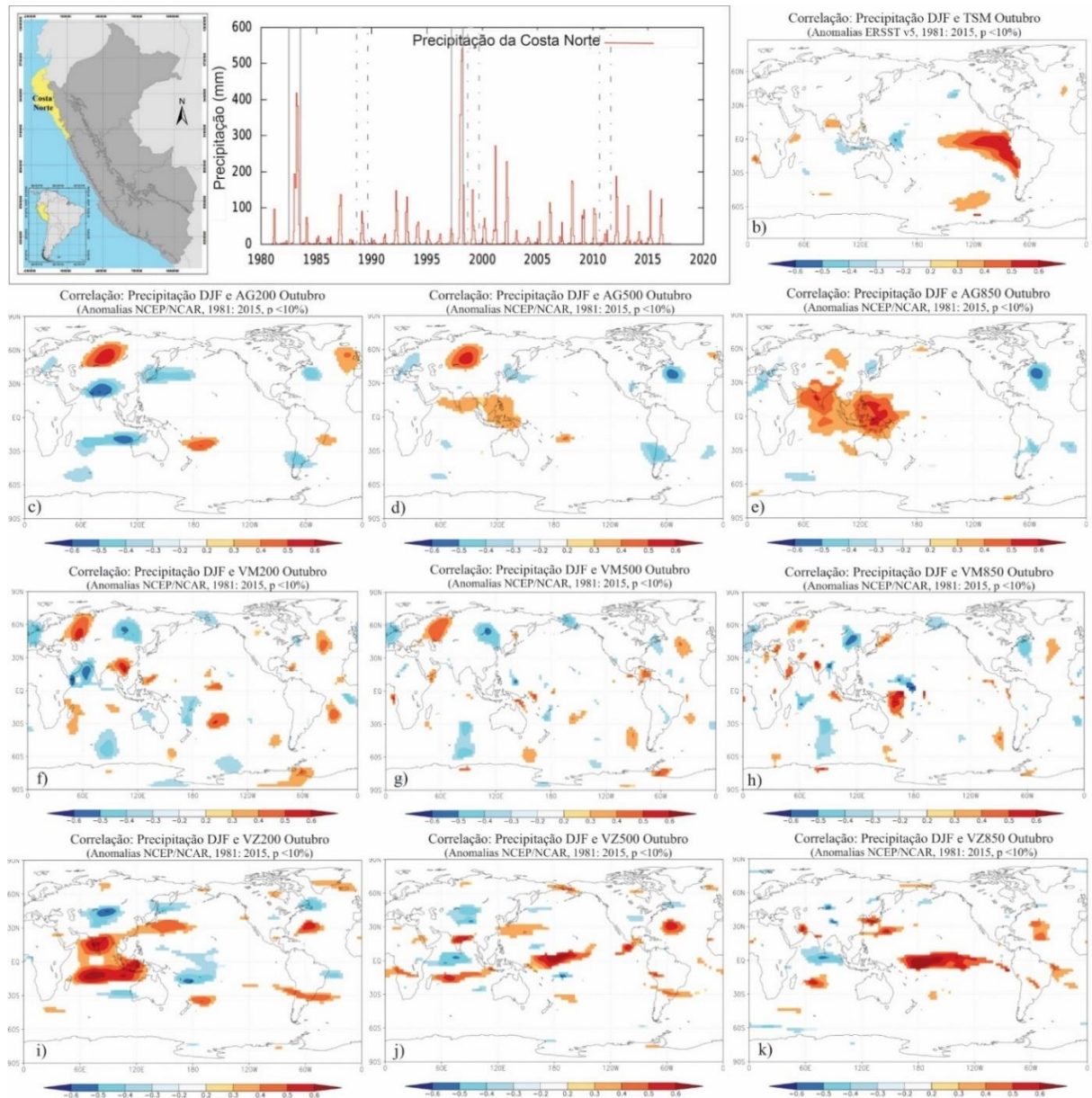
Séries temporais (1981-2016), de precipitação média para DJF provenientes de base de dados PISCO foram construídas para os nove setores a saber, Costa Norte, Costa Central, Costa Sul, Serra norte, Serra Central, Serra sul, Selva Norte, Selva Central e Serra sul do Peru (ilustrados na Figura 5.1), sendo essas séries correlacionadas com a TSM, AG, VM, VZ e PNM em seus três níveis (200hPa, 500hPa e 850hPa) do mês de outubro anterior para a identificação e seleção de preditores oceânicos e atmosféricos para posterior uso nos modelos estatísticos de previsão sazonal de precipitação para o Peru.

#### **6.1.1. Costa Norte**

A Figura 6.1, mostra no painel a) a série temporal de precipitação sobre a Costa Norte do Peru (Linha vermelha), onde alguns eventos El Niño como os anos 1982, 1983, 1997, 1998 (linhas na cor cinza), destacam-se com expressivos valores de precipitação. Os mapas dos painéis seguintes da figura mostram as correlações entre a série temporal das anomalias de precipitação para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) na Costa Norte do Peru e diferentes variáveis oceânicas e atmosféricas observadas no mês de outubro anterior ao período DJF. A Figura 6.1.b indica associação positiva de anomalias de TSM(ERSSTv5) com anomalias de precipitação para a Costa Norte do Peru com valores de correlação superiores a 0.4 sobre as regiões do Niño 1+2 e 3 no Pacífico Equatorial. Ou seja, consistência entre o aquecimento (resfriamento) do oceano nessas regiões que tipicamente ocorre em anos de El Niño (La Niña), e o aumento (diminuição) dos índices pluviométricos na costa norte do Peru. As Figuras 6.1.c, 6.1.d, 6.1.e mostram correlações entre anomalias de precipitação na região da costa norte do Peru com as anomalias de altura geopotencial. Por exemplo, em níveis baixos(850hPa) são identificadas correlações positivas com valores superiores a 0,4 na Indonésia e no norte da Austrália, sugerindo associação positiva entre pressão atmosférica dessas regiões e precipitação no setor da Costa Norte do Peru. Ou seja, o aumento (diminuição) da pressão

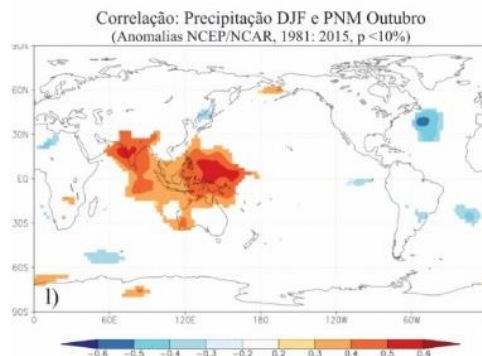
nessas regiões durante eventos de El Niño (La Niña) associam-se a condições de excesso (déficit) de precipitação no setor da Costa Norte do Peru.

Figura 6.1: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Costa Norte” do Peru.



continua

Figura 6.1: Conclusão.



a) Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Costa Norte” do Peru (Indicado em amarelo no painel superior esquerdo da figura). Correlação entre as anomalias de precipitação de dezembro a fevereiro (DJF) para o setor de “Costa Norte” e as anomalias de b) TSM de ERSST V5, c) AG 200hPa, d) AG 500hPa, e) AG 850hPa, f) VM 200hPa, g) VM 500hPa, h) VM 850hPa, i) VZ 200hPa, j) VZ 500hPa, k) VZ 850hPa e l) PNM do mês de outubro anterior durante o período de 1981 a 2015 do NCEP/NCAR. Os valores de correlação indicados em cores nos mapas foram identificados como estatisticamente significativos e diferentes de zero ao nível de significância de 10%

Fonte: Produção do autor.

Um padrão de correlação semelhante, porém de menor extensão espacial e intensidade nas proximidades da Indonésia e norte da Austrália pode ser visto em níveis médios (500hPa), porém este padrão não é identificado em altos níveis (200hPa). Em relação aos ventos meridionais em 200hPa, 500hPa e 850hPa, as correlações apresentadas nas Figuras 6.1.f, 6.1.g, 6.1.h, não mostram padrões de destaque associados a precipitação na Costa Norte do Peru nos três níveis investigados. Com relação as anomalias de ventos zonais em altos níveis (200hPa) (Figuras 6.1.i, 6.1.j, 6.1.k), as correlações com a precipitação na Costa Norte do Peru apresentaram-se positivas no Oceano Índico equatorial e negativas no setor oeste do Pacífico equatorial, ou seja, durante eventos de El Niño (La Niña) anomalias de ventos de oeste (leste) predominam no Oceano Índico equatorial, e anomalias de ventos de leste (oeste) predominam na região oeste do Pacífico equatorial. Os padrões de correlação de anomalias de precipitação com as anomalias de vento zonal em médios (500hpa) e baixos (850hPa) níveis na região equatorial do Oceano Índico e porção oeste do Pacífico equatorial são exatamente o oposto do descrito acima para os níveis altos(200hPa), destacando correlações negativas sobre o Oceano Índico



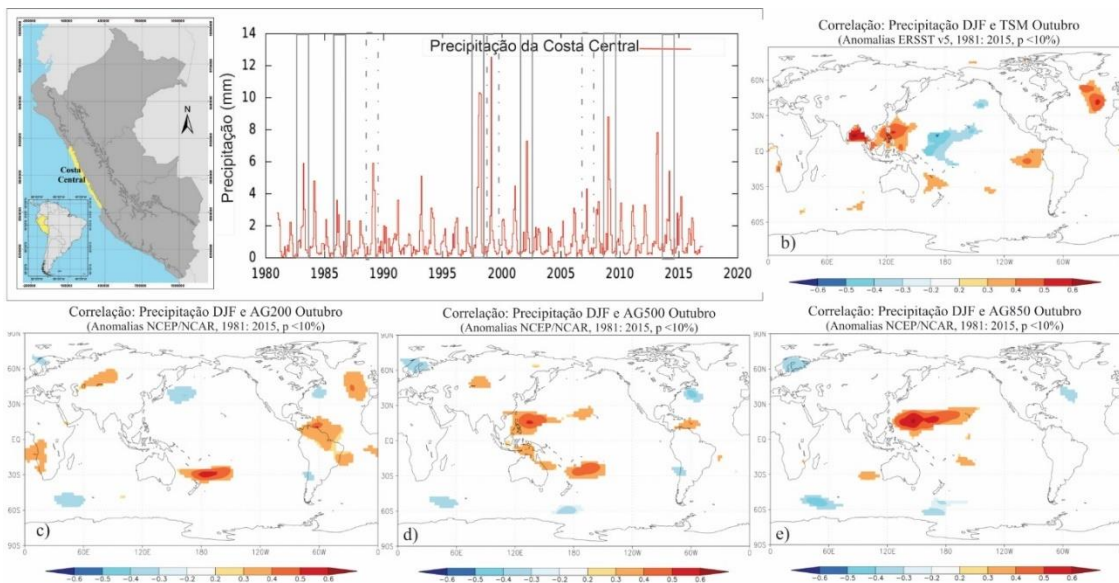
equatorial e positivas sobre a região equatorial do Pacífico oeste e central. Este padrão de correlações está associado a anomalias de ventos de leste (oeste) sobre o Índico equatorial e anomalias de ventos de oeste (leste) sobre a porção oeste e central do Pacífico equatorial tipicamente manifestadas durante eventos de El Niño (La Niña). Na Figura 6.1, ao norte do continente marítimo entre o oeste do Oceano Pacífico e o Oceano Índico foram identificadas as maiores correlações positivas entre as anomalias da pressão ao nível meio do mar (PNM) e a precipitação na costa norte do Peru, que associam-se ao aumento (diminuição) da pressão na região da Indonésia e norte da Austrália durante eventos de El Niño (La Niña) devido a divergência (convergência) anômala de ventos em baixos níveis nessa região, e excesso (déficit) de precipitação na Costa Norte do Peru. Finalmente, as principais variáveis que apresentaram correlações relevantes com as anomalias de precipitação para o setor da Costa Norte são: TSM, AG850, VZ200, VZ850 e PNM.

### **6.1.2. Costa Central**

Para o setor da costa central do Peru mostra-se na Figura 6.2, em a) a série temporal de precipitação (linha vermelha) juntamente com linhas contínuas de cor cinza os anos extraordinários "El Niño" de 1983 e 1998, além dos anos de El Niño moderado de 1986, 2002, 2009 e fraco como 2014. As linhas seccionadas em cor cinza destacam os anos de La Niña de 1989, 1999 e 2007. Os mapas dos painéis seguintes da figura, apresentam as correlações das anomalias de precipitação para DJF na costa central do Peru e as variáveis oceânicas e atmosféricas observadas no mês de outubro anterior ao período DJF. A Figura 6.2.b, mostra que as anomalias de TSM (ERSSTv5) e apresentam associação positiva com as anomalias de precipitação da Costa Central do Peru com valores superiores a 0,2 ao norte de Indonésia e oeste do Pacífico equatorial, além da região do El Niño 1 + 2, 3 e parte do Oceano Atlântico Norte. Ou seja, as correlações positivas da região do El Niño 1+2 e 3 são consistentes com o aquecimento (resfriamento) do oceano Pacífico equatorial leste tipicamente observado em anos de El Niño (La Niña) e o aumento (diminuição) dos índices

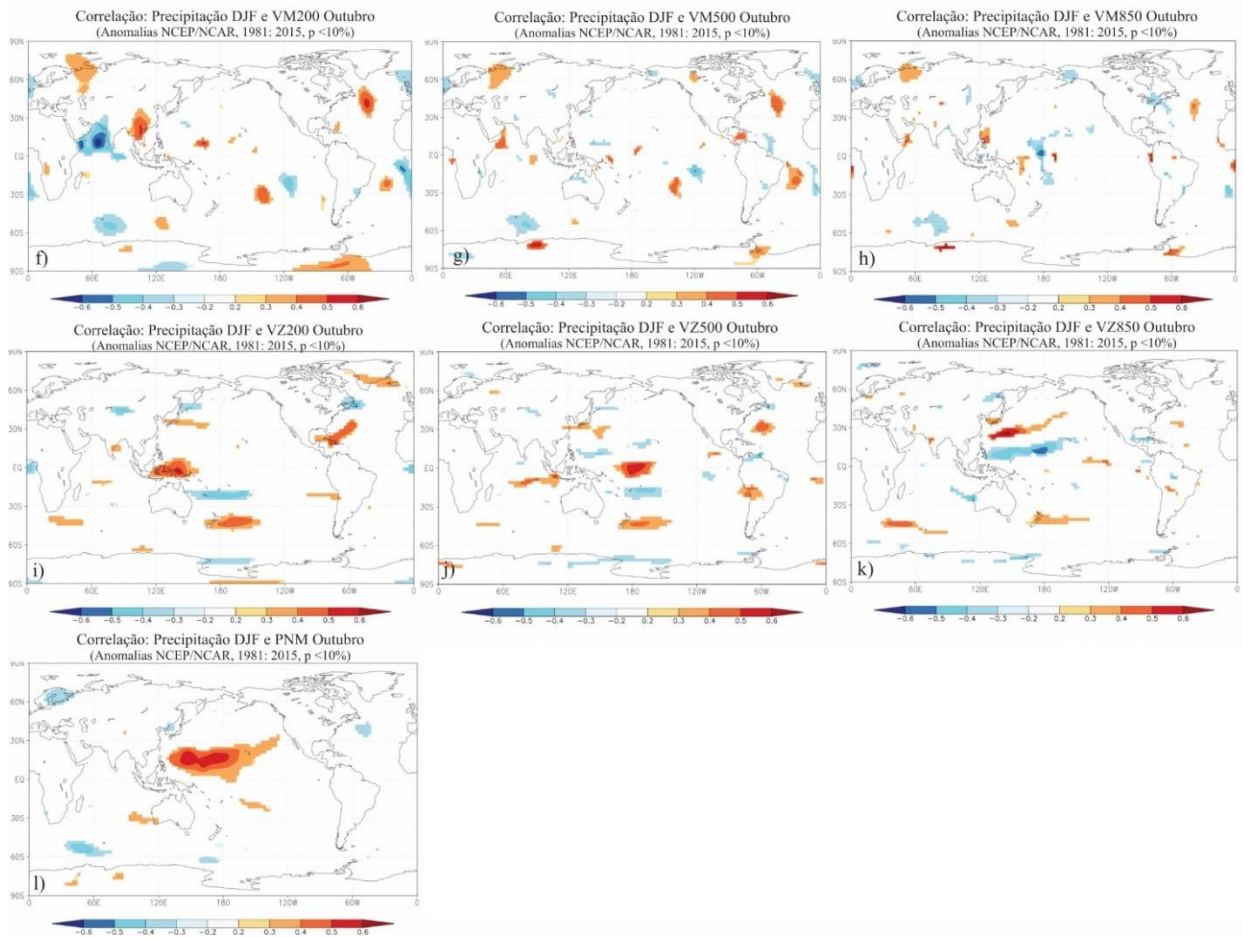
pluviométricos na costa central do Peru. As Figuras 6.2.c, 6.2.d e 6.2.e mostram correlações entre anomalias de precipitação da costa central do Peru para DJF e as anomalias de altura geopotencial. Em níveis médios (500hPa) e baixos (850hPa) correlações positivas são mostradas para o norte da Austrália e oeste de Pacífico equatorial com valores superiores a 0,4 indicando associação positiva com precipitações da costa central do Peru, ou seja, o aumento (diminuição) da pressão nessas regiões durante eventos de El Niño (La Niña) associam-se a condições de excesso (déficit) de precipitação da costa central do Peru. Em relação aos valores de ventos meridionais e zonais as correlações das Figuras 6.2.f a 6.2.k não mostram sinais claros para a precipitação da costa central do Peru. A Figura 6.2.l referente a variável pressão ao nível médio do mar PNM mostra correlações positivas mais expressivas no oeste do Pacífico equatorial, entre 120E e 150W de longitude e 20N em latitude, com valores superiores a 0.4, e estão associados aos anos do El Niño (La Niña), ou seja, o aumento (diminuição) de pressão nesta região em associação ao aumento(redução) das precipitações na costa central do Peru.

Figura 6.2: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Costa Central” do Peru.



continua

Figura 6.2: Conclusão.



a) Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Costa Central” do Peru (Indicado em amarelo no painel superior esquerdo da figura). Correlação entre as anomalias de precipitação de dezembro a fevereiro (DJF) para o setor de “Costa Central” e as anomalias de b) TSM de ERSST V5, c) AG 200hPa, d) AG 500hPa, e) AG 850hPa, f) VM 200hPa, g) VM 500hPa, h) VM 850hPa, i) VZ 200hPa, j) VZ 500hPa, k) VZ 850hPa e l) PNM do mês de outubro anterior durante o período de 1981 a 2015 do NCEP/NCAR. Os valores de correlação indicados em cores nos mapas foram identificados como estatisticamente significativos e diferentes de zero ao nível de significância de 10%

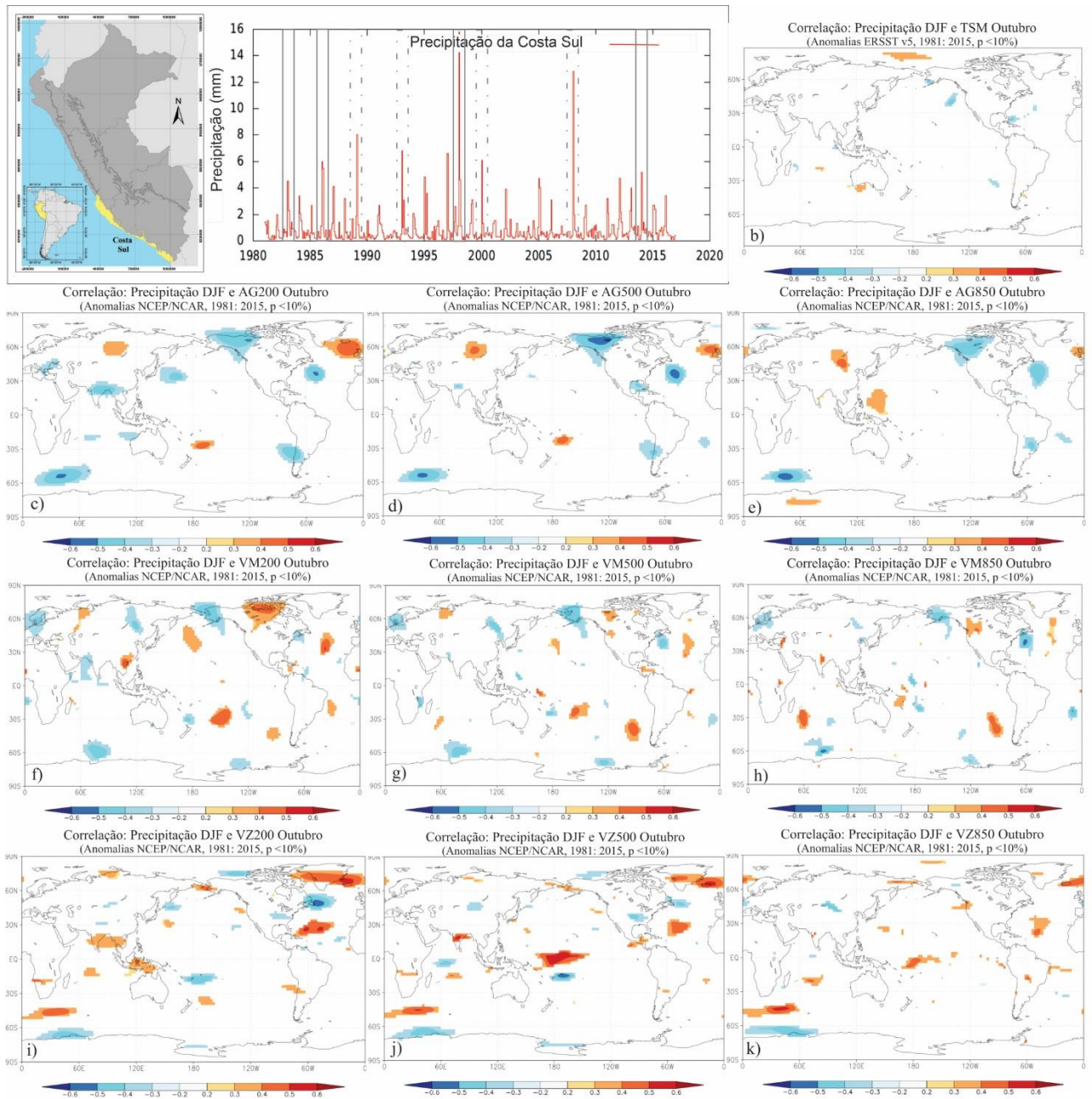
Fonte: Produção do autor.

As variáveis que apresentaram as mais relevantes correlações com a precipitação do setor costa central do Peru foram PNM, AG850 e TSM.

### 6.1.3. Costa Sul

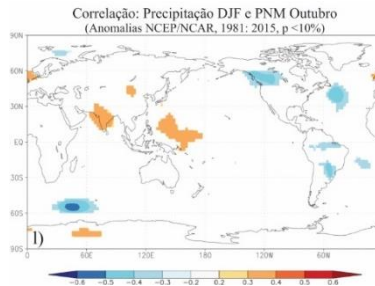
A Figura 6.3, mostra no painel a) a serie temporal de precipitação para a costa sul do Peru (linha vermelha), onde alguns eventos de precipitação mais marcantes foram os anos dos eventos extraordinários de El Niño de 1983 e 1998 (em linhas de cor cinza continuas), bem como os anos de El Niño moderados de 1986, 2007 e o El Niño fraco de 2014. Nos anos de La Niña de 1989, 1993, 2000 e 2008 mostrados com linhas seccionadas, os valores de precipitação não ultrapassaram os 16mm. Os mapas dos painéis seguintes da figura mostram as correlações entre a serie temporal das anomalias de precipitação para DJF na costa Sul do Peru com diferentes variáveis oceânicas e atmosféricas observadas no mês de outubro anterior ao período DJF. Na Figura 6.3.b referente as correlações entre as anomalias de TSM (ERSSTv5) e as anomalias de precipitação da costa sul do Peru não foram encontradas correlações significativas. Para a variável altura geopotencial (Figuras 6.3.c, 6.3.d e 6.3.e) mostra-se que existem correlações ligeiramente positivas em médios (500hPa) e altos (200hPa) níveis no extremo nordeste do Oceano Atlântico (Islândia), e em níveis baixos (850hPa) no extremo oeste do Pacífico equatorial com valores positivo acima de 0,2 que podem influenciar as chuvas na costa sul do Peru. Em relação aos ventos meridionais Figuras 6.3.f, 6.3.g e 6.3.h, pequenas correlações positivas em altos níveis(200hPa) são observadas no norte do Canadá que podem influenciar as precipitações na costa sul, e em níveis médios(500hPa) e baixos (850hPa) níveis não há correlações significativas. Para a variável vento zonal (Figuras 6.3.i, 6.3.j e 6.3.k) foram identificadas em níveis altos(200hPa) correlações positivas na indonésia associadas a ventos anômalos de oeste(leste), ou seja, em anos de El Niño (La Niña), os ventos anômalos de oeste (leste) nesta região estão relacionados com a elevação (redução) das precipitações leves da costa sul do Peru.

Figura 6.3: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Costa Sul” do Peru.



continua

Figura 6.3: Conclusão.



a) Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Costa Sul” do Peru (Indicado em amarelo no painel superior esquerdo da figura). Correlação entre as anomalias de precipitação de dezembro a fevereiro (DJF) para o setor de “Costa Sul” e as anomalias de b) TSM de ERSST V5, c) AG 200hPa, d) AG 500hPa, e) AG 850hPa, f) VM 200hPa, g) VM 500hPa, h) VM 850hPa, i) VZ 200hPa, j) VZ 500hPa, k) VZ 850hPa e l) PNM do mês de outubro anterior durante o período de 1981 a 2015 do NCEP / NCAR. Os valores de correlação indicados em cores nos mapas foram identificados como estatisticamente significativos e diferentes de zero ao nível de significância de 10%

Fonte: Produção do autor.

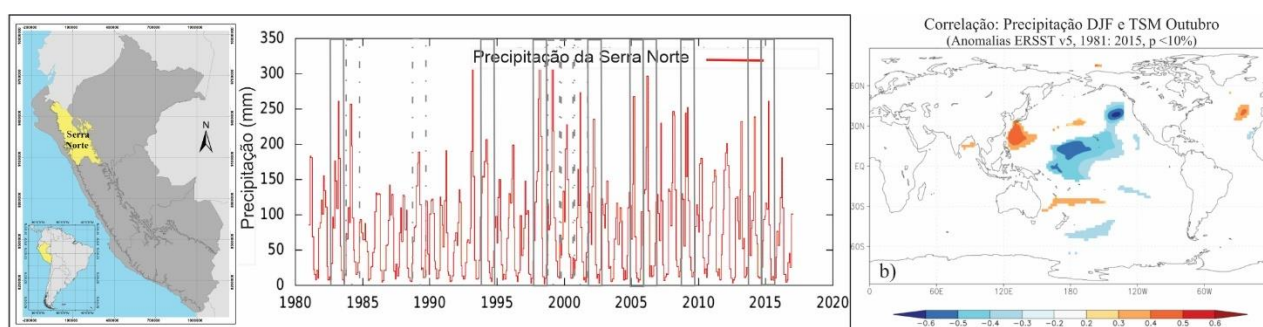
Em médios (500hPa) e baixos (850hPa) níveis, foi identificado sobre o Pacífico equatorial central e ocidental correlações positivas (negativas) entre os ventos zonais anômalos de oeste (leste) e a precipitação na costa sul do Peru, sugerindo que em anos de El Niño (La Niña) a precipitação da costa sul do Peru tende a aumentar (diminuir). Na Figura 6.3.l. da pressão média ao nível do mar, as regiões de correlação positiva com as precipitações da costa sul do Peru, estão localizadas no extremo noroeste do Oceano Pacífico equatorial e sul da Ásia. As variáveis com maior correlação para este setor são: VZ200 e PNM.

#### 6.1.4. Serra Norte

Para o setor da Serra Norte a Figura 6.4 mostra no painel a) a serie temporal de precipitação (linha vermelha). Destacam-se os anos extraordinários de El Niño de 1983 e 1998 que excedem 250 mm além dos anos de El Niño moderados de 1994, 2002, 2009, 2014 e 2015 que excedem 150 mm por mês e os anos de El Niño fraco de 2005 e 2006, todos destacados com linhas em cor cinza. Os mapas dos painéis seguintes da figura mostram as correlações das anomalias de

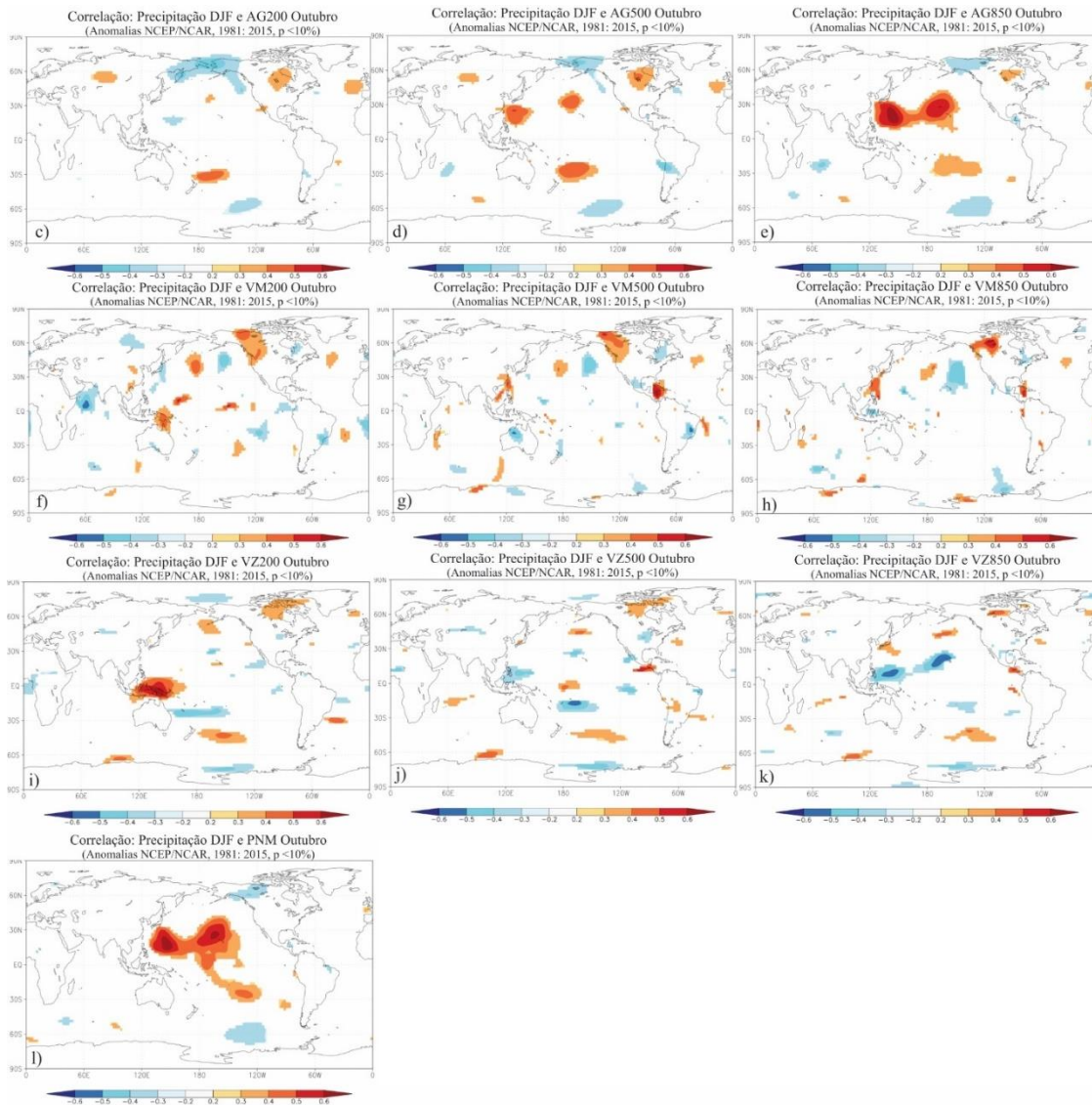
precipitação para DJF da Serra Norte do Peru e as diferentes variáveis oceânicas e atmosféricas. A Figura 6.4.b, indica associação negativa entre as anomalias da TSM(ERSSTv5) do Pacífico ocidental com anomalias de precipitação sobre a Serra Norte do Peru. Em outras palavras, o resfriamento (aquecimento) do oceano Pacífico ocidental tende a ocorrer em consistência com o aumento (diminuição) dos índices pluviométricos na Serra Norte do Peru. A Figura 6.4.c, 6.4.d e 6.4.e apresenta as correlações entre as anomalias de precipitação da Serra Norte do Peru com as anomalias de altura Geopotencial. Em baixos (850hPa) e médios (500hpa) níveis encontraram-se correlações positivas nas latitudes 30N e 30S do centro oeste do Pacífico tropical sugerindo associação de aumento (diminuição) da pressão nessas regiões e condições de excesso (déficit) de precipitação no setor da Serra Norte do Peru. Com relação aos ventos meridionais, as Figuras 6.4.f, 6.4.g e 6.4.h, mostram correlações positivas entre a precipitação da Serra Norte e o vento meridional no noroeste do Canadá nos três níveis, assim como sobre a região da América Central em médios (500hPa) e baixos (850hPa) níveis; as Figuras 6.4.i, 6.4.j e 6.4.k apresentam as correlações entre as anomalias de ventos zonais e as anomalias de precipitação da Serra Norte de Peru.

Figura 6.4: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Serra Norte” do Peru.



continua

Figura 6.4: Conclusão.



a) Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Serra Norte” do Peru (Indicado em amarelo no painel superior esquerdo da figura). Correlação entre as anomalias de precipitação de dezembro a fevereiro (DJF) para o setor de “Serra Norte” e as anomalias de b) TSM de ERSST V5, c) AG 200hPa, d) AG 500hPa, e) AG 850hPa, f) VM 200hPa, g) VM 500hPa, h) VM 850hPa, i) VZ 200hPa, j) VZ 500hPa, k) VZ 850hPa e l) PNM do mês de outubro anterior durante o período de 1981 a 2015 do NCEP / NCAR. Os valores de correlação indicados em cores nos mapas foram identificados como estatisticamente significativos e diferentes de zero ao nível de significância de 10%.

Fonte: Produção do autor.

Em altos (200hPa) níveis notam-se no extremo oeste do Pacífico equatorial correlações positivas dos ventos zonais que indicam associação de aumento

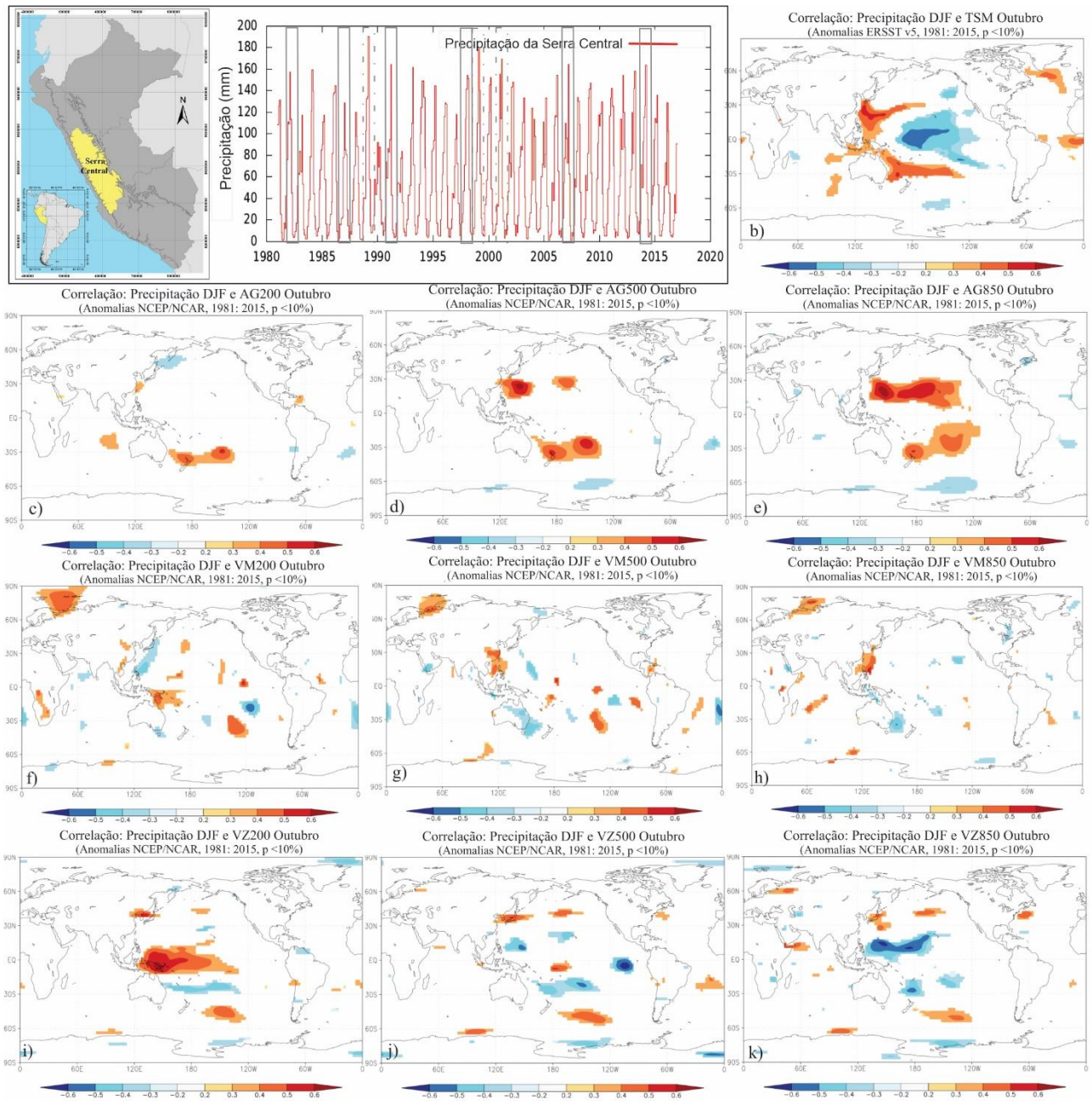


(diminuição) de precipitações na Serra Norte do Peru quando da manifestação e anomalias de ventos de oeste (leste) nessa região do Pacífico. Em baixos(850hPa) e médios (500hPa) níveis notam-se correlações negativas dos ventos zonais que indicam associação de aumento (diminuição) de precipitação na Serra Norte de Peru quando da manifestação de anomalias de ventos de leste (oeste) nessa região do Pacífico. A Figura 6.4.I. da pressão ao nível médio do mar PNM, mostra correlações positivas maiores que 0,4 no Pacífico equatorial central e ocidental com a precipitação da Serra Norte do Peru; ou seja, associam-se ao aumento (diminuição) da pressão em baixos níveis do Pacífico equatorial oeste e central durante eventos El Niño (La Niña) com o excesso (déficit) da precipitação na Serra Norte do Peru. Por tanto, as variáveis que apresentaram as melhores correlações positivas com as anomalias de precipitação da Serra Norte do Peru foram: PNM, AG850, VZ200, TSM e VZ850.

#### **6.1.5. Serra Central**

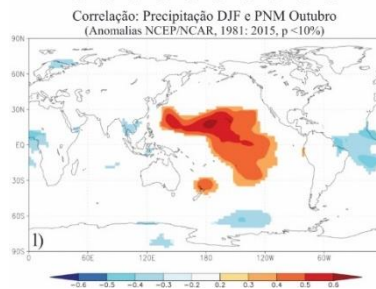
A Figura 6.5, apresenta no painel a) a serie temporal de precipitação sobre a Serra Central do Peru (Linha vermelha), onde alguns eventos extraordinários de El Niño como os de 1982-1983 e 1997-1998 excederam os 150 mm, e em os eventos moderados (1987, 1991 e 2007) e fracos de El Niño como o de 2014 as precipitações ultrapassaram os 160 mm, conforme mostra-se nas linhas contínuas e seccionadas de cor cinza. Os painéis seguintes mostram as correlações entre a serie temporal das anomalias de precipitação para DJF na Serra central do Peru e as diferentes variáveis oceânicas e atmosféricas observadas no mês de outubro anterior ao período DJF. A Figura 6.5.b, indica associação positiva das anomalias de TSM (ERSSTv5) ao norte da Australia e da Indonésia com as anomalias de precipitação da Serra Central do Peru; em outras palavras, consistência entre o aquecimento (resfriamento) do oceano nessas regiões e o aumento (diminuição) da precipitação na Serra Central do Peru. No entanto, o Pacífico equatorial central apresenta associações negativas com a precipitação da Serra Central do Peru.

Figura 6.5: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Serra Central” do Peru.



continua

Figura 6.5: Conclusão.



a) Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Serra Central” do Peru (Indicado em amarelo no painel superior esquerdo da figura). Correlação entre as anomalias de precipitação de dezembro a fevereiro (DJF) para o setor de “Serra Central” e as anomalias de b) TSM de ERSST V5, c) AG 200hPa, d) AG 500hPa, e) AG 850hPa, f) VM 200hPa, g) VM 500hPa, h) VM 850hPa, i) VZ 200hPa, j) VZ 500hPa, k) VZ 850hPa e l) PNM do mês de outubro anterior durante o período de 1981 a 2015 do NCEP / NCAR. Os valores de correlação indicados em cores nos mapas foram identificados como estatisticamente significativos e diferentes de zero ao nível de significância de 10%

Fonte: Produção do autor.

As Figuras 6.5.c, 6.5.d e 6.5.e mostram correlações entre as anomalias de precipitação no setor Serra Central do Peru com as anomalias de altura Geopotencial. Observa-se em níveis baixos (850hPa) as maiores correlações positivas entre as anomalias de altura geopotencial na região do Pacífico tropical oeste entre 30N e 30S e as anomalias de precipitação da Serra Central devido ao aumento(diminuição) da pressão em baixo nível nessas regiões em anos La Niña (El Niño) associadas a condições de excesso (déficit) de precipitação no setor da Serra Central do Peru. Em níveis médios (500hPa) e altos (200hPa) as correlações são positivas e reduzidas no Pacífico Norte e Sul. Em relação aos ventos meridionais em 200hPa, 500hPa e 850hPa, as correlações apresentadas nas Figuras 6.5.f, 6.5.g, 6.5.h, não mostram padrões de destaque associados a precipitação na Serra Central do Peru nos três níveis investigados. A análise de ventos zonais releva correlação positiva com a precipitação da Serra Central (Figuras 6.5.i, 6.5.j e 6.5.k) em níveis altos (200hPa) sugerindo divergência dos ventos na região da Indonésia e oeste do Pacífico equatorial e associação positiva (negativa) e aumento (diminuição) de precipitação da Serra Central do Peru em anos La Niña (El Niño). Em baixos níveis (850hPa) a análise sugere

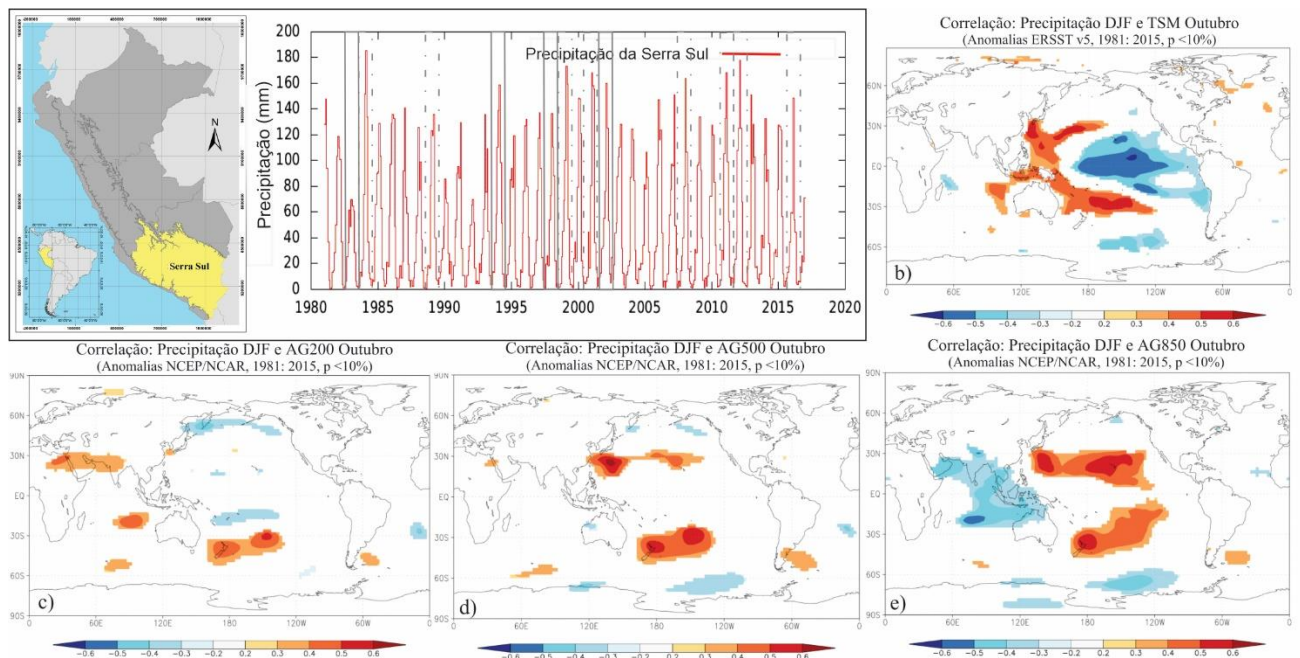
convergência de ventos sobre a região da Indonésia e associação negativa com a precipitação da Serra Central do Peru. Na Figura 6.5.I. as correlações da pressão ao nível médio do mar com a precipitação da Serra Central do Peru são positivas no Pacífico central intertropical com valores superiores a 0.4, sugerindo consistência entre o aumento da pressão nessa região e o aumento (diminuição) das precipitações da Serra Central do Peru em anos La Niña (El Niño). No Oceano Atlântico equatorial as correlações são negativas sugerindo que o aumento (diminuição) das anomalias de pressão ao nível médio do mar nessa região é consistente com a redução (aumento) da precipitação na Serra Central do Peru. As variáveis que apresentaram as maiores correlações com as anomalias de precipitação da Serra Central são: PNM, AG850, TSM, VZ200 e VZ850.

#### **6.1.6. Serra Sul**

A Figura 6.6 mostra no painel a) a serie temporal de precipitação da Serra Sul do Peru (Linha vermelha), onde são destacados com as linhas contínuas em cor cinza os anos de El Niño de 1983, 1994, 1998 e 2002, que registraram os máximos valores de precipitação mensal acumulada da ordem de 150mm, e com as linhas em cor cinza seccionadas os anos de La Niña de 1984, 1989, 1999, 2001, 2008, 2011, 2012 e 2016, que na maioria dos anos ultrapassou os 150mm. Os mapas dos painéis seguintes mostram as correlações entre a serie temporal das anomalias de precipitação para DJF na Serra Sul do Peru e as variáveis oceânicas e atmosféricas do mês de outubro anterior ao período DJF. A Figura 6.6.b, mostra correlação negativa entre as anomalias de TSM (ERSSTv5) no Pacífico equatorial central e oriental e a precipitação na Serra Sul do Peru, ou seja, apresentaram uma relação de aumento (diminuição) dos índices pluviométricos na Serra Sul para anos La Niña (El Niño) associadas ao resfriamento (aquecimento) da TSM no Pacífico equatorial central e oriental. Entretanto, para a região do Oceano Pacífico ocidental, na Indonésia, e no leste do Oceano Índico, as correlações são positivas, sugerindo uma relação oposta a descrita acima para os padrões de precipitação na Serra Sul do Peru. As

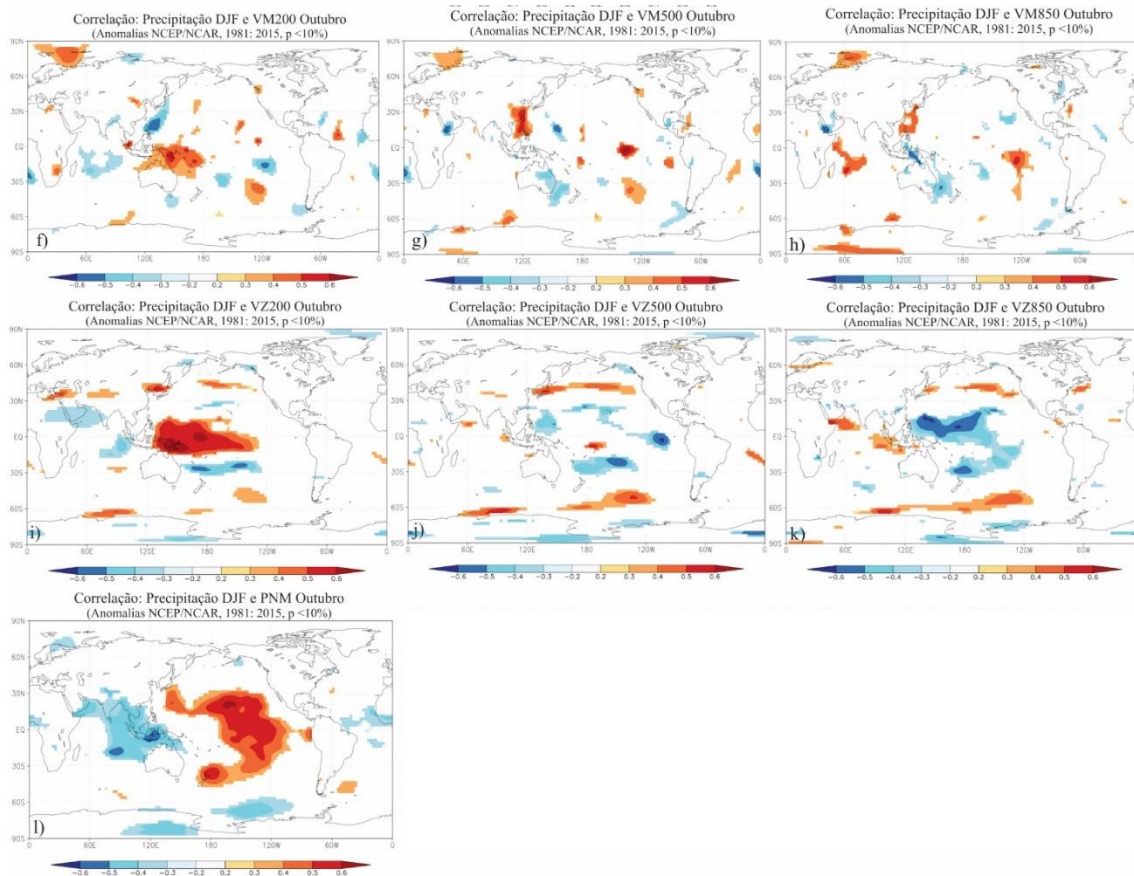
Figuras, 6.6.c, 6.6.d e 6.6.e, mostram as correlações entre as anomalias de altura geopotencial com as anomalias de precipitação sobre a Serra Sul do Peru. Em baixos (850hPa) níveis para a região do Pacífico intertropical em 30N e 30S encontraram-se correlações positivas sugerindo associações positivas com a precipitação da Serra Sul do Peru. No entanto, ao norte de Australia, nordeste do oceano indico e na indonésia apresentaram-se correlações negativas com precipitação do setor Serra sul do Peru. Em altos (200hPa) níveis, sobre o Oceano Índico, são notadas correlações opostas às descritas para os baixos níveis. As Figuras 6.6.f, 6.6.g e 6.6.h mostram as correlações entre a precipitação da Serra Sul com os ventos meridionais. Em altos (200hPa) níveis na região do Pacífico equatorial ocidental e Indonésia são identificadas correlações positivas com anomalias de ventos do sul (norte) nessa região associados ao aumento (diminuição) da precipitação na região da Serra Sul do Peru.

Figura 6.6: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Serra Sul” do Peru.



continua

Figura 6.6: Conclusão.



a) Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Serra Sul” do Peru (Indicado em amarelo no painel superior esquerdo da figura). Correlação entre as anomalias de precipitação de dezembro a fevereiro (DJF) para o setor de “Serra Sul” e as anomalias de b) TSM de ERSST V5, c) AG 200hPa, d) AG 500hPa, e) AG 850hPa, f) VM 200hPa, g) VM 500hPa, h) VM 850hPa, i) VZ 200hPa, j) VZ 500hPa, k) VZ 850hPa e l) PNM do mês de outubro anterior durante o período de 1981 a 2015 do NCEP / NCAR. Os valores de correlação indicados em cores nos mapas foram identificados como estatisticamente significativos e diferentes de zero ao nível de significância de 10%.

Fonte: Produção do autor.

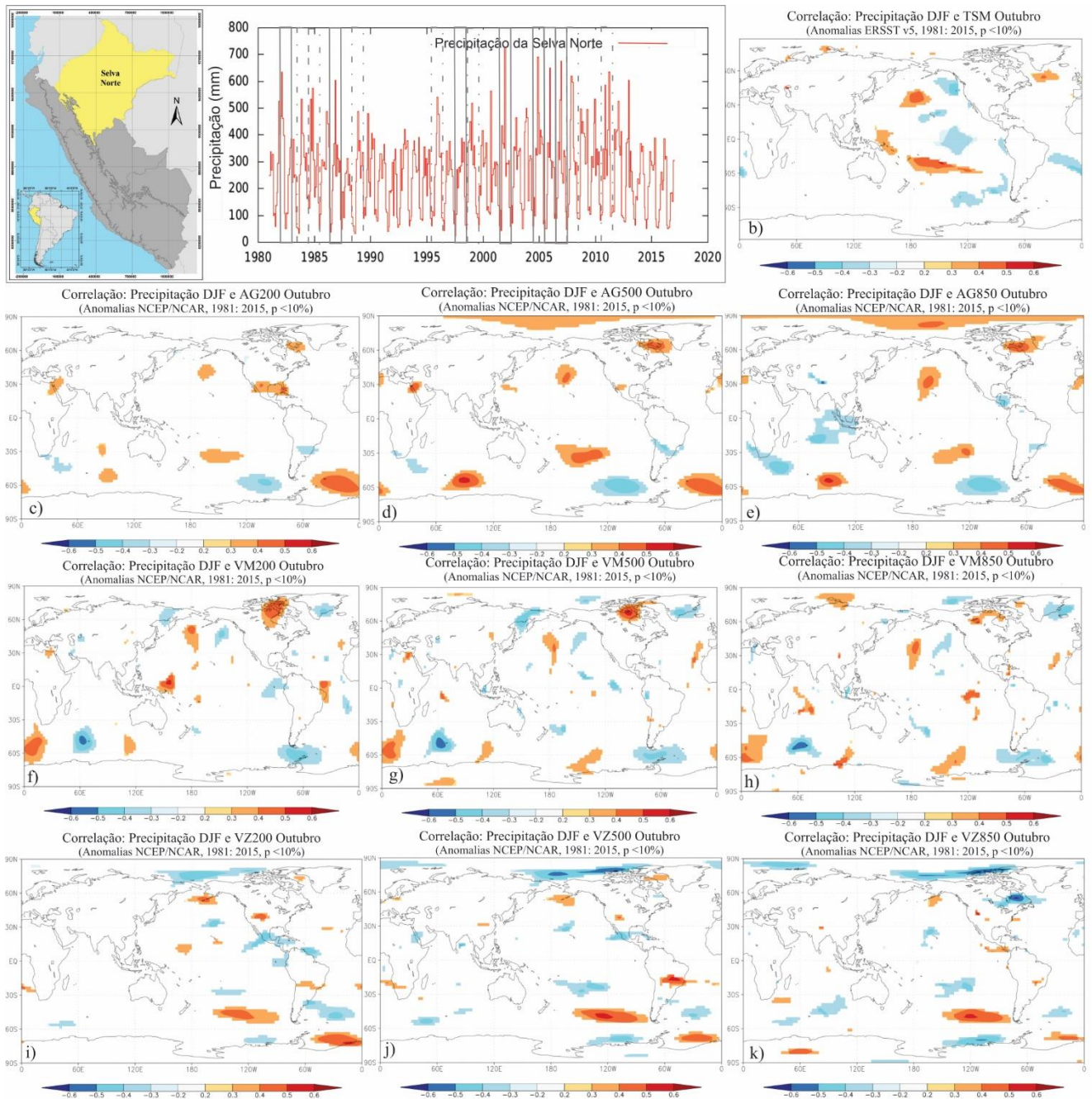
Em médios (500hPa) e baixos (850hPa) níveis são identificadas correlações negativas sobre essas regiões, sugerindo relação de associação oposta com a precipitação no setor Serra Sul do Peru as descritas para os baixos níveis. Para os ventos zonais (Figura 6.6.i, 6.6.j e 6.6.k) as correlações com a precipitação da Serra sul do Peru, mostram valores positivos no Pacífico equatorial central, ocidental e região da Indonésia nos altos níveis (200hPa). Essa relação sugere

que durante eventos de La Niña (El Niño) no Pacífico ocidental predominam anomalias de ventos de oeste (leste) em altos níveis em associação ao aumento (diminuição) da precipitação na Serra Sul do Peru. Em médios (500hPa) e baixos (850hPa) níveis, os padrões de correlação de vento zonal com anomalias de precipitação na Serra Sul do Peru mostraram-se opostos ao descrito para os altos níveis, com ventos do leste na região da Indonésia e o Pacífico equatorial ocidental em associação ao aumento (diminuição) da precipitação na região da Serra Sul do Peru durante eventos de La Niña (El Niño). Para a variável pressão ao nível médio do mar (Figura 6.6.I) destacam-se correlações positivas com a precipitação da região Serra Sul do Peru, em grande parte do Pacífico equatorial central intertropical com valores superiores a 0,4, o que sugere associação positiva (negativa) entre as anomalias positivas (negativas) de pressão dessas regiões do Pacífico com o aumento (diminuição) da precipitação da Serra Sul do Peru em anos La Niña (El Niño). As variáveis que apresentam as maiores correlações com as anomalias de precipitação da Serra Sul do Peru foram TSM, AG850, PNM, VZ200 e VZ850.

#### **6.1.7. Selva Norte**

A Figura 6.7 mostra no painel a) a série temporal de precipitação para a selva norte do Peru (linha vermelha), com valores de precipitação superiores a 700mm para os anos de El Niño moderados em 1987, 2002 e 2005, e entre 500mm e 600mm para os anos de El Niño de 1982-1983 e 1998 considerados extraordinários, e também para os anos de El Niño fraco de 2006 e 2007, todos destacados com as linhas contínuas em cor cinza. Os anos de La Niña de 1984, 1985, 1989, 1996, 1999, 2008 e 2011 são destacados pelas linhas seccionadas em cor cinza.

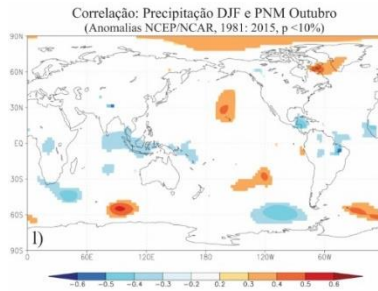
Figura 6.7: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Selva Norte” do Peru.



continua



Figura 6.7: Conclusão.



a) Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Selva Norte” do Peru (Indicado em amarelo no painel superior esquerdo da figura). Correlação entre as anomalias de precipitação de dezembro a fevereiro (DJF) para o setor de “Selva Norte” e as anomalias de b) TSM de ERSST V5, c) AG 200hPa, d) AG 500hPa, e) AG 850hPa, f) VM 200hPa, g) VM 500hPa, h) VM 850hPa, i) VZ 200hPa, j) VZ 500hPa, k) VZ 850hPa e l) PNM do mês de outubro anterior durante o período de 1981 a 2015 do NCEP / NCAR. Os valores de correlação indicados em cores nos mapas foram identificados como estatisticamente significativos e diferentes de zero ao nível de significância de 10%

Fonte: Produção do autor.

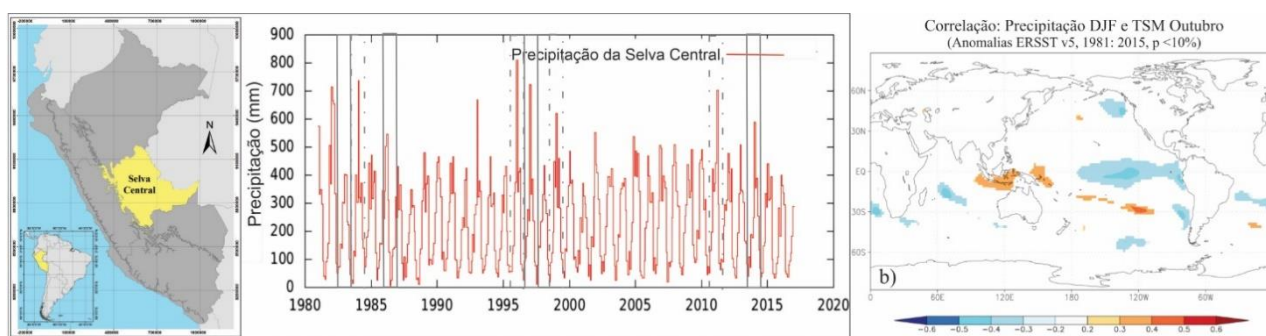
A Figura 6.7.b. mostra correlações positivas (entre 0.2 e 0.4) no extremo oeste do Pacífico equatorial e correlações negativas (entre -0.2 e -0.4) entre as anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) e as anomalias de precipitação da Selva Norte do Peru no Pacífico equatorial central e oriental. Ou seja, o aumento (diminuição) da precipitação na selva norte do Peru associa-se ao resfriamento (aquecimento) da porção central do Pacífico e ao aquecimento (resfriamento) da região do extremo oeste do Pacífico equatorial durante a miniestação e eventos de La Niña (El Niño). As Figuras 6.7.c, 6.7.d e 6.7.e mostram correlações entre as anomalias de precipitação na Selva Norte do Peru com as anomalias de altura geopotencial. Em baixos níveis (850hPa) são identificadas correlações negativas na porção nordeste do oceano Índico, e Indonésia. Ou seja, a diminuição (aumento) da pressão em baixos níveis dessas regiões associam-se com o excesso (déficit) de precipitação na Selva Norte do Peru. Em relação aos ventos meridionais e zonais em altos (200hPa), médios (500hPa) e baixos (850hPa) níveis, as correlações apresentadas nas Figuras 6.7.f, 6.7.g, 6.7.h e Figuras 6.7.i, 6.7.j e 6.7.k, não mostram padrões de destaque associados à precipitação da selva norte do Peru.

Para a variável pressão ao nível médio do mar PNM, a Figura 6.7.I. mostra correlações negativas na região da Indonésia, sugerindo que a diminuição (aumento) de pressão superficial associa-se ao excesso (déficit) de precipitação no setor da Selva Norte do Peru. As variáveis que se destacaram apresentando algum padrão de correlação com a precipitação da Selva Norte do Peru foram TSM, AG850 e PNM.

### 6.1.8. Selva Central

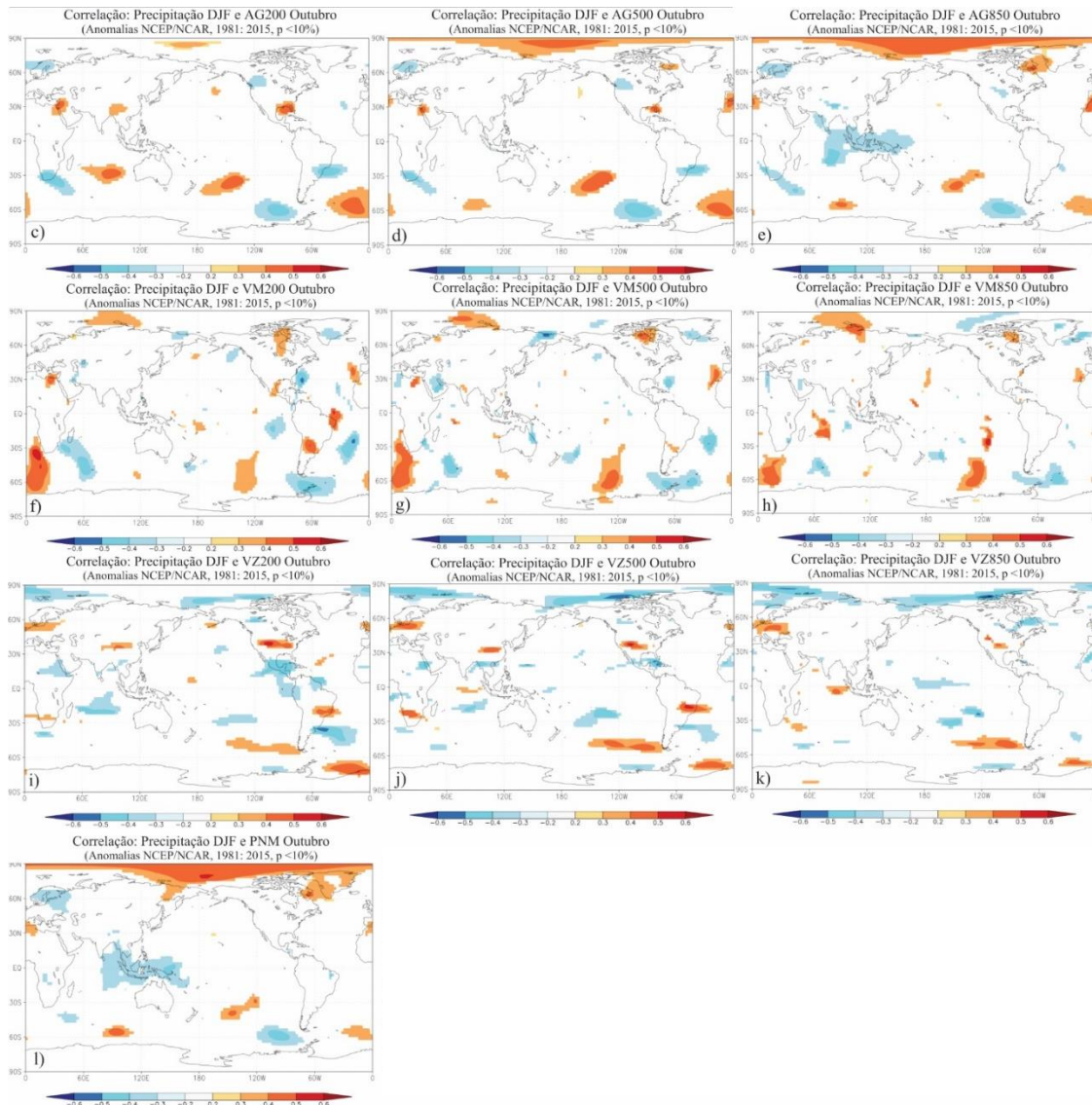
A Figura 6.8, mostra no painel a) a série temporal de precipitação para a selva central do Peru (linha vermelha), com as linhas contínuas em cor cinza destacando os anos de El Niño extraordinários de 1983, 1997, além dos anos 1987 e 2014-2015, com as linhas seccionadas e em cor cinza os anos de La Niña de 1984, 1996, 1999 e 2011. Os mapas seguintes mostram as correlações entre a série temporal das anomalias de precipitação para os meses DJF na selva central do Peru e diferentes variáveis oceânicas e atmosféricas no mês de outubro anterior ao período DJF.

Figura 6.8: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Selva Central” do Peru.



continua

Figura 6.8: Conclusão.



a) Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Selva Central” do Peru (Indicado em amarelo no painel superior esquerdo da figura). Correlação entre as anomalias de precipitação de dezembro a fevereiro (DJF) para o setor de “Selva Central” e as anomalias de b) TSM de ERSST V5, c) AG 200hPa, d) AG 500hPa, e) AG 850hPa, f) VM 200hPa, g) VM 500hPa, h) VM 850hPa, i) VZ 200hPa, j) VZ 500hPa, k) VZ 850hPa e l) PNM do mês de outubro anterior durante o período de 1981 a 2015 do NCEP / NCAR. Os valores de correlação indicados em cores nos mapas foram identificados como estatisticamente significativos e diferentes de zero ao nível de significância de 10%

Fonte: Produção do autor.

A Figura 6.8.b mostra correlações negativas entre as anomalias da TSM (ERSSTv5) na região do Pacífico equatorial central e oriental e as anomalias de

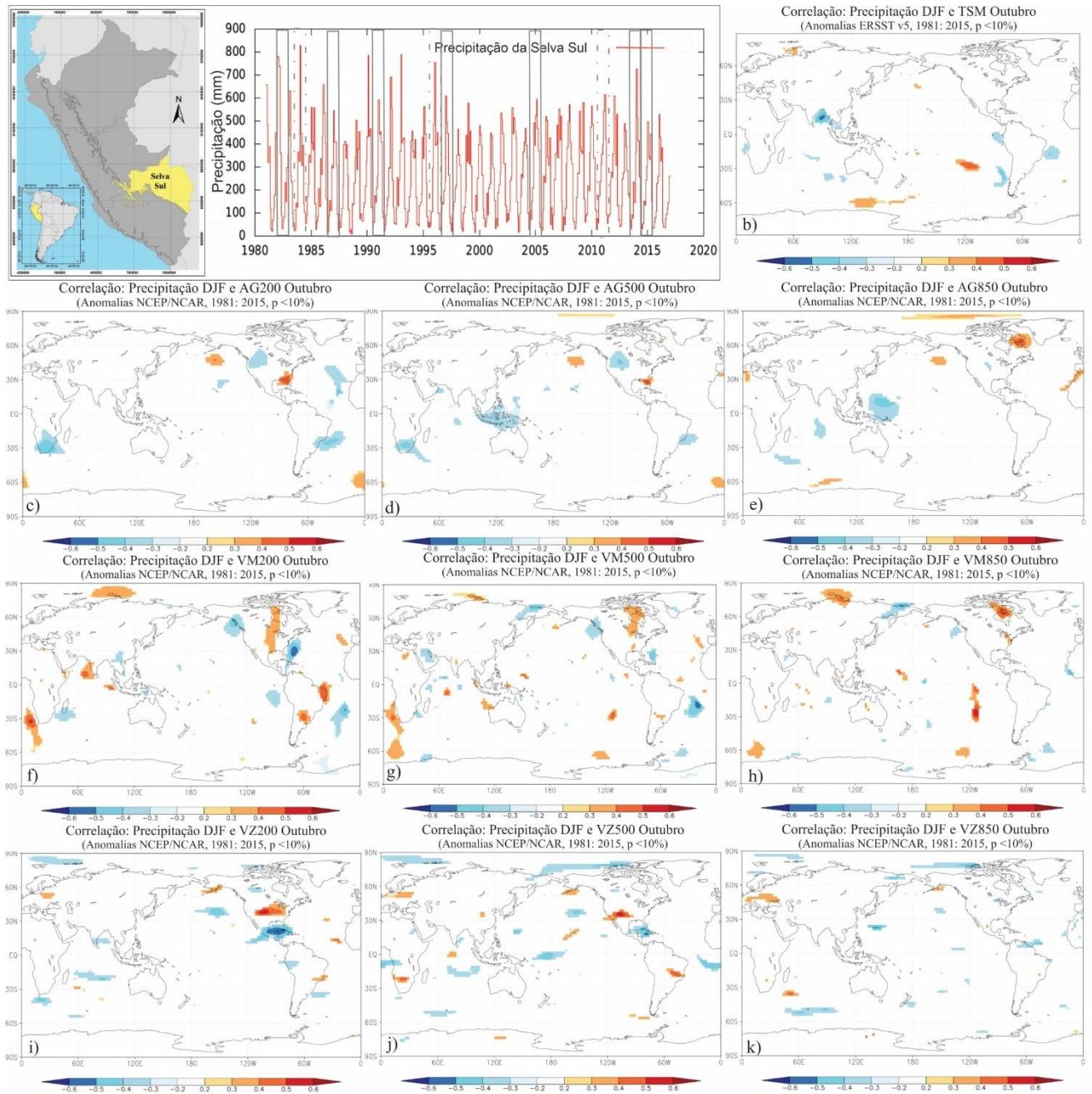
precipitação na selva central do Peru, sugerindo aumento (diminuição) da precipitação na selva central do Peru em anos de La Niña (El Niño). No entanto, em regiões como a Indonésia as correlações mostraram-se positivas. As Figuras 6.8.c, 6.8.d e 6.8.e apresentam as correlações entre as anomalias de precipitação no setor da selva central do Peru e as anomalias de altura geopotencial. Por exemplo em níveis baixos (850hPa) na Indonésia e nordeste do oceano Índico são identificadas correlações negativas, sugerindo que a redução (aumento) da pressão em níveis baixos na região da Indonésia associa-se ao aumento (diminuição) da precipitação na Selva Central do Peru. Em altos (200hPa) e médios (500hPa) níveis não foram encontradas regiões com correlações de destaque. Em relação aos ventos meridionais, as Figuras 6.8.f, 6.8.g e 6.8.h para os altos (200hPa), médios (500hPa) e baixos(850hPa) níveis, não mostram padrões de destaque associados a precipitação na selva central do Peru. Para a variável do vento zonal as Figuras 6.8.i, 6.8.j e 6.8.k das correlações com a precipitação da selva central do Peru, mostram em altos (200hPa) níveis sobre o oceano Índico correlações negativas e ligeiramente positivas no Pacífico equatorial oeste. Em baixos (850hPa) níveis esse padrão sobre o oceano Índico e Pacífico Oeste, embora que deslocado mostra-se com sinal oposto. Esta configuração é consistente com o padrão de convergência (divergência) de ventos zonais em baixos (altos) níveis na região da Indonésia comumente notado em anos de La Niña (El Niño) fortalecendo (reduzindo) as precipitações da selva central do Peru.

A mapa de correlação para a variável anomalia de pressão ao nível médio do mar PNM mostrado na Figura 6.8.l apresenta correlações negativas na região da Indonésia, oeste do oceano Pacífico equatorial central e nordeste do oceano Índico, sugerindo que o aumento (diminuição) da pressão nessas regiões em anos de El Niño (La Niña) associa-se com a diminuição (aumento) da precipitação na Selva Central do Peru. As variáveis que apresentaram os padrões de correlação de maior destaque com a precipitação da região da Selva Central do Peru foram a TSM e AG850.

### 6.1.9. Selva Sul

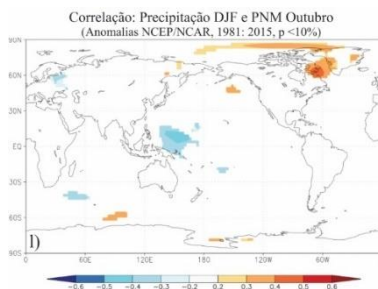
A Figura 6.9 mostra em a) a série temporal de precipitação da selva sul do Peru (linha vermelha), com as linhas contínuas em cor cinza destacando os anos de El Niño extraordinário de 1982-1983 e 1997, assim como os anos de El Niño moderado de 1987, 1991 e os anos de El Niño fracos de 2005, 2014 e 2015 com valores acima de 600 mm. Os anos de La Niña moderadas de 1984, 1996 e 2011 e de condições neutras como 1990 e 1993, excederam os 700 mm. Os mapas seguintes apresentam as correlações entre a série temporal de precipitação para DJF na Selva Sul do Peru e diferentes variáveis oceânicas e atmosféricas do mês de outubro anterior ao período DJF. A Figura 6.9.b das correlações entre a TSM (ERRSST) e a precipitação da Selva Sul não apresenta um padrão de destaque. Em relação à variável altura geopotencial, as Figuras 6.9.c, 6.9.d e 6.9.e mostram correlações negativas em médios (500hPa) e baixos (850hPa) níveis, com valores entre -0,2 e -0.5 sobre as regiões da Indonésia e do extremo oeste do Pacífico equatorial. Ou seja, a redução (aumento) da pressão na região da Indonésia e do Pacífico equatorial oeste associam-se ao aumento (diminuição) das precipitações da Selva Sul. Em altos níveis (200hPa) não foram encontrados sinais de destaque. Da mesma forma, para os ventos meridionais (Figuras 6.9.f, 6.9.g e 6.9.h) e zonais (Figuras 6.9.i, 6.9.j e 6.9.k) para os altos (200hPa), médios (500hPa) e baixos (850hPa) níveis não foram identificados padrões de destaque associados à precipitação na Selva Sul do Peru. O mapa de correlação para a variável PNM mostrado na Figura 6.9.l ilustra um padrão semelhante ao da Figura 6.9.e para a variável altura geopotencial em 850hPa. As variáveis que apresentam os padrões de correlação de maior destaque com a precipitação da Selva Sul são AG850 e PNM.

Figura 6.9: Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Selva Sul” do Peru.



continua

Figura 6.9: Conclusão.



a) Série temporal de precipitação com dados PISCO v2.0, para a região da “Selva Sul” do Peru (Indicado em amarelo no painel superior esquerdo da figura). Correlação entre as anomalias de precipitação de dezembro a fevereiro (DJF) para o setor de “Selva Sul” e as anomalias de b) TSM de ERSST V5, c) AG 200hPa, d) AG 500hPa, e) AG 850hPa, f) VM 200hPa, g) VM 500hPa, h) VM 850hPa, i) VZ 200hPa, j) VZ 500hPa, k) VZ 850hPa e l) PNM do mês de outubro anterior durante o período de 1981 a 2015 do NCEP / NCAR. Os valores de correlação indicados em cores nos mapas foram identificados como estatisticamente significativos e diferentes de zero ao nível de significância de 10%.

Fonte: Produção do autor.

A Tabela 6.1 mostra o resumo dos preditores atmosféricos e oceânicos que apresentaram os padrões de correlação (marcada em X) de maior destaque na análise e descrição, das seções anteriores dos padrões físicos mais influentes para a precipitação dos nove setores do Peru aqui estudados (Costa Norte, Costa Central, Costa Sul, Serra Norte, Serra Central, Serra Sul, Selva Norte, Selva Central e Selva Sul).

Tabela 6.1: Preditores oceânicos e atmosféricos mais representativos por setores no Peru.

	TSM	AG200	AG500	AG850	VM200	VM500	VM850	VZ200	VZ500	VZ850	PNM
Costa Norte	X	-	-	X	-	-	-	X	-	X	X
Costa Central	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X
Costa Sul	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X
Serra Norte	X	-	-	X	-	-	-	X	-	X	X
Serra Central	X	-	-	X	-	-	-	X	-	X	X
Serra Sul	X	-	-	X	-	-	-	X	-	x	X
Selva Norte	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X
Selva Central	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Selva Sul	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X

Fonte: Produção do autor.

Os preditores mais recorrentes determinados na tabela 6.1 são a Temperatura da Superfície do Mar (TSM), altura geopotencial em níveis baixos (AG850), pressão média ao nível do mar (PNM) e ventos zonais em níveis altos (VZ200) e baixos (VZ850).

## 6.2. Análise de correlação canônica entre preditores oceânicos e atmosféricos e a precipitação sobre o Peru

A ACC entre os preditores oceânicos e atmosféricos selecionados na Seção 6.1 do mês de outubro anterior ao período DJF e a precipitação sobre o Peru para o período da estação DJF foi realizada para o domínio de latitudes entre 45 graus norte e 45 graus sul, incluindo toda a faixa longitudinal terrestre de cada preditor, com o objetivo de encontrar os modos canônicos (padrões espaciais e associadas séries temporais) que melhor representam a relação entre as

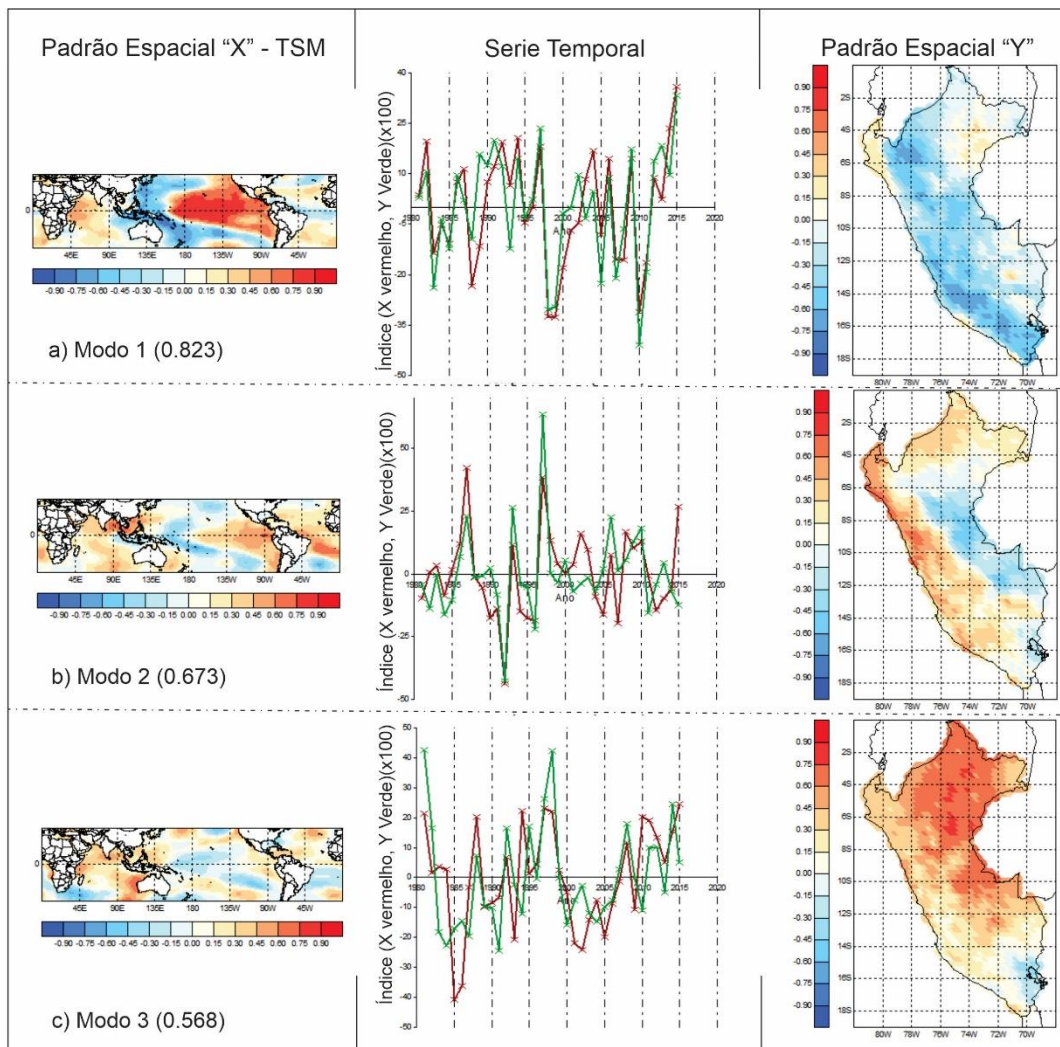


variáveis preditoras e a precipitação. Os resultados encontrados são mostrados nas sub seções seguintes.

### **6.2.1. ACC entre TSM e Precipitação sobre o Peru**

A Figura 6.10, mostra os padrões espaciais e séries temporais associadas dos modos de ACC entre a TSM do mês de outubro anterior a DJF e a precipitação sobre o Peru em DJF. O padrão espacial do primeiro modo (painel da esquerda da Figura 6.10.a) que mostra a correlação entre a série temporal em vermelha (apresentada no painel central da Figura 6.10.a) e as anomalias de TSM em cada ponto de grade, destaca regiões com correlações positivas (vermelho) no Pacífico equatorial central e oriental, que associam-se com o padrão espacial de precipitação sobre o Peru (painel da direita da Figura 6.10.a), este último padrão determinado pela correlação entre a série temporal em verde (apresentada no painel central da Figura 6.10.a) e a precipitação em cada ponto da grade sobre o Peru. Ou seja, quando a TSM do Pacífico equatorial central e oriental é elevada (reduzida) durante eventos de El Niño (La Niña) a precipitação tende a ser aumentada (reduzida) nas regiões em amarelo e laranja (azul) do Peru onde as correlações são positivas (negativas). Por exemplo, em setores como a Costa Norte, o norte da Costa Central, e sudeste da Selva Norte de Peru, que aparecem em amarelo e laranja a precipitação tende a ser aumentada (reduzida) durante eventos de El Niño (La Niña). Este primeiro modo apresenta a maior correlação canônica (0,823) entre as séries temporais associadas (linhas vermelhas e verdes apresentadas no painel central da Figura 6.10.a) aos padrões espaciais acima discutidos (apresentados nos painéis da direita e da esquerda da Figura 6.10.a), destacando-se os anos de El Niño de 1983 e de 1997 (El Niño) com os maiores valores positivos, e os anos de La Niña de 1999 e 2011 (La Niña) com os menores valores negativos dessas series.

Figura 6.10: Análise de Correlação Canônica entre a TSM de outubro anterior a DJF com a precipitação em DJF sobre o Peru, em seus três modos.



Análise de Correlação Canônica entre a TSM de outubro anterior a DJF com a precipitação em DJF sobre o Peru, em seus três modos: a) Modo 1, b) Modo 2 e c) Modo 3; com o padrão espacial "X" de correlação entre a série temporal (linha vermelha) e a TSM em cada ponto de grade (painéis esquerdos), as séries temporais associadas aos padrões espaciais (painéis do centro), e o padrão espacial "Y" de correlação entre a série temporal (linha verde) e a precipitação sobre o Peru (painéis da direita). Os números entre parênteses de cada modo representam os valores da correlação canônica entre as séries temporais mostradas através das linhas verdes e vermelhas nos painéis centrais.

Fonte: Produção do autor.

No segundo modo (painel da esquerda da Figura 6.10.b) do Pacífico equatorial centro-leste apresenta correlações positivas (vermelho), porém de menor

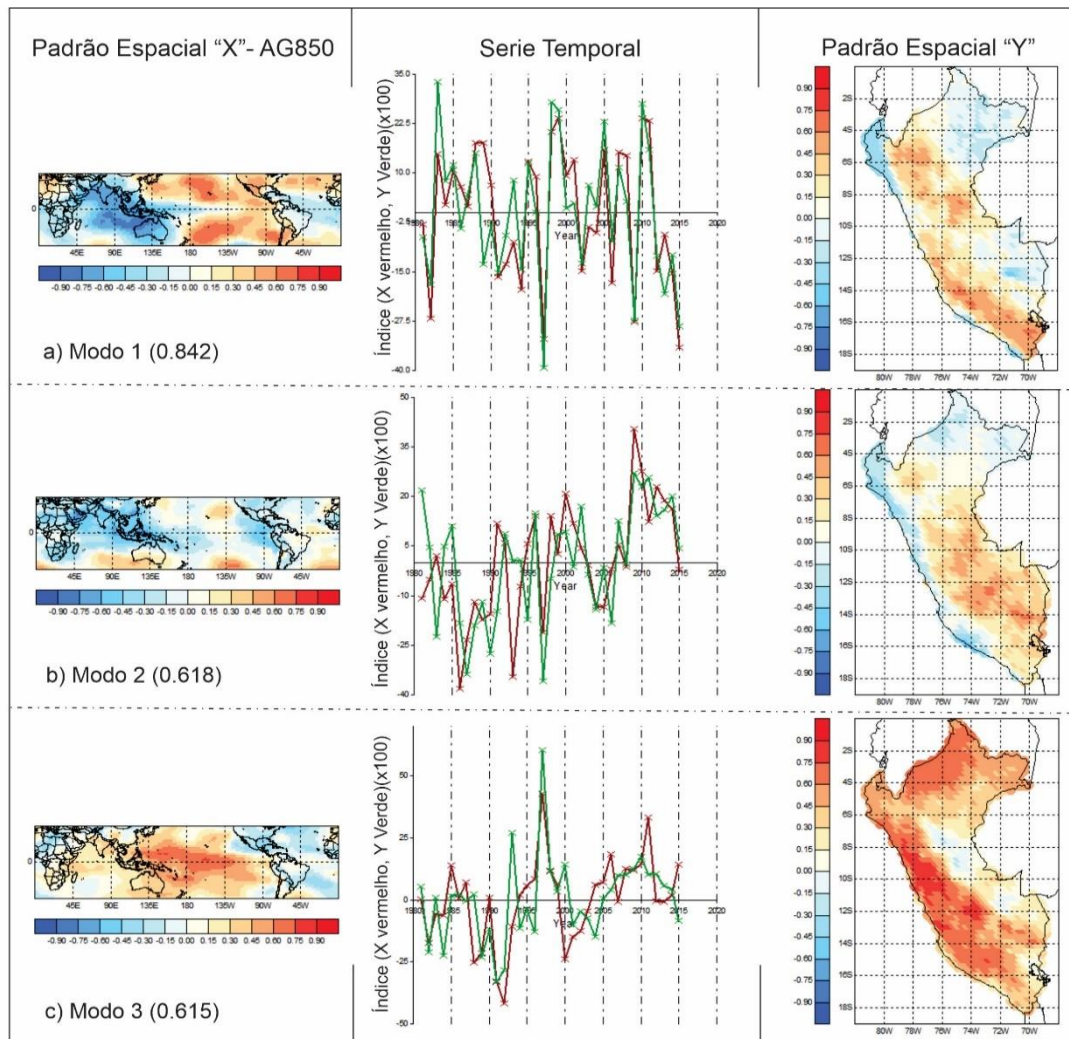
intensidade do que as encontradas para o primeiro modo (painel da esquerda da Figura 6.10.a), sugerindo que o aquecimento (resfriamento) da TSM nessa região associa-se ao aumento (diminuição) da precipitação em setores como a Costa Norte, Serra Central e o norte da Selva Norte que aparecem com correlações positivas (em laranja e vermelho no painel da direita da Figura 6.10.b), a diminuição (aumento) da precipitação na Selva Central e Selva Sul, além da Serra Sul do Peru que aparecem com correlações negativas (em azul no painel da direita da Figura 6.10.b). A correlação canônica entre as séries temporais associadas a esses padrões espaciais (linhas vermelhas e verdes apresentadas no painel central da Figura 6.10.b) é de 0,673. O padrão de correlação do terceiro modo (painel da esquerda da Figura 6.10.c) mostra valores positivos no leste do Oceano Índico e norte da Indonésia, sugerindo o aquecimento (resfriamento) da TSM nessas regiões está associado ao aumento (diminuição) da precipitação na Selva Norte, Selva Central, Serra Central e diminuição (aumento) da precipitação na Serra Sul do Peru. A correlação canônica entre as séries temporais desse terceiro modo mostrada no painel central da Figura 6.10.c é de 0,568.

### **6.2.2. ACC entre AG850 e Precipitação sobre o Peru**

A Figura 6.11, apresenta os padrões espaciais e series temporais dos modos ACC entre a Altura Geopotencial em baixos níveis (850hPa) do mês de outubro anterior a DJF e a precipitação sobre o Peru para DJF. O padrão espacial do primeiro modo (painel da esquerda da Figura 6.11.a) de correlação entre a série temporal vermelha do painel central e as anomalias da variável altura geopotencial em cada ponto de grade, mostra correlações positivas (vermelho e laranja) no Pacífico central e oriental, que relacionaram-se com a precipitação sobre o Peru (painel da direita da Figura 6.11.a), que é resultado da correlação entre a série temporal verde (do painel central da Figura 6.11.a) e a precipitação em cada ponto de grade sobre o Peru. Esse resultado indica que, quando a altura geopotencial em baixos níveis (850hPa) é elevada (reduzida) sobre o Pacífico

central e oriental, a precipitação tende a ser aumentada (reduzida) nos setores da Serra Norte e Serra Sul do Peru em cores vermelho e laranja (azul).

Figura 6.11: Análise de Correlação Canônica entre a AG850 de outubro anterior a DJF com a precipitação em DJF sobre o Peru, em seus três modos.



Análise de Correlação Canônica entre a AG850 de outubro anterior a DJF com a precipitação em DJF sobre o Peru, em seus três modos: a) Modo 1, b) Modo 2 e c) Modo 3; com o padrão espacial "X" de correlação entre a série temporal (linha vermelha) e a AG850 em cada ponto de grade (painéis esquerdos), as séries temporais associadas aos padrões espaciais (painéis do centro), e o padrão espacial "Y" de correlação entre a série temporal (linha verde) e a precipitação sobre o Peru (painéis da direita). Os números entre parênteses de cada modo representam os valores da correlação canônica entre as séries temporais mostradas através das linhas verdes e vermelhas nos painéis centrais.

Fonte: Produção do autor.

Este primeiro modo apresenta a maior correlação canônica (0,842) entre as séries temporais associadas (linhas vermelhas e verdes apresentadas no painel central da Figura 6.11.a) aos primeiros padrões espaciais, destacando-se com os maiores valores negativos dos anos de 1983, 1997 e 2015 de El Niño e os anos de La Niña de 1999 e 2011 (La Niña) com os maiores valores positivos de correspondência dessas series. O segundo modo (painel da esquerda da Figura 6.11.b) de correlação entre a série temporal vermelha e as anomalias da altura geopotencial, apresenta uma diminuição (aumento) da pressão sobre a Indonésia e o extremo leste do Pacífico equatorial que propõe precipitações (painel da direita da Figura 6.11.b de correlação entre a série temporal verde e a precipitação em cada ponto de grade sobre o Peru) mais altas (mais baixas) na Serra Central, Serra Sul e Selva Central do Peru.

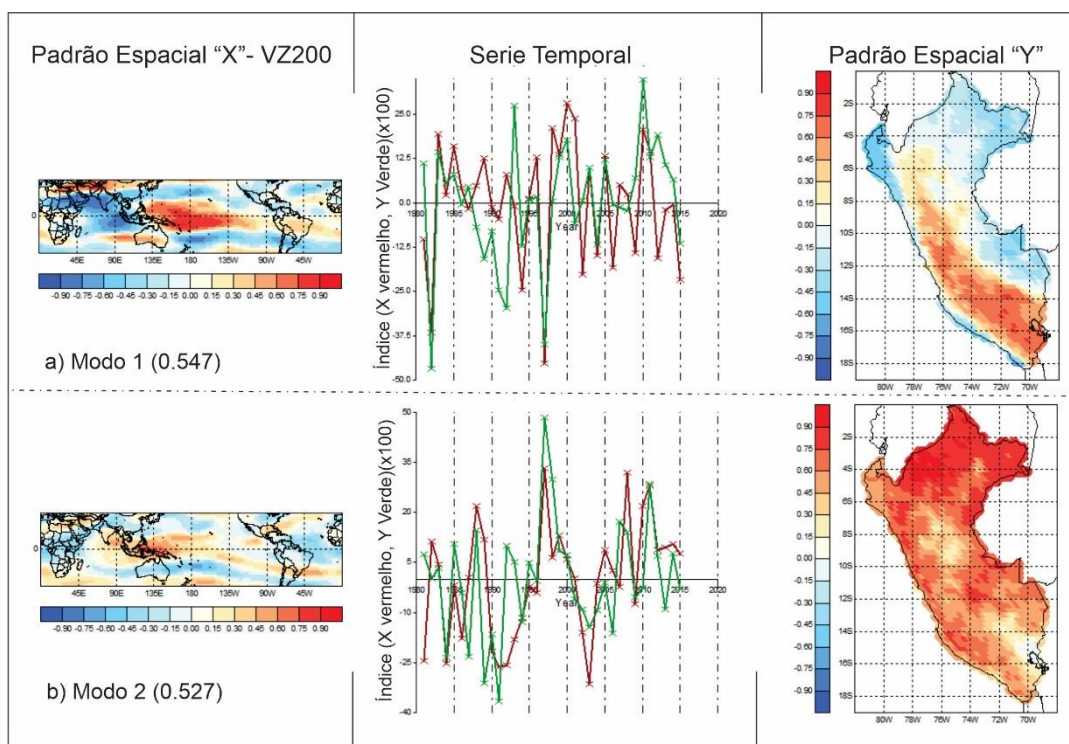
O segundo maior valor de ACC (0,618) entre as series temporais associadas (linhas verdes e vermelhas do painel central da Figura 6.11.b). O padrão de correlação do terceiro modo (painel da esquerda da Figura 6.11.c) mostra valores positivos no Pacífico central e ocidental, ou seja, um aumento (diminuição) da pressão no Pacífico equatorial ocidental que sugere um incremento (redução) das precipitações em setores como a Serra Central, norte da Serra Sul, Costa Central e o norte da Selva Norte do Peru (painel da direita da Figura 6.11.c), no entanto, a correlação canônica entre as series temporais (linhas verdes e vermelhas do painel central da Figura 6.11.c) mostraram apenas um valor de 0,615.

### **6.2.3. ACC entre VZ200 e Precipitação sobre o Peru**

A Figura 6.12, mostra os modos de correlação canônica sobre os padrões espaciais que estão associados com a série temporal entre o vento zonal em altos (200hPa) níveis do mês de outubro anterior a DJF e a precipitação sobre o Peru em DJF. O padrão espacial do primeiro modo (painel da esquerda da Figura 6.12.a) de correlação entre o Vento Zonal de altos (200hPa) níveis em cada ponto de grade e a série temporal vermelha, mostra regiões com correlação positiva (vermelho) no Pacífico equatorial ocidental, que associam-se com o

padrão espacial de precipitação sobre o Peru (painel da direita da Figura 6.12.a), isto é, quando o VZ200 aumenta (diminui) no Pacífico equatorial ocidental, a precipitação em vermelho e laranja (azul) sobre setores da Serra Sul e Serra Central (Costa Norte, nordeste da Selva Norte e Selva Sul) do Peru, tende a ser elevada (reduzida) e apresentada com correlações positivas (negativas).

Figura 6.12: Análise de Correlação Canônica entre o VZ200 de outubro anterior a DJF com a precipitação em DJF sobre o Peru, em seus dois modos.



Análise de Correlação Canônica entre o VZ200 de outubro anterior a DJF com a precipitação em DJF sobre o Peru, em seus dois modos: a) Modo 1 e b) Modo 2; com o padrão espacial "X" de correlação entre a série temporal (linha vermelha) e o VZ200 em cada ponto de grade (painéis esquerdos), as series temporais associadas aos padrões espaciais (painéis do centro), e o padrão espacial "Y" de correlação entre a série temporal (linha verde) e a precipitação sobre o Peru (painéis da direita). Os números entre parênteses de cada modo representam os valores da correlação canônica entre as séries temporais mostradas através das linhas verdes e vermelhas nos painéis centrais.

Fonte: Produção do autor.

O valor do primeiro modo de correlação canônica foi de apenas 0.547 entre as linhas vermelhas e verdes (apresentadas no painel central da Figura 6.12.a), destacando-se os anos de El Niño 1983 e de 1997 com os menores valores negativos e os anos de La Niña de 1999 e 2011 com os maiores valores positivos coincidentes entre as series verde e vermelha. No segundo modo (painel da esquerda da Figura 6.12.b) do VZ200 sobre o Pacífico equatorial ocidental e na Indonésia apresenta correlações positivas (vermelho), no entanto, de menor intensidade do que as encontradas para o primeiro modo, sugerindo que o aumento (diminuição) de ventos zonais em altos níveis (200hPa) dessa região associa-se com correlações positivas (negativas) ao aumento (diminuição) de precipitações entre setores (painel da direita da Figura 6.12.b) da Selva Norte, Serra Norte, Costa Central, Selva Sul e sudeste do setor da Serra Sul do Peru. A correlação canônica entre as séries temporais associadas (linhas verdes e vermelhas do painel central da Figura 6.12.b) a esses padrões espaciais foi de 0,527, menor que o valor do primeiro modo.

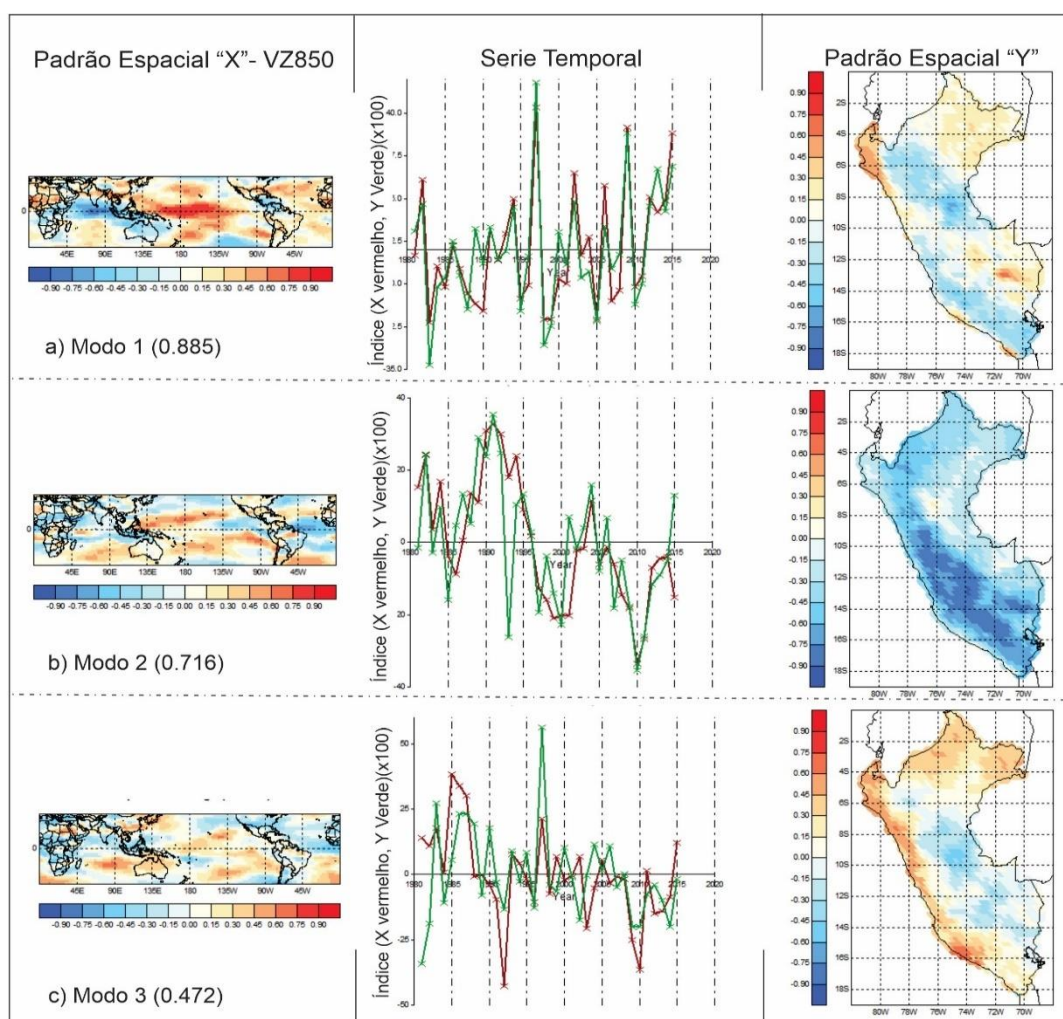
#### **6.2.4. ACC entre VZ850 e Precipitação sobre o Peru**

A Figura 6.13, apresenta os padrões espaciais e séries temporais dos modos de ACC entre o VZ850 do mês de outubro anterior a DJF e a precipitação sobre o Peru em DJF. O padrão espacial do primeiro modo (painel da esquerda 6.13.a) de correlação entre a série temporal em vermelha (painel da figura central) e o Vento zonal em (850hPa) baixos níveis, mostra regiões com correlações positivas (negativas) no Pacífico equatorial ocidental que associam-se com aumento (redução) em laranja e amarelo (azul) das precipitações do Peru (painel da direita da Figura 6.13.a) em setores da Costa Norte, Selva Sul, Selva Norte e o norte da Serra Sul. O primeiro modo de análise de correlação canônica (0.885) entre as séries temporais associadas (linhas vermelhas e verdes do painel central da Figura 6.13.a) destaca os anos 1983, 1997, 2002, 2010 e 2015 do El Niño com os maiores valores positivos dessas series, e os anos de La Niña de 1984, 1989, 1995, 1998, 2005 e 2010 como os maiores valores negativos. No segundo modo (painel da esquerda da Figura 6.13.b) mostra correlações

positivas (laranja e amarelo) no Pacífico equatorial ocidental, no entanto, de menor intensidade do que as encontradas no primeiro modo e de maior intensidade no sul do Oceano Índico em comparação com os resultados dessas regiões para o primeiro modo, sugerindo que o aumento (diminuição) do vento zonal (850hPa) em baixos níveis dessas regiões associam-se ao aumento (diminuição) da precipitação (painel da direita da Figura 6.13.b) em setores como a Serra Central e o sul da Serra Norte ( em cor laranja e amarelo) do Peru.



Figura 6.13: Análise de Correlação Canônica entre o VZ850 de outubro anterior a DJF com a precipitação em DJF sobre o Peru, em seus três modos.



Análise de Correlação Canônica entre o VZ850 de outubro anterior a DJF com a precipitação em DJF sobre o Peru, em seus três modos: a) Modo 1, b) Modo 2 e c) Modo 3; com o padrão espacial “X” de correlação entre a série temporal (linha vermelha) e o VZ850 em cada ponto de grade (painéis esquerdos), as séries temporais associadas aos padrões espaciais (painéis do centro), e o padrão espacial “Y” de correlação entre a série temporal (linha verde) e a precipitação sobre o Peru (painéis da direita). Os números entre parênteses de cada modo representam os valores da correlação canônica entre as séries temporais mostradas através das linhas verdes e vermelhas nos painéis centrais.

Fonte: Produção do autor.

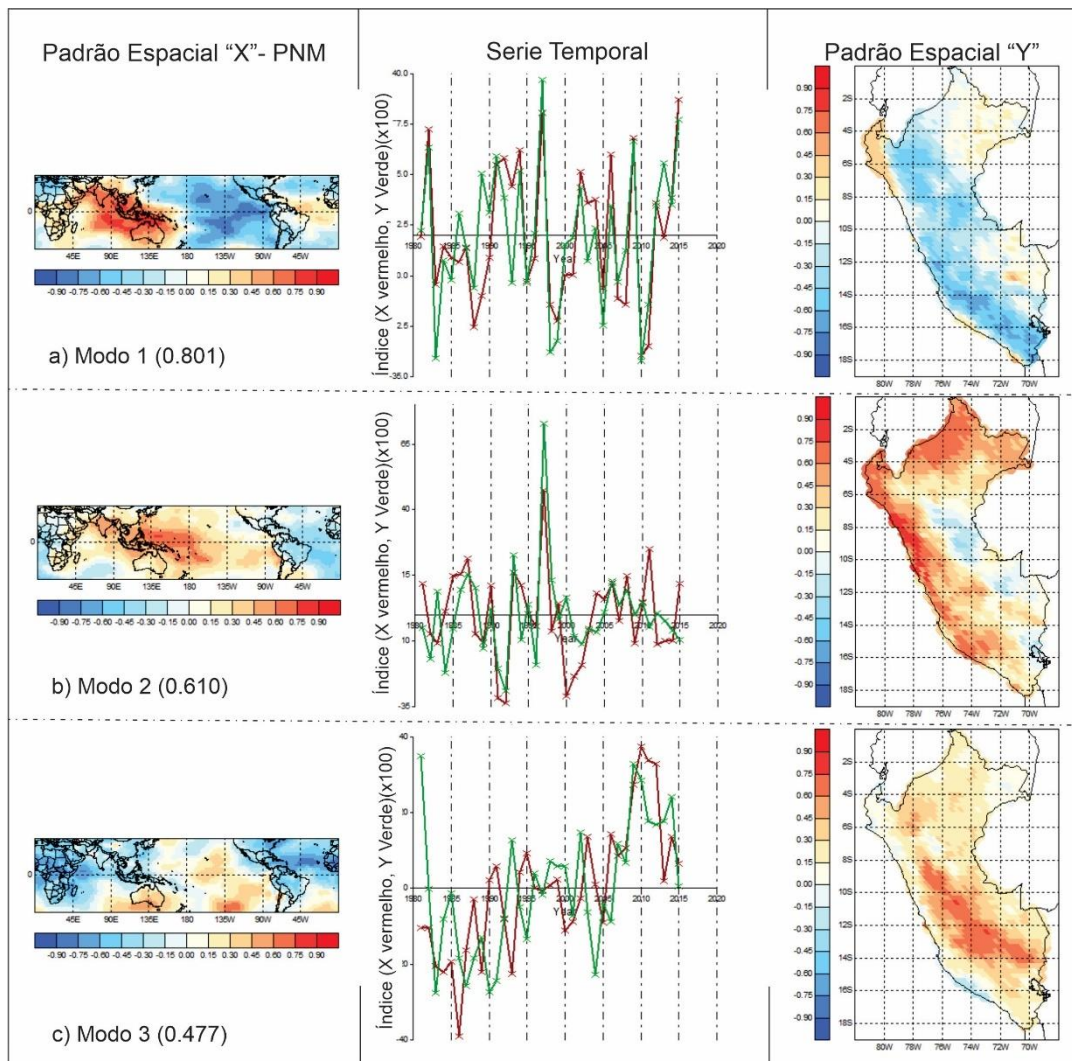
A correlação canônica entre as séries temporais associadas a esses padrões espaciais (linhas vermelhas e verdes do painel central da Figura 6.13.b) é de 0.716, destacando-se os anos de El Niño de 1982-1983 e El Niño de 1991-1992

com os maiores valores positivos e os anos de La Niña de 1999 e 2010 com os menores valores negativos dessas series. O padrão espacial do terceiro modo (painel da esquerda da Figura 6.13.c) mostra correlações positivas no centro oriental do Oceano Índico e no Oceano Pacífico (regiões em cor laranja e amarelo) com menor intensidade que o segundo modo. Ou seja, o ligeiro aumento dos ventos de oeste fora do Oceano Índico (diminuição dos ventos de leste do Pacífico ocidental) está diretamente relacionado (painel da direita da Figura 6.13.c) ao aumento (diminuição) das chuvas na Costa Norte e Norte da Costa Central (Serra Central, Selva Central e Serra Sul) do Peru. A correlação canônica entre as séries temporais do terceiro modo (painel central da Figura 6.13.c) de 0.472 destaca os anos de El Niño de 1987 e 1997-1998 com os maiores valores positivos e os anos 1992 e 2009-2010 (El Niño) com maiores valores negativos dessas series.

#### **6.2.5. ACC entre PNM e Precipitação sobre o Peru**

A Figura 6.14, apresenta os modos de ACC das séries temporais e os padrões espaciais entre a PNM do mês de outubro anterior a DJF e a precipitação sobre o Peru em DJF. O padrão espacial do primeiro modo (painel da esquerda da Figura 6.14.a) de correlação entre a serie temporal em vermelha (painel central da Figura 6.14.a) e as anomalias em cada ponto de grade, destaca regiões com correlações positivas (vermelho) ao centro nordeste do Oceano Índico, ou seja, o aumento (diminuição) da pressão média ao nível do mar no nordeste do Oceano Índico e na Indonésia associam-se com o aumento (diminuição) das precipitações (painel da direita da Figura 6.14.a) sobre a Costa Norte do Peru, leste da Selva Norte e o Sul da Selva Sul (Serra Norte, Serra Central, sul da Costa Sul e sul da Serra Sul) do Peru em cor vermelho – amarelo (azul), este último padrão espacial de precipitação é determinado pela correlação entre a série temporal em verde e a precipitação sobre o Peru em cada ponto de grade.

Figura 6.14: Análise de Correlação Canônica entre a PNM de outubro anterior a DJF com a precipitação em DJF sobre o Peru, em seus três modos.



Análise de Correlação Canônica entre a PNM de outubro anterior a DJF com a precipitação em DJF sobre o Peru, em seus três modos: a) Modo 1, b) Modo 2 e c) Modo 3; com o padrão espacial "X" de correlação entre a série temporal (linha vermelha) e a PNM em cada ponto de grade (painéis esquerdos), as séries temporais associadas aos padrões espaciais (painéis do centro), e o padrão espacial "Y" de correlação entre a série temporal (linha verde) e a precipitação sobre o Peru (painéis da direita). Os números entre parênteses de cada modo representam os valores da correlação canônica entre as séries temporais mostradas através das linhas verdes e vermelhas nos painéis centrais.

Fonte: Produção do autor.

O ACC entre as linhas verdes e vermelhas (painel central da Figura 6.14.a) dessas series é de 0.801, e os anos de El Niño de 1983, 1997 e 2015 destacam-se com os maiores valores positivos, e os anos de La Niña de 1989, 1999 e 2010 como os menores valores negativos dessas series temporais. No segundo modo (painel da esquerda da Figura 6.14.b) do Pacífico equatorial centro oeste mostra correlações positivas (vermelho), porém de menor intensidade do que o primeiro modo, sugerindo que o aumento (diminuição) da pressão nessa região associa-se ao aumento (diminuição) das precipitações (painel da direita da Figura 6.14.b) em setores como a Costa Norte, Costa Central, o norte da Costa Sul, o norte da Selva Norte (Selva Central e o norte da Serra Sul) do Peru, que aparecem em cor vermelho e laranja (azul e branco). A correlação canônica entre as series temporais associadas a esses padrões espaciais (linhas vermelhas e verdes do painel central de Figura 6.14.b) é de 0.610. O terceiro modo (painel da esquerda da Figura 6.14.c) mostra valores positivos (negativos) sobre o centro leste e o centro sul de Austrália (Oceano Índico e da Indonésia) em cor laranja (azul), sugerindo aumento (diminuição) de precipitações (painel da direita da Figura 6.14.c) sobre setores como o norte da Serra Norte, Serra Central, norte da Serra Sul (o norte da Costa Sul). A correlação canônica entre as series temporais (painel central da Figura 6.14.c) do terceiro modo é de 0.477.

### **6.3. Avaliação da destreza das previsões retrospectivas de precipitação sazonal (DJF) para o Peru**

Nesta seção são apresentados os resultados das análises de destreza das previsões estatísticas retrospectivas de precipitação para DJF para o período 1981-2016 geradas para o Peru. Inicialmente apresenta-se os resultados da destreza das previsões produzidas com o modelo estatístico de regressão baseado na ACC utilizando-se individualmente cada um dos cinco preditores (TSM, AG850, VZ200, VZ850, e PNM do mês de outubro anterior ao período DJF) identificados na Seção 6.1 e os três modos canônicos discutidos na Seção 6.2. Na sequência apresenta-se os resultados da destreza das previsões produzidas com o modelo estatístico de regressão baseado na ACC utilizando-

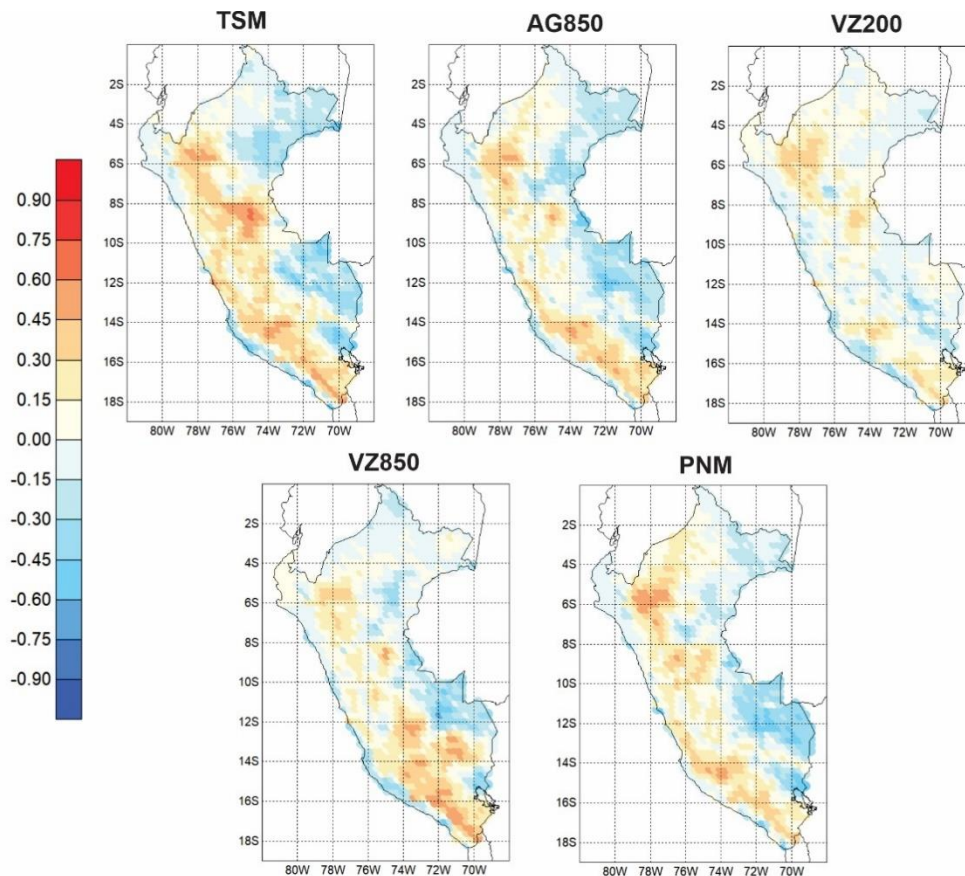
se a combinação de dois preditores, sempre combinando a TSM com um dos outro quatro preditores (AG850, VZ200, VZ850 e PNM). E finalmente apresenta-se os resultados da destreza das previsões produzidas com o modelo estatístico de regressão baseado na ACC utilizando-se a combinação de três preditores a saber: a) TSM, PNM e VZ850, b) TSM, PNM e AG850, c) TSM, AG850 e VZ850, e d) PNM, AG850 e VZ850. Todas as avaliações foram produzidas em modo de validação cruzada assim como descrito na Seção 5.4.

### **6.3.1. Avaliação das previsões produzidas utilizando individualmente cada um dos cinco preditores (TSM, AG850, VZ200, VZ850 e PNM)**

A Figura 6.15 mostra os mapas de correlação de Pearson entre as anomalias de precipitação previstas e observadas sobre o Peru para DJF durante o período 1981-2016 produzidas como o modelo estatístico de regressão baseado em ACC utilizando individualmente como preditoras cada uma das cinco variáveis (TSM, AG850, VZ200, VZ850 e PNM) do mês de outubro anterior ao período DJF. A correlação de Pearson mede a associação linear entre as anomalias previstas e observadas. Entre todas as cinco variáveis preditoras investigadas, nota-se que os maiores valores de correlação positiva, indicando uma forte associação linear e positiva entre as previsões e as observações, são encontrados no mapa de destreza das previsões produzidas utilizando a TSM como variável preditora, destacando-se as regiões da Serra Peruana, e os setores da Selva Central e Costa Central. No entanto, em setores da Selva Sul, sul da Selva Norte e Costa Sul as previsões produzidas utilizando-se TSM como variável preditora apresentam correlações negativas. Para as previsões produzidas com a variável AG850 como preditora, o mapa de correlação de Pearson mostra maior habilidade preditiva como valores positivos de correlação em setores como a Serra Norte, Serra Central, Serra Sul e Costa Central e valores negativos de correlação em áreas de fronteira com o Brasil, assim como na Selva Sul e no sul da Selva Norte, semelhante aos resultados mostrados no mapa de correlação das previsões produzidas utilizando PNM como variável

preditora, que apresenta maior habilidade preditiva como os maiores valores positivos de correlação localizado sobre a Serra Norte.

Figura 6.15: Correlação de Pearson entre as anomalias de precipitação sazonal previstas e observadas sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.



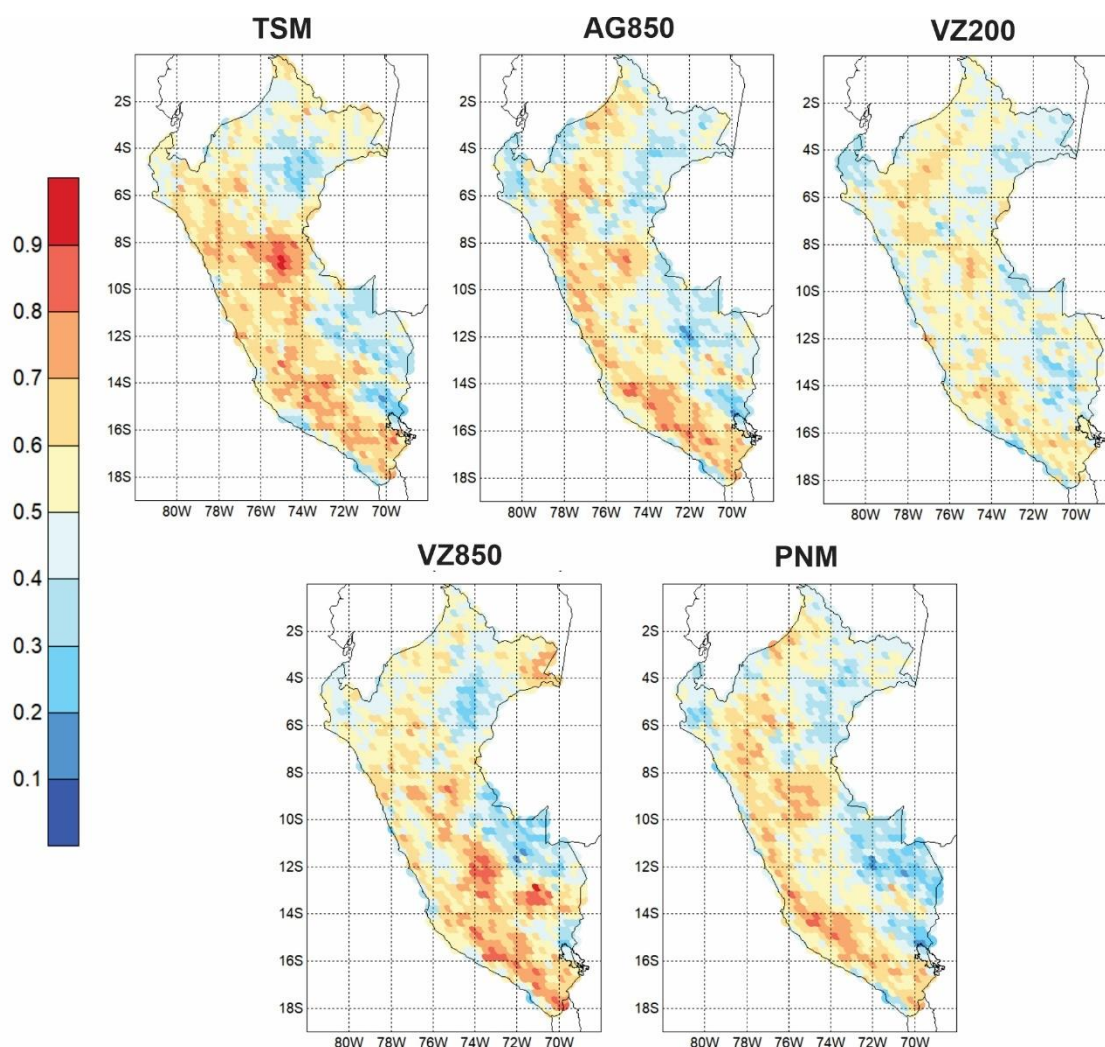
Correlação de Pearson entre as anomalias de precipitação sazonal previstas e observadas sobre o Peru para DJF no período 1981-2016, sendo as previsões produzidas com o modelo estatístico de regressão baseado em ACC utilizando como preditores a Temperatura da Superfície do Mar (SST), Altura Geopotencial em 850hPa (AG850), Vento Zonal em 200 hPa (VZ200), Vento zonal a 850 hPa (VZ850) e pressão média ao nível do mar (PNM) do mês de outubro anterior ao período DJF.

Fonte: Produção do autor.

As previsões produzidas utilizando VZ850 como variável preditora apresentam melhor desempenho sobre o sul da Serra Central e Serra Sul, com valores de correlação superiores a 0,6 seguido por setores como a Serra Central, Serra

Norte e Costa Norte com valores de correlação entre 0,30 e 0,60. Para as previsões produzidas utilizando ventos zonais de altos níveis (200hPa) como variável preditora os maiores valores de destreza foram encontrados com valores de correlação entre 0,15 e 0,45 na Serra Norte e Serra Sul, sendo esta última variável a que apresentou os menores índices de destreza assim como os menores valores para as correlações canônicas com a precipitação de DJF no Peru.

Figura 6.16: Área abaixo a curva ROC para a categoria precipitação abaixo da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.



Área abaixo a curva ROC para a categoria precipitação abaixo da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016, sendo as previsões produzidas com o modelo estatístico de regressão baseado em ACC utilizando como preditores a Temperatura da Superfície do Mar (TSM), Altura Geopotencial em 850hPa (AG850), Vento Zonal em 200 hPa (VZ200), Vento Zonal a 850 hPa (VZ850) e pressão ao nível meio do mar (PNM) do mês de outubro anterior ao período DJF.

Fonte: Produção do autor.

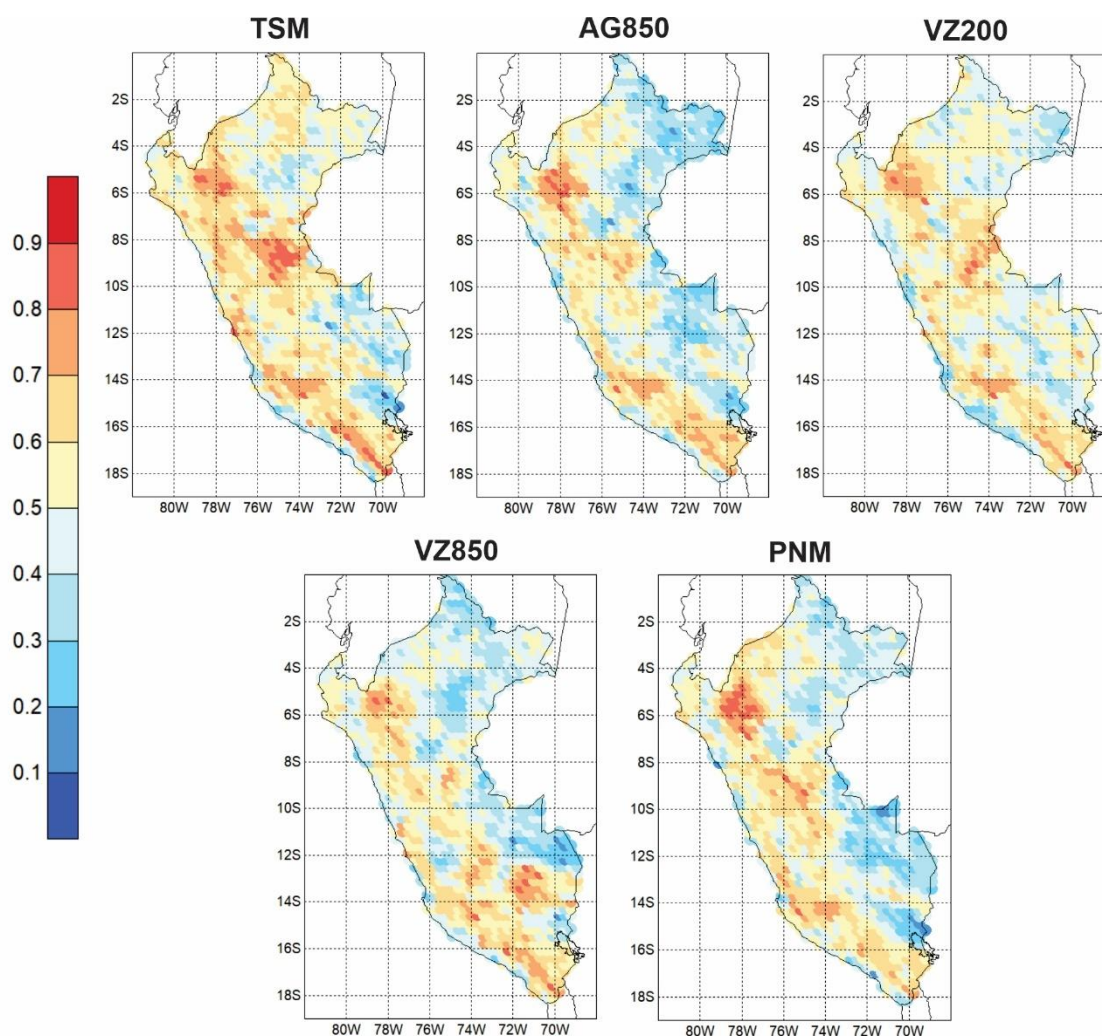
A Figura 6.16 e Figura 6.17 apresentam os mapas da área abaixo a curva ROC (do inglês Receiver Operating Characteristic, Mason and Graham, 2002) das previsões probabilísticas para as categorias “abaixo da normal” e “acima da normal” respectivamente, sobre o Peru para DJF durante o período 1981-2016



produzidas como o modelo estatístico de regressão baseado em ACC utilizando individualmente como preditoras cada uma das cinco variáveis (TSM, AG850, VZ200, VZ850 e PNM) do mês de outubro anterior ao período DJF. A área abaixo da curva ROC mede a habilidade das previsões probabilísticas em discriminar (distinguir) a ocorrência da não ocorrência do evento analisado (ou seja, precipitação na categoria abaixo da normal, ou precipitação na categoria acima da normal). Entre todas as cinco variáveis preditoras investigadas, destacam-se a TSM, AG850, VZ850 e PNM com os maiores valores ROC na Figura 6.16 sobre a Serra Central, sul da Serra Sul, Costa Central e Serra Norte do Peru, indicando uma alta probabilidade das previsões probabilísticas de precipitação em distinguir com sucesso a ocorrência da não ocorrência do evento avaliado, com valores acima de 0,7 (em cor vermelho e laranja) para a categoria abaixo da normal.

No entanto, a Figura 6.17 mostra valores acima de 0.7 em todas as variáveis preditoras (TSM, AG850, VZ200, VZ850 e PNM) ao sul da Serra Sul, Serra Central, Serra Norte, noroeste da Selva Norte e Norte da Selva Central indicando alta probabilidade das previsões probabilísticas em distinguir com sucesso a ocorrência da não ocorrência do evento precipitação na categoria acima da normal (vermelho e laranja). E comparando ambos resultados (Figura 6.16 e Figura 6.17), observa-se que as áreas de melhor desempenho das previsões probabilísticas coincidem com as regiões que apresentam os maiores valores de correlação de Pearson descritas acima para a Figura 6.15 na análise determinística do desempenho das previsões produzidas.

Figura 6.17: Area abaixo a curva ROC para a categoria precipitação acima da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.



Area abaixo a curva ROC para a categoria precipitação acima da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016, sendo as previsões produzidas com o modelo estatístico de regressão baseado em ACC utilizando como preditores a Temperatura da Superfície do Mar (TSM), Altura Geopotencial em 850hPa (AG850), Vento Zonal em 200 hPa (VZ200), Vento Zonal a 850 hPa (VZ850) e pressão ao nível meio do mar (PNM) do mês de outubro anterior ao período DJF.

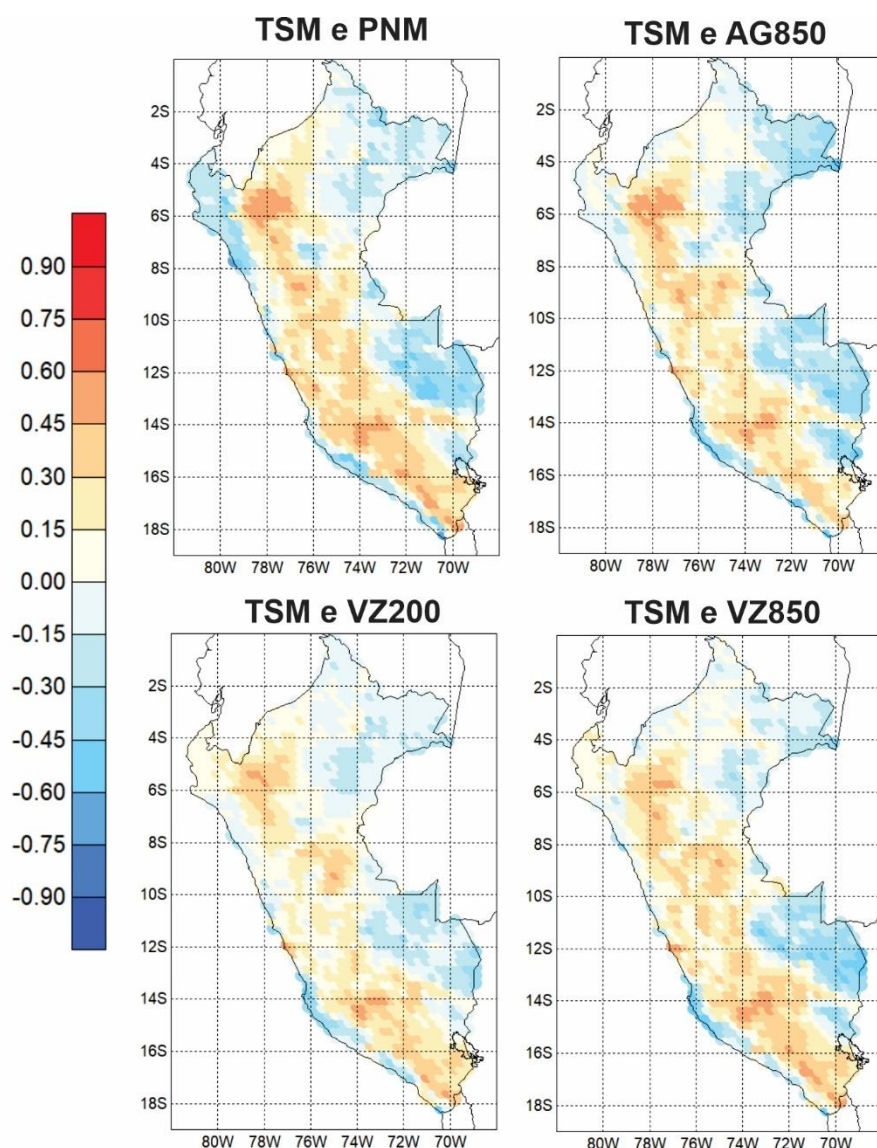
Fonte: Produção do autor.

### 6.3.2. Avaliação das previsões produzidas utilizando a combinação de duas variáveis como preditoras

Como ilustrado na Seção anterior (Seção 6.3.1) a TSM destacou-se como a variável preditora que resultou nos maiores valores de destreza das previsões

sazonais para DJF no Peru, sendo portanto, considerada uma variável fundamental para a produção de previsões climáticas sazonais para o Peru. A Figura 6.18, mostra os mapas de correlação de Pearson entre as anomalias de precipitação previstas e observadas sobre o Peru para DJF durante o período 1981-2016 produzidas como o modelo estatístico de regressão baseado em ACC utilizando como preditoras a combinação de duas variáveis, sendo uma delas a TSM e a outra uma das quatro variáveis atmosféricas (AG850, VZ200, VZ850 e PNM) do mês de outubro anterior ao período DJF. Nota-se que as previsões para DJF produzidas utilizando-se a combinação das variáveis preditoras TSM e PNM, e TSM e AG850 resultaram nos maiores valores de correlação, superiores a 0,6 em setores como a Serra Norte, Serra Sul e Selva Central, sendo que para o sul do setor da Serra Sul a combinação das variáveis TSM e PNM como preditoras resultou em melhor destreza. Entretanto, para a Selva Norte, Selva Sul e Costa Sul, essas previsões resultaram em uma pobre destreza com valores negativos de correlação, e da mesma forma, para a Costa Norte do Peru as previsões produzidas com a combinação das variáveis preditoras TSM e PNM também resultaram em valores negativos de correlação. As previsões produzidas com a combinação dos preditores TSM e VZ850, mostram maiores índices de destreza nos setores ao sul do Peru, como por exemplo a Serra Sul. Nos setores como a Serra Central e Serra Norte os índices de destreza foram positivos, porém não excedam o valor de correlação de Pearson de 0,6. Em setores como o Selva Sul, a destreza negativa permanece semelhante aos resultados obtidos para as demais combinações de variáveis preditoras, porém nos setores ao sul da Selva Norte para as previsões produzidas com a combinação das variáveis preditoras TSM e VZ850, e TSM e VZ200, apresentam destreza próxima a zero.

Figura 6.18: Correlação de Pearson entre as anomalias de precipitação sazonal previstas e observadas sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.



Correlação de Pearson entre as anomalias de precipitação sazonal previstas e observadas sobre o Peru para DJF no período 1981-2016, sendo as previsões produzidas com o modelo estatístico de regressão baseado em ACC utilizando como preditores a combinação de duas variáveis, uma oceânica e outra atmosférica TSM e PNM, TSM e AG850, TSM e VZ200, TSM e VZ850 do mês de outubro anterior ao período DJF.

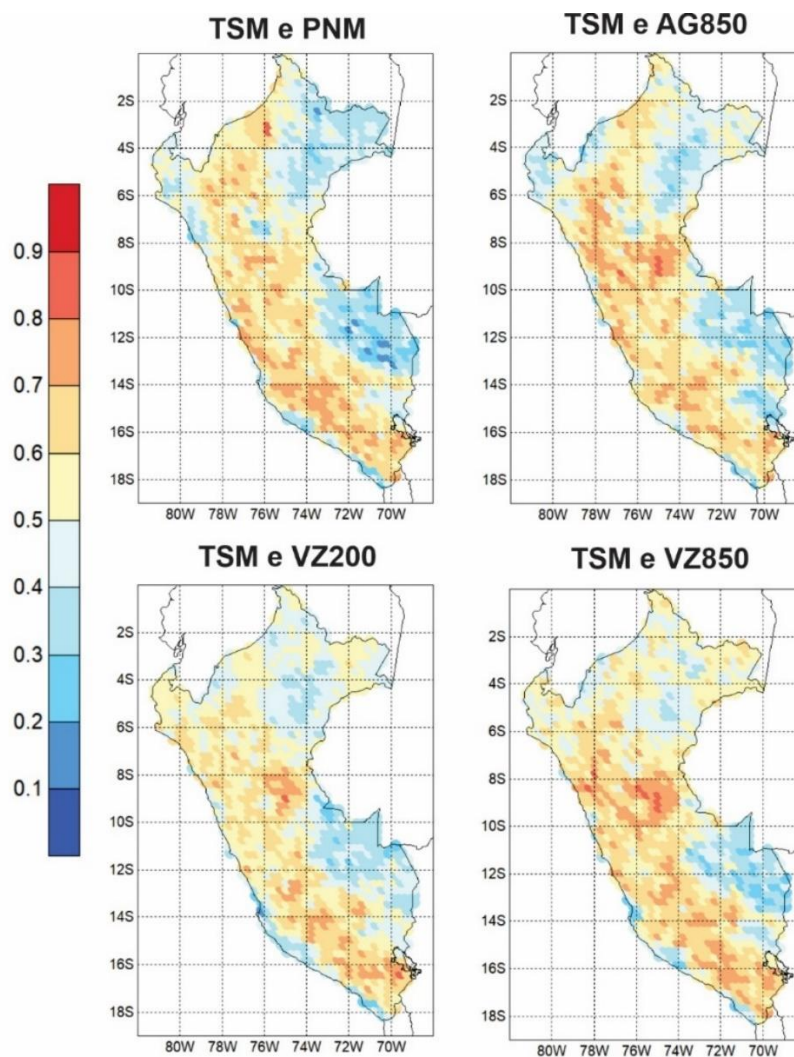
Fonte: Produção do autor.

No entanto, para o setor da Costa Norte foram obtidos maiores valores de correlação quando comparados com os valores obtidos para as duas primeiras

combinações (TSM e PNM, e TSM e AG850 que exibiam valores predominantemente negativos). Notando-se que a combinação da variável preditor TSM com a variável preditora vento zonal em altos níveis (VZ200) resultou na diminuição dos valores de correlação de Pearson quando comparado com os resultados das demais combinações realizadas, assim como mostrado na Figura 6.18, para as avaliações seguintes (Seção 6.3.3) a variável VZ200 foi descartada.

A Figura 6.19 e Figura 6.20 apresentam os mapas da área abaixo a curva ROC de previsões probabilísticas obtidas através da combinação de duas variáveis uma atmosférica e outra oceânica produzidas para DJF durante o período 1981-2016 como o modelo estatístico de regressão baseado no ACC para as categorias “abaixo da normal” e “acima da normal” respectivamente. Entre os mapas de destreza de combinações de duas variáveis das categorias abaixo da normal (Figura 6.19), destacam-se a TSM com VZ850 e TSM com AG850 com os maiores (menores) valores ROC em setores da Serra Norte, Serra Central comparado com o ROC obtido entre TSM e PNM (TSM e PNM, TSM e AG850, TSM e VZ850 comparado com a TSM e VZ200 em setores da Selva Sul, nordeste da Serra Sul e sul da Selva Norte) do Peru. Em combinações ROC de duas variáveis para a categoria acima da normal (Figura 6.20), semelhante ao que já foi descrito para a Figura 6.19, os maiores índices de ROC com valores acima de 0.8 foram encontrados nas combinações de TSM e PNM, TSM e AG850, e TSM e VZ850, observando que novamente o VZ200 reduz os sinais de destreza na combinação TSM e VZ200.

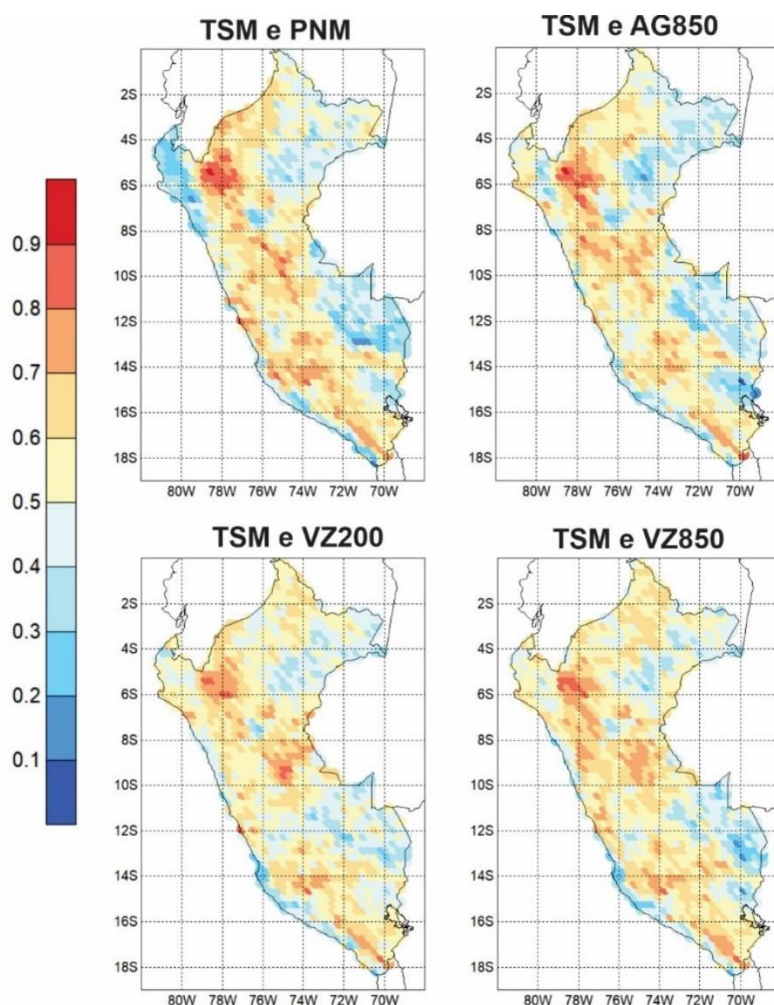
Figura 6.19: Área abaixo a curva ROC para a categoria precipitação baixo da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.



Área abaixo a curva ROC para a categoria precipitação baixo da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016, sendo as previsões produzidas com o modelo estatístico de regressão baseado em ACC utilizando como preditores a combinação de duas variáveis, uma oceânica e outra atmosférica TSM e PNM, TSM e AG850, TSM e VZ200, TSM e VZ850 do mês de outubro anterior ao período DJF.

Fonte: Produção do autor.

Figura 6.20: Área abaixo a curva ROC para a categoria precipitação acima da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.



Área abaixo a curva ROC para a categoria precipitação acima da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016, sendo as previsões produzidas com o modelo estatístico de regressão baseado em ACC utilizando como preditores a combinação de duas variáveis, uma oceânica e outra atmosférica TSM e PNM, TSM e AG850, TSM e VZ200, TSM e VZ850 do mês de outubro anterior ao período DJF.

Fonte: Produção do autor.

### 6.3.3. Avaliação das previsões produzidas utilizando a combinação de três variáveis como preditoras

A fim de investigar a possibilidade de se melhorar a destreza das previsões sazonais de precipitação para DJF no Peru, foram produzidas previsões combinando-se as três variáveis preditoras de maior destaque das análises

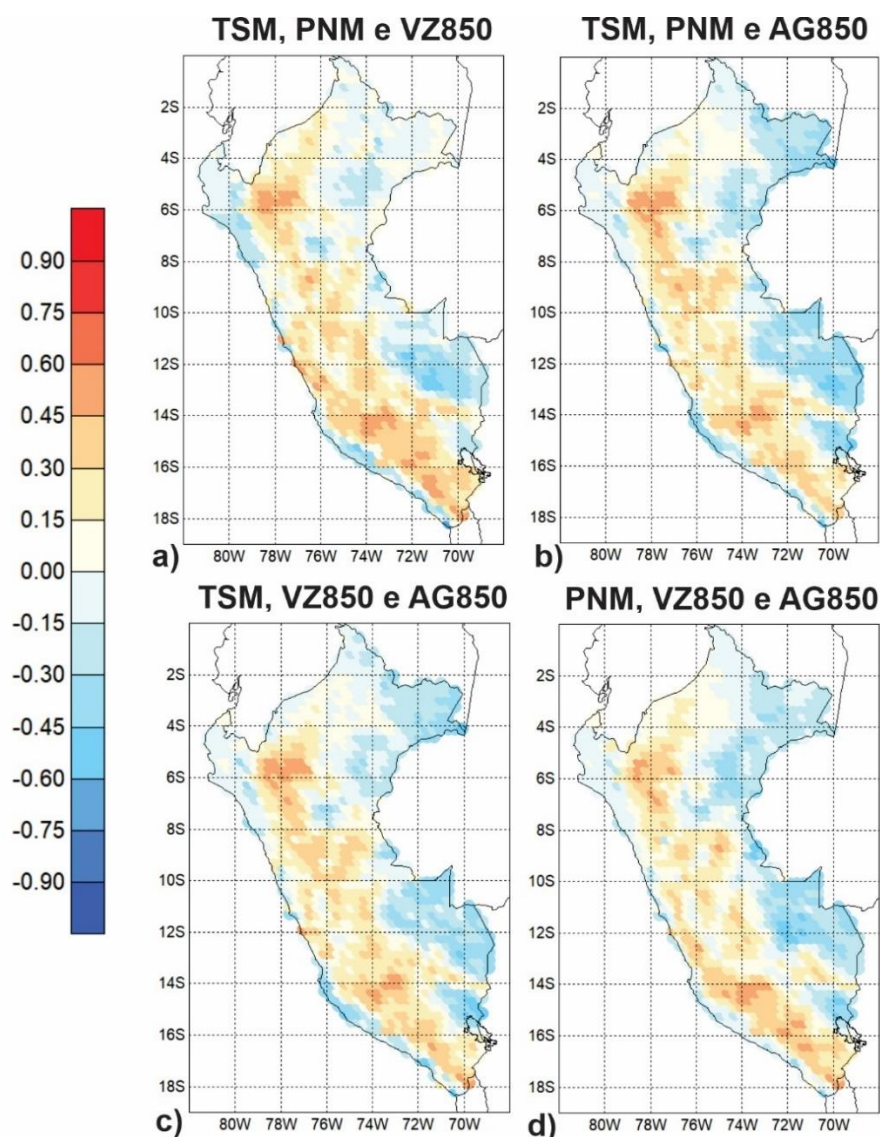
anteriores. Foram realizadas três combinações incluindo uma variável oceânica e duas variáveis atmosféricas como preditoras [a) TSM, PNM e VZ850, b) TSM, PNM e AG850, e c) TSM, VZ850 e AG850], e uma combinação incluindo três variáveis atmosféricas [d) PNM, VZ850 e AG850]. A Figura 6.21 mostra os mapas de correlação entre as anomalias de precipitação previstas e observadas sobre o Peru para DJF durante o período 1981-2016 produzidas como o modelo estatístico de regressão baseado em ACC utilizando como preditoras a combinação dessas três variáveis do mês de outubro anterior ao período DJF.

Nota-se que para as quatro combinações realizadas os setores da Selva Sul e do sul da Selva Norte apresentam destrezas negativas, enquanto que para toda a Serra do Peru a destreza é positiva com valores entre 0,30 a 0,60 e valores superiores a 0,60 para a Serra Norte. Entretanto são notadas diferenças em outros setores do Peru. Por exemplo, para as previsões produzidas com a combinação das variáveis TSM, PNM e VZ850 como preditoras, os maiores valores de correlação são encontrados na Serra Sul e Serra Central, bem como para as previsões produzidas com a combinação das variáveis TSM, VZ850 e AG850 como preditoras, com exceção da Costa Central e da Selva Norte, sendo notado para esta última correlações negativas de maior expressão.

As previsões produzidas através da combinação das variáveis TSM, PNM e AG850 como preditoras mostram os maiores valores de destreza para a Selva Central quando comparados com as demais combinações de preditores que também incluem a TSM como variáveis preditoras. Por outro lado, ao desconsiderar o preditor TSM, na combinação que inclui PNM, VZ850 e AG850 como variáveis preditoras, pode-se observar que há maior destreza na Selva Central em relação às outras combinações, porém a destreza é ligeiramente inferior em relação à Costa Central, sendo que a combinação de preditores reflete em grande parte os padrões de destreza gerados pelo preditor TSM quando considerado individualmente.



Figura 6.21: Correlação de Pearson entre as anomalias de precipitação sazonal previstas e observadas sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.



Correlação de Pearson entre as anomalias de precipitação sazonal previstas e observadas sobre o Peru para DJF no período 1981-2016, sendo as previsões produzidas com o modelo estatístico de regressão baseado em ACC utilizando como preditores a combinação de três variáveis, uma oceânica e duas atmosféricas: a) TSM, PNM e VZ850, b) TSM, PNM e AG850, c) TSM, VZ850 e AG850, e três variáveis atmosféricas d) PNM, VZ850 e AG850 do mês de outubro anterior ao período DJF.

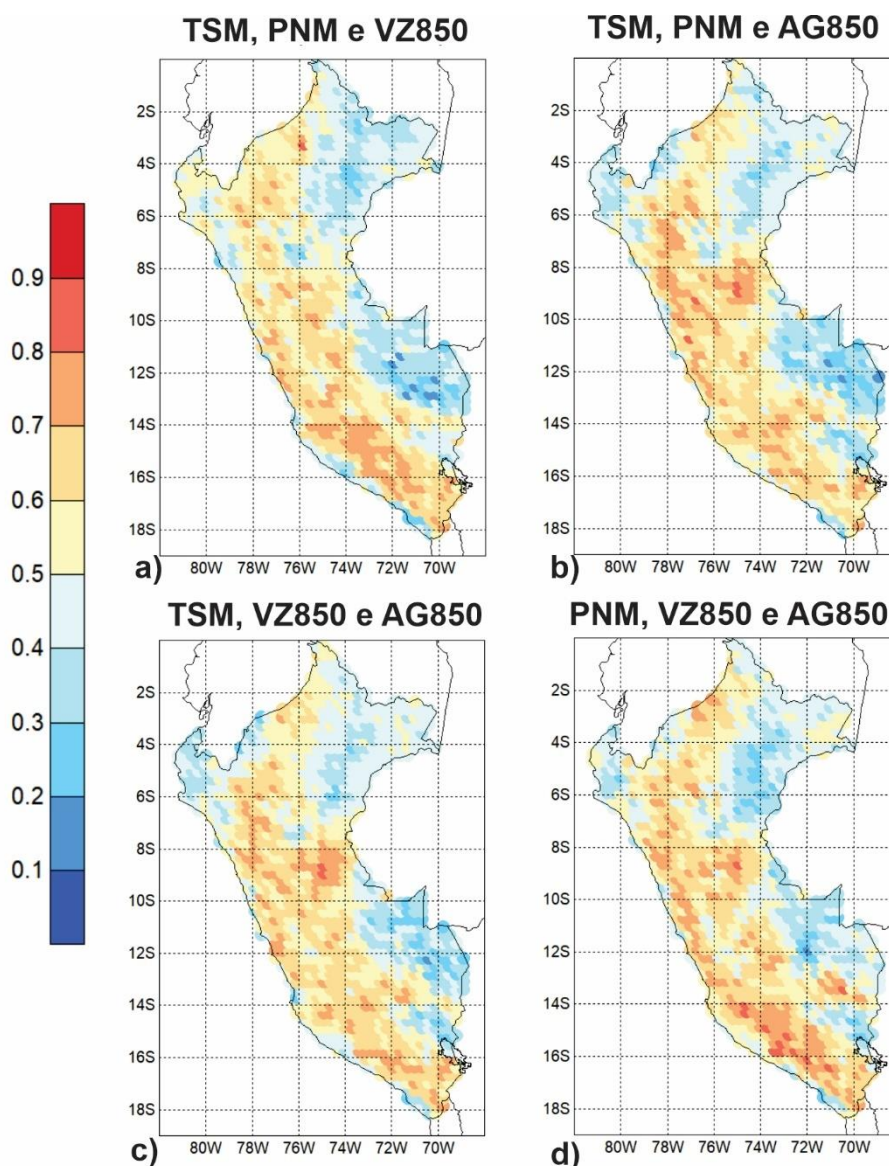
Fonte: Produção do autor.

As Figuras 6.22 e 6.23 mostram os mapas da área abaixo a curva ROC de previsões probabilísticas de precipitação para a combinação de três variáveis uma oceânica e duas atmosféricas produzidas para DJF durante o período 1981-

2016 como o modelo estatístico de regressão baseado no ACC para as categorias “abaixo da normal” e “acima da normal” respectivamente.

Na Figura 6.22 de áreas abaixo a curva ROC da categoria precipitação abaixo a normal mostra-se a combinação (Figura 6.22.a) TSM, PNM e VZ850 apresenta valores de destreza superiores a 0.6 para a Costa Norte, em comparação a combinações (painéis da Figura 6.22.b e Figura 6.22.c) da TSM, PNM e AG850, e TSM, VZ850 e AG850 que apresentam valores inferiores entre 0.2 a 0.6. para o setor de análise. No entanto, em setores como a Serra Central, Serra Sul e Costa Central (sul da Selva Norte, sul da Selva Central e norte da Serra Sul) as destrezas positivas (negativas) do índice de destreza ROC variam entre 0,6 a 0,9 (variando entre 0,1 a 0,5) de probabilidade de discriminar (distinguir) a ocorrência da não ocorrência de precipitação prevista na categoria abaixo do normal sobre o território peruano. Observe-se que se removermos a variável oceânica (TSM), e combinarmos três variáveis atmosféricas (Figura 6.22.d) incluindo TSM, VZ850 e AG850 para a categoria precipitação abaixo do normal, bem como para a categoria precipitação acima do normal (Figura 6.23.d), os sinais mostram e representam a influência da variável TSM, ou seja, as variáveis atmosféricas em combinação refletem sinais semelhantes de habilidade preditiva obtida através do uso da variável oceânica nos diferentes setores de estudo do Peru. Nas combinações de uma variável oceânica e duas variáveis atmosféricas (Figuras 6.23.a, 6.23.b e 6.23.c) de áreas ROC abaixo a curva ROC para a categoria precipitação acima do normal, índices de habilidade de previsão de precipitação semelhantes são mostrados em toda a Serra, Selva e setores da Costa Central e Costa Sul com diferenças notáveis apenas no Setor da Costa Norte do Peru (Figura 6.23.a) que apresenta valores inferiores a 0,5.

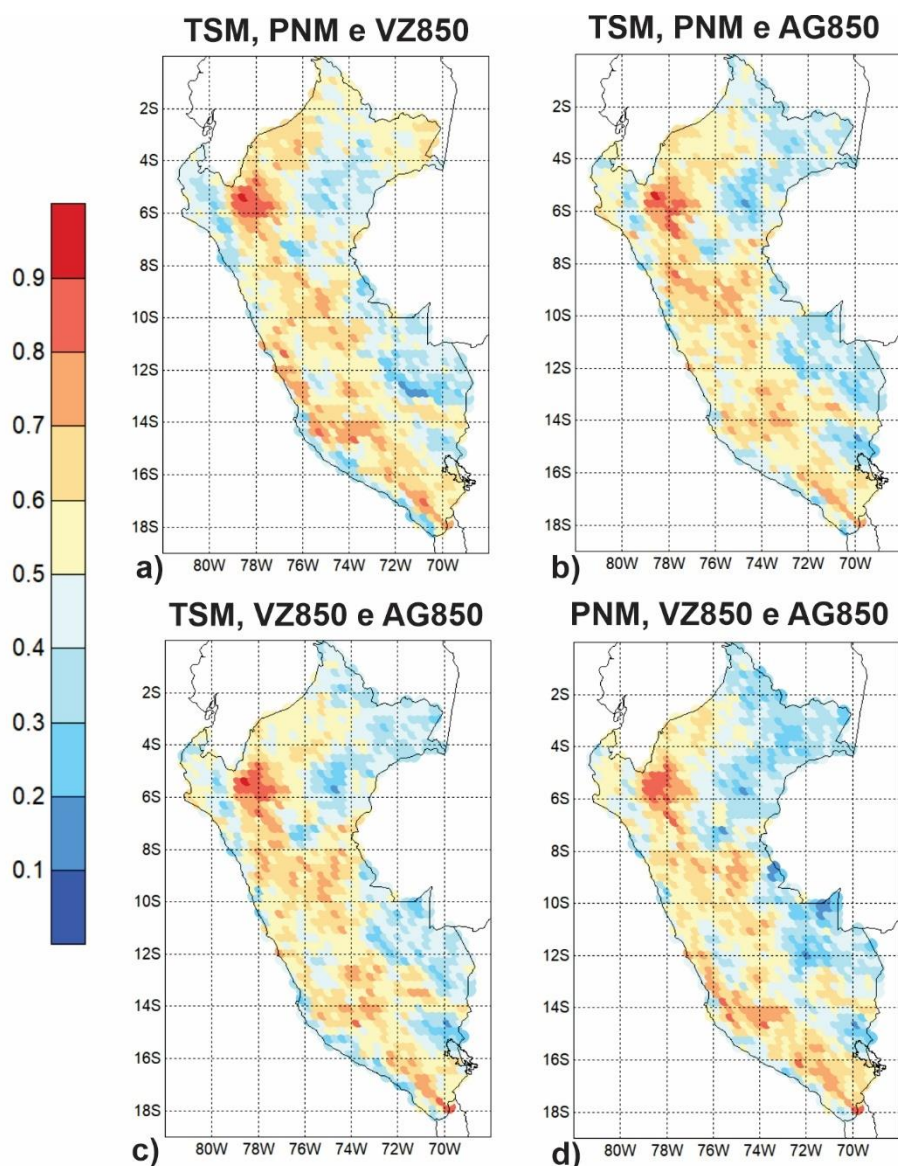
Figura 6.22: Area abaixo da curva ROC para a categoria precipitação abaixo da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.



Area abaixo da curva ROC para a categoria precipitação abaixo da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016, sendo as previsões produzidas com o modelo estatístico de regressão baseado em ACC utilizando como preditores a combinação de três variáveis, uma oceânica e duas atmosféricas: a) TSM, PNM e VZ850, b) TSM, PNM e AG850, c) TSM, VZ850 e AG850, e três variáveis atmosféricas d) PNM, VZ850 e AG850 do mês de outubro anterior ao período DJF.

Fonte: Produção do autor.

Figura 6.23: Área abaixo da curva ROC para a categoria precipitação acima da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016.



Área abaixo da curva ROC para a categoria precipitação acima da normal sobre o Peru para DJF no período 1981-2016, sendo as previsões produzidas com o modelo estatístico de regressão baseado em ACC utilizando como preditores a combinação de três variáveis, uma oceânica e duas atmosféricas: a) TSM, PNM e VZ850, b) TSM, PNM e AG850, c) TSM, VZ850 e AG850, e três variáveis atmosféricas d) PNM, VZ850 e AG850 do mês de outubro anterior ao período DJF.

Fonte: Produção do autor.

## 7. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo o desenvolvimento e avaliação de procedimentos para a produção de previsões climáticas sazonais de precipitação para DJF sobre o Peru emitidas no mês de outubro anterior através de abordagem estatística, ou seja, utilizando-se modelos estatísticos de regressão baseados em observações do passado empregando análise de correlação canônica. Para atingir esse objetivo, inicialmente foram identificados preditores atmosféricos e oceânicos para a construção dos modelos estatísticos. Após a identificação dos preditores os modelos estatísticos foram construídos, avaliados e o desempenho das previsões produzidas foram comparados.

As análises mostraram que os principais preditores de precipitação atmosférica e oceânica analisados no mês de outubro anterior ao DJF para a previsão de precipitação em DJF sobre o Peru foram a TSM, AG850, PNM, VZ850 e VZ200. No entanto, a influência e associação desses preditores com a precipitação varia devido à diferente posição geográfica dos setores de estudo no território peruano. A TSM (Temperatura da Superfície do Mar) foi identificada como um dos principais moduladores de precipitação sobre o Peru, isso devido à correlação defasada encontrada com setores da Costa Norte, Costa Central, Serra Norte, Serra Central, Serra Sul, Selva Norte e Selva Central do Peru; destaca-se a correlação positiva (negativa) associada ao aquecimento (resfriamento) do Oceano Pacífico equatorial nas regiões El Niño 1+2 e 3 que normalmente ocorre em anos de El Niño (La Niña) e o aumento (redução) dos índices pluviométricos em setores da Costa Norte, Costa Central (Serra Sul, Serra Central, Selva Central e Selva Sul) do Peru; e o setor da Selva Norte e Serra Norte do Peru estão associados ao aumento da precipitação nos dois eventos de La Niña e El Niño nas regiões 3 e 4 do Pacífico equatorial, porém, com maior influência de La Niña para a Selva Norte e de El Niño muito Forte para a Serra Norte do Peru. A variável (AG850) de altura geopotencial em níveis baixos, bem como a variável (PNM) de pressão ao nível médio do mar também foram identificados como importantes moduladores de precipitação na maioria

dos setores de estudo do Peru, removendo influência ou correlação apenas na Costa Sul para AG850 e o setor da Selva Central para PNM. O aumento (diminuição) da pressão atmosférica de baixo nível (850hPa) e da PNM sobre regiões do norte da Austrália e Indonésia durante eventos de El Niño (La Niña) sugere associações positivas (negativas) de excesso (déficit) de chuvas em setores como a Costa Norte, ao norte do Costa Central (Selva Norte, Selva Central e Selva Sul) do Peru; o aumento das precipitações sobre os setores da Serra Norte, Serra Central e Serra Sul estão associados ao aumento das anomalias de pressão AG850 e PNM nas regiões do Pacífico equatorial central e ocidental durante eventos de La Niña.

Entre os preditores atmosféricos encontrados com menor correlação com todos os setores de estudo do Peru está o vento zonal, que em níveis altos (200hPa) e médios (500hPa) está associado apenas aos setores da Costa Norte, Serra Norte, Serra Central e Serra Sul; além do setor da Costa Sul com VZ200. Quando o vento zonal em níveis altos (200hPa) aparece positivo no Oceano Índico e negativo no Pacífico equatorial ocidental, em níveis baixos o vento zonal (850hPa) aparece de forma oposta à descrita para VZ200; confirmando que durante eventos de El Niño (La Niña), as anomalias de vento de oeste (leste) predominam no Oceano Índico equatorial, e anomalias de vento de leste (oeste) predominam na região oeste do Oceano Pacífico equatorial, configurando assim ventos em convergência em VZ200 e ventos em divergência em VZ850 (ventos em divergência em VZ200 e ventos em convergência com VZ850), padrão que sugere aumento (diminuição) das precipitações em setores como a Costa Norte e Costa Sul (Serra Norte, Serra Central e Serra Sul) do Peru.

Com base na análise dos resultados anteriores das regiões com maior correlação entre os preditores oceânicos e atmosféricos e os nove setores de estudo do Peru, foi construído por meio da validação cruzada o modelo de regressão baseado na análise de correlação canônica (ACC) entre cada ponto da grade dos preditores (TSM, AG850, PNM, VZ850 e VZ200) e a precipitação do Peru para DJF. Os resultados associam em seus primeiros modos de variabilidade climática obtidos através da ACC os mesmos setores de estudo do Peru correlacionados com as regiões já descritas com valores de ACC acima de

0,8 que foram obtidos para as variáveis TSM, AG850, VZ850 e PNM; e para a variável VZ200, foi encontrado apenas um valor de ACC de 0,6; valor menor do que todos os anteriores. Ao avaliar as medidas de destreza das previsões produzidas, uma delas a correlação de Pearson, foi possível notar que o uso da variável TSM como preditora resultou em uma maior predominância de valores de correlação acima de 0,6 na produção de previsões de precipitação sobre o Peru em comparação com as demais variáveis predictoras investigadas. Se compararmos todos os preditores escolhidos, observa-se que as destrezas das previsões de precipitação produzidas utilizando como variáveis predictoras a TSM, AG850 e PNM são muito semelhantes na maioria dos setores do Peru, porém os preditores VZ850 e VZ200 apresentaram resultados consideravelmente diferentes, com correlações que não ultrapassaram o valor de 0,6 para o preditor VZ200. Como a variável oceânica (TSM) foi identificada como o preditor predominante para a precipitação sobre o Peru, esta variável foi combinada com outras variáveis atmosféricas, incluindo PNM, TSM e AG850, resultando em maiores índices de habilidade preditiva nos setores ao norte do Peru. No entanto, a combinação da TSM com VZ850 apresentou maiores valores dos índices de habilidade preditiva para o sul do Peru. Por outro lado, a combinação da TSM com VZ200 apresentou menores valores dos índices de destreza em relação às demais variáveis analisadas, e portanto, foi descartada nas próximas combinações. Finalmente, quando todos os preditores que foram identificados apresentando os maiores patamares de habilidade preditiva foram combinados (em referência à análise de destreza desenvolvida combinando vários preditores e analisando os valores da correlação de Pearson e a área abaixo a curva ROC para ambas as categorias abaixo do normal e acima do normal), nota-se que as duas combinações TSM, PNM e VZ850, e TSM, PNM e AG850 apresentaram-se como as mais proeminentes e com resultados semelhantes. Quando a variável TSM não foi utilizada, ou seja, combinando-se apenas as variáveis atmosféricas (PNM, VZ850 e AG850) como predictoras, notou-se que essas variáveis combinadas reproduziram de forma comparável os níveis de destreza atingidos quando a variável oceânica (TSM) foi utilizada como preditora para a precipitação sobre o Peru. No entanto, para representar as

contribuições atmosféricas e oceânicas associadas aos mecanismos físicos que modulam a variabilidade climática de precipitação na escala sazonal sobre o Peru recomenda-se considerar a combinação de pelo menos uma variável atmosférica com a TSM como preditoras para a produção de previsões climáticas sazonais de precipitação para o Peru.

Sugestões para trabalhos futuros para o avanço da metodologia de produção de previsão climática sazonal para o Peru incluem: a) a investigação de procedimentos de calibração através do pós-processamento dos resultados de previsões produzidas por modelos climáticos dinâmicos globais, considerando-se as variáveis preditoras atmosféricas (AG850, PNM, VZ850 e VZ200) e oceânica (TSM) identificadas nesse presente estudo como relevantes para o Peru, assim como a calibração das previsões da variável precipitação sobre o Peru produzidas por modelos dinâmicos globais; e b) a investigação de procedimentos de combinação de previsões climáticas sazonais de precipitação para o Peru produzidas por modelos dinâmicos globais e por modelos estatísticos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, R.F.; HUFFMAN, G.J.; CHANG, A.; FERRARO, R.; XIE, P.P.; JANOWIAK, J.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER, U.; CURTIS, S.; BOLVIN, D.; GRUBER, A.; SUSSKIND, J.; ARKIN, P.; NELKIN, E. The version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-Present). **Journal of Hydrometeorology**, v. 4, n. 6, p.1147–1167, 2003. Disponível em [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2003\)004<1147:TVGPCP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2003)004<1147:TVGPCP>2.0.CO;2) . Acesso em: 24 fev. 2021.

ALBERT, A.; ECHEVIN, V.; LÉVY, M.; AUMONT, O. Impact of nearshore wind stress curl on coastal circulation and primary productivity in the Peru upwelling system. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v.115, n. C12, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2010JC006569>. Acesso em: 12 abr. 2021.

ARLOT, S., CELISSE, A. A survey of cross-validation procedures for model selection. **Statistics Surveys**, v. 4, p. 40-79, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1214/09-ss054> . Acesso em: 02 maio 2021.

BARNSTON, A. G.; SMITH, T. M. Specification and prediction of global surface temperature and precipitation from global SST using CCA. **Journal of Climate**, v. 9, n. 11, p. 2660–2697, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009<2660:SAPOGS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<2660:SAPOGS>2.0.CO;2). Acesso em: 13 abr. 2021.

BAZO, J.C. **Proyecciones climáticas sobre Perú y su relación con el fenómeno ENSO**. 2014. Tese (Doutorado em Meteorologia, Oceanografia e Cambio Climático) - Universidad de Vigo, 2014. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=222284> . Acesso em: 11 abr. 2021.

BEZERRA, A.C; PEZZI, L.P.; KAYANO, M.T. Esquema Estatístico de Combinação e Correção de Previsões Climáticas – ECCOCLIM, Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso), v.23, p.347-359. 2008. Disponível em <https://doi.org/10.1590/S0102-77862008000300010> . Acesso em: 15 set. 2022.

BOUALLÈGUE, Z. B.; RICHARDSON, D. S. On the ROC area of ensemble forecasts for rare events. **Weather and Forecasting**, v. 37, n.5, p.787–796, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/waf-d-21-0195.1>. Acesso em: 22 maio 2022.

BOYIN, H.; PETER, W.; VIVA, F.; TIM, B.; GENNADY, C. H.; JAY, H.; MATTHEW, J., THOMAS, M.; RUSSELL, S.; HUAI-MIN, Z. **Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, version 5 (ERSSTv5): upgrades, validations, and intercomparisons**. American Meteorological Society, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1> Acesso em: 07 maio 2021.

CALDERON, V. R. A. **La fragmentación territorial y el desarrollo de las regiones del Perú**. Dissertação (Mestrado) - Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019. Disponível em: <https://n9.cl/ojazz> . Acesso em: 28 abr. 2021.

CARLES, M. C. **Nuevos metodos de analisis multivariante**. [S.l.]: CMC, 2014. Disponível em: <https://n9.cl/t71mp> . Acesso em: 28 jul. 2022.

CORREA, K.; AVALOS, G.; CUBAS, F.; DE LA CRUZ, G.; DÍAZ, A. **Orientaciones para el análisis del clima y determinación de los peligros asociados al cambio climático**. SENAMHI, 2019. Disponível em: <https://n9.cl/00lnu>. Acesso em: 20 ago. 2022.

CUADROS, J. C. **Modelamiento hidrológico de la sub cuenca del río Pachachaca con precipitación proveniente de satélite**. UNSA, 2020. Disponível em: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11178>. Acesso em: 23 ago. 2021.

CUSHMAN, B.; BECKERS, J. M. **Introduction to geophysical fluid dynamics physical and numerical aspects**. [S.l.]: Analysis, 2008. Disponível em: <https://n9.cl/hjt1c> . Acesso em 13 abr. 2021.

DANILA, V.; BATTÉ, L.; GUÉRÉMY, J.; DÉQUÉ, M. Teleconnection-based evaluation of seasonal forecast quality. **Climate Dynamics**, v.55, p.1353-1365, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05327-x>. Acesso em: 13 Abr. 2021.

DIJKSTRA, H. A. Dynamics oceanography. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>. Acesso em 14 Ago. 2021.

DOMINGUEZ, F.; SERRANO, S.; LÓPEZ, J.; CORREA, K.; AVALOS, G.; MOLINA, C.; KENAWY, A.; BURGUERA, M.; GALLARDO, M.; GIMENO, L.; NIETO, R. **Mapping seasonal and annual extreme precipitation over the Peruvian Andes**. International Journal of Climatology, v.38, n.13, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.5739> . Acesso em: 06 jul. 2021.

ESCAJADILLO F. Y.; PASTOR D. F. J.; BARRETO S. C. **Verificación de los pronósticos estacionales de precipitación a nivel nacional para la temporada de lluvias 2016-2017**. 2017. Disponível em: <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/273>. Acesso em 11 Abr. 2021.

FALLAS, B.; Y ALFARO, E. J. Uso de herramientas estadísticas para la predicción estacional del campo de precipitación en América Central como apoyo a los Foros Climáticos Regionales: análisis de correlación canónica. **Revista de Climatología**, n.12, p.61-79, 2012. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7416858>. Acesso em: 13 abr. 2021

GARREAUD, R. D. The Andes climate and weather. **Advances in Geosciences**, v. 22, p. 3–11, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/adgeo-22-3-2009>. Acesso em: 10 abr. 2021.

GOLIAN, S.; RUIGAR, H. Assessing the correlation between climate signals and monthly mean and extreme precipitation and discharge of Golestan Dam Watershed. **Earth Sciences Research Journal**, v. 19, n. 1, p. 65–72, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/esrj.v19n1.40996>.

HARRISON, M.; KANGA, A.; MAGRIN, G. O.; HUGO, G.; TARAKIDZWA, I.; MULLEN, C.; MEINKE, H. **Use of seasonal forecasts and climate prediction in operational agriculture**. [S.l.]: NOAA, 2007. Disponível em: <http://www.wamis.org/agm/pubs/CAGMRep/CAGM102.pdf> . Acesso em 25 Mar 2022.

HOSSAIN, Z. et al. Assessment of better prediction of seasonal rainfall by climate predictability tool using global sea surface temperature in Bangladesh. **Asian Journal of Advanced Research and Reports**, v. 4, n. 4, p.1-13, 2019. Disponível em: DOI: 10.9734/AJARR/2019/v4i430116. Acesso em: 03 Mai. 2021.

IAN, T. J.; STEPHENSON, D. B. **Forecast verification: a practitioner's guide in atmospheric science**. Chichester: John Wiley and Sons, 2012. Disponível em: <https://n9.cl/4zhyw> . Acesso em 11 ago. 2021.

IMFELD, N.; BARRETO, C.; CORREA, K.; JACQUES, M.; SEDLMEIER, K.; GUBLER, S.; HUERTA, A.; BRÖNNIMANN, S. Summertime precipitation deficits in the southern Peruvian highlands since 1964. **International Journal of Climatology**, v.39, n.11, p.4497-4513, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.6087>. Acesso em 17 Abr. 2021.

GUTIÉRREZ, D.; BERTRAND, A.; WOSNITZA-MENDO, C.; DEWITTE, B.; PURCA, S.; PEÑA, C.; GUEVARA C. R. **Sensibilidad del sistema de afloramiento costero del Perú al cambio climático e implicancias ecológicas**. Revista Peruana Geo Atmosférica, v. 26, n. 3, p. 1–24, 2011. Disponível em: <https://n9.cl/abypl> . Acesso em 10 Mar. 2022.

KESSLER, W. S. **The circulation of the eastern tropical Pacific**: a review. **Progress in Oceanography**, v. 69, n.2/4, p.181–217, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.009>. Acesso em 20 Abr. 2021.

KIARA, M. F. Evaluación del comportamiento pluvial en la costa y Serra de las regiones tumbes, piura, lambayeque y la libertad con la herramienta estadística cpt: análisis de correlación canónica. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA Y DIRECCIÓN DE PROYECTOS, 3., 2017. **Proceedings...** 2017. Disponível em: <https://n9.cl/t0pkv> . Acesso em: 14 Abr. 2021.

LAVADO, W.; ESPINOZA, J. C. Impactos de El Niño y La Niña en las Lluvias del Perú (1965-2007). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 2, p.171–182, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000200003> Acesso em: 17 Abr. 2021.

LIRA S.A. **Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em: <https://n9.cl/tvca7> . Acesso em: 22 Abr. 2021.

MASON, S. J.; GRAHAM, N. E. Areas beneath the relative operating characteristics (ROC) and relative operating levels (ROL) curves: statistical significance and interpretation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 128, n. 584, p. 2145-2166, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1256/003590002320603584>. Acesso em: 15 Mai. 2022.

MEHR, D. A.; JABARNEJAD, M.; NOURANI, V. **Pareto-optimal MPSA-MGGP: a new gene-annealing model for monthly rainfall forecasting**. *Journal of Hydrology*, v. 571, p. 406–415, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.003>. Acesso em 28 Mai. 2021.

MOHAMMADI, B.; VAHEDDOOST, B.; DANANDEH A. **A spatiotemporal teleconnection study between peruvian precipitation and oceanic oscillations**. *Quaternary International*, v.565, p.1-11, 2020. DOI: 10.1016/j.quaint.2020.09.042. Acesso em 21 Abr. 2021.

MORÓN, O. Características del ambiente marino frente a la costa peruana. **Boletín del Instituto del Mar Del Peru**, v.19, n.1/2, 2000. Disponível em: <https://n9.cl/4taws> . Acesso em 20 Jun. 2022.

PASTOR, F. **Determinación de la calidad de los pronósticos estacionales generados a partir de áreas predictoras para Cusco y Puno**. Molina: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2018. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3347> . Acesso em 07 Abr. 2021.

PERRY, L. B.; SEIMON, A.; KELLY, G. M. Precipitation delivery in the tropical high Andes of southern Peru: new findings and paleoclimatic implications. **International Journal of Climatology**, v. 34, p. 197–215, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.3679>. Acesso em: 19 Abr. 2021.

PEZZI, L. P.; KAYANO, M. T. An analysis of the seasonal precipitation forecasts in South America using wavelets. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 11, p. 1560–1573, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.1813>. Acesso em: 20 Mai. 2022.

PEZZI, L. P.; UBARANA, V.; REPELLI, C. Desempenho e previsões de um modelo regional estatístico para a região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 18, n. 2, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0102-261x2000000200003>. Acesso em 17 Abr. 2021.

QUISPE V., K. **Patrones sinópticos de una dana asociados a la ocurrencia de nevadas en la Serra central y sur del Perú.** [S.I.]: UNALM, 2017.

Disponível em: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3632>.

RODRIGO, J. B. **Seasonal predictability of summer rainfall over South America.** Virginia: George Mason University, 2018. Disponível em:

<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0191.1>. Acesso em 14 Abr. 2021.

ROSAS, G. GUBLER S.; ORIA C.; ACUNA D.; AVALOS G.; BEGERT M.; CASTILLO E.; CROCI-MASPOLI M.; CUBAS F.; DAPOZZO M.; DIAZ A.; GEIJTENBEEK D. ...VILLEGAS E. Towards implementing climate services in Peru: the project CLIMANDES. **Climate Services**, v. 4, p. 30-41, 2016.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2016.10.001>. Acesso em 25 Mai. 2021.

SATYAJIT R. **Monsoon rainfall forecasting for different hydrological regions of Bangladesh using Climate Predictability Tool (CPT).** [S.I.]:

Institute of Water and Flood Management, 2015. Disponível em:

<http://lib.buet.ac.bd:8080/xmlui/handle/123456789/4507> . Acesso em 27 Jul. 2021.

SCAIFE A. A.; COMER R. E.; DUNSTONE N.J. KNIGHT J.R.; SMITH D.M.; MACLACHLAN C.; MARTIN N. PETERSON K.A.; CARROLL E.B.; BELCHER S.; SLINGO J. Tropical rainfall, rossby waves and regional winter climate predictions. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 143, n. 702, p. 1–11, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/qj.2910>. Acesso em 14 Jul. 2021.

SCHEULER, P. R. **Sistemas frontais associados a episódios de zona de convergência do atlântico sul.** Monografia (Graduação em Meteorologia) -

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/178813>. Acesso em 07 Jul. 2021.

SEGURA, H.; ESPINOZA, J. C.; JUNQUAS, C.; LEBEL, T.; VUILLE, M.; GARREAUD, R. Recent changes in the precipitation-driving processes over the southern tropical Andes/western Amazon. **Climate Dynamics**, v. 54, p.2613-2631, 2020. DOI:10.1007/s00382-020-05132-6. Acesso em: 03 Mar. 2022.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA, **Sectorización climática del territorio peruano.** SENAMHI, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/976>. Acesso em 29 abr. 2021.

SHU, W.; MICHAEL, N.; STEPHEN, V.; MORTENSEN, E.; MONTGOMERY, R.; PIÉROLA, J.; BLOCKB, P. Efficacy of tendency and linear inverse models to predict southern Peru's rainy season precipitation. **Journal of the Royal Meteorological Society**, v.38, n.5, p.2590-2604, 2018. DOI: 10.1002/joc.5442. Acesso em 20 abr. 2021.

SIMÕES REBOITA, M.; ALONSO GAN, M. PORFÍRIO DA ROCHA, R.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. 2, p. 198–199, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/yhrG5QPXhBCKZxcGKgyzWvf/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 17 abr. 2021.

SULCA, J.; TAKAHASHI, K.; ESPINOZA J.C.; VUILLE M.; LAVADO W. **Impacts of different ENSO flavors and tropical Pacific convection variability (ITCZ, SPCZ) on austral summer rainfall in South America, with a focus on Peru**. *International Journal of Climatology*, v. 38, n.1, p.420-435, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.5185> Acesso em 15 Jul. 2021.

TICSE DE LA TORRE, K. E. **Caracterización de la dinámica oceánica de la costa peruana bajo diferentes escenarios de esfuerzo de vientos**. Monografía (Graduação em Física) - Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/3177>. Acesso em 11 abr. 2021.

VUILLE, M.; FRANQUIST, E.; GARREAUD, R.; LAVADO, W.S.; CÁCERES, B. Impact of the global warming hiatus on Andean temperature. **Journal of Geophysical Research Atmosphere**, v. 120, p. 3745–3757, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/jgrd.v120.9>. Acesso em 15 Mai. 2021.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 4.ed. [S.l.]: Elsevier Inc, Academic Press, 2020. P. 669-694. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03921-6> . Acesso em: 12 abr. 2021.

YANG, Y. Y.; HUANG, S. Suitability of five cross validation methods for performance evaluation of nonlinear mixed-effects forest models – a case study. **Forestry**, v. 87, p. 654-662, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpu025>. Acesso em 20 Mai. 2021.

ZACARIA, H. et al. Title assessment of better prediction of seasonal rainfall by Climate Predictability Tool (CPT) using global sea surface temperature in Bangladesh. **Asian Journal of Advanced Research and Reports**, v.4, n.4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.9734/ajarr/2019/v4i430116>. Acesso em 27 Jun. 2021.

ZAPANA, Q. M. M. **Análisis de la sequía meteorológica de la intercuenca alto Apurímac y las cuencas Alto Urubamba y Yavero utilizando el método de I-momentos**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2019. Disponível em: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4107>. Acesso em: 05 Jul. 2022.

ZHENNING, L.; YANG S.; TAM C.Y.; HU C. Strengthening western equatorial Pacific and Maritime Continent atmospheric convection and its modulation on the trade wind during spring of 1901–2010. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. 2, p. 1455-1464, 2020. <https://doi.org/10.1002/joc.6856> Acesso em 22 Jun. 2022.

ZUTA, S.; GUILLÉN O. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. **Boletín Instituto del Mar del Perú-Callao**, v. 2, n.5, 1970. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12958/949>. Acesso em: 15 abr. 2021.