

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

CAROLINA CAMPORÊZ CORRÊA

ESTUDO DAS ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE
DO MAR NO ATLÂNTICO SUL NO PERÍODO DO VERÃO-OUTONO DE 2019

Macaé, julho de 2020

CAROLINA CAMPORÊZ CORRÊA

ESTUDO DAS ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE
DO MAR NO ATLÂNTICO SUL NO PERÍODO DO VERÃO-OUTONO DE 2019

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma Abordagem Técnica e Integrada.

Orientadora: D.Sc. Maria Gertrudes A. Justi da Silva
Coorientadora: M.Sc. Natália Tasso Signorelli

Macaé, julho de 2020

FICHA CATALOGRÁFICA PREPARADA PELA BIBLIOTECA DO CAMPUS MACAÉ

551.5775
C824e
2020

Corrêa, Carolina Camporêz

Estudo das anomalias de precipitação e temperatura da superfície do mar no Atlântico Sul no período do verão-outono de 2019 / Carolina Camporêz Corrêa. — Macaé: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Laboratório de Meteorologia, 2020.

44 f. : il.

Monografia (Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma abordagem Técnica e Integrada)

Orientadora: Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva.

Coorientadora: Natália Tasso Signorelli.

Bibliografia: f. 40-44

1. Anomalia 2. Satélite 3. Oceano Atlântico Sul I. Título.

CAROLINA CAMPORÉZ CORRÊA


ESTUDO DAS ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE
DO MAR NO ATLÂNTICO SUL NO PERÍODO DO VERÃO-OUTONO DE 2019

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima, Água e Energia: uma Abordagem Técnica e Integrada.

Aprovado em 30 de julho de 2020

BANCA EXAMINADORA


Prof. Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira, D.Sc., UFRJ


Tânia Ocimoto Oda, D.Sc., IEAPM


Natalia Tasso Signorelli, M.Sc., FUGRO
(Coorientadora)


Prof.ª Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva, D.Sc., UENF
(Orientadora)

Aos meus pais e mestres,
com carinho dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e a Universidade Federal do Rio de Janeiro, pelo ensino gratuito e de qualidade.

À Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) pela disponibilização dos conjuntos de dados aqui utilizados.

À professora e minha querida orientadora Justi pelo carinho e compreensão ao longo de todo o curso e durante a elaboração deste trabalho.

À minha coorientadora Natália, não tenho palavras para descrever o cuidado, paciência e dedicação. A sua disposição e incentivo fizeram com que esse trabalho se tornasse real.

Aos amigos e familiares que tornaram esse trabalho possível com seu incentivo e suporte nos momentos de dificuldade. Em especial a Camila, Cecilia, Josué, Marina e Moisés que acompanharam de perto esse processo.

À Mari, minha parceira de pós, agradeço pelas caronas, momentos de incentivo e trabalhos em grupo que compartilhamos. Ter alguém conhecido por perto tornou o processo mais fácil.

RESUMO

Neste trabalho é investigado se o comportamento da temperatura da superfície do mar e da precipitação observadas entre o verão e o outono de 2019 apresentaram diferenças em relação às médias mensais tomadas nos últimos anos. Para tal, foram analisados dados observados diariamente através de satélites para as regiões da América do Sul e do Atlântico Sul. Os dados utilizados foram extraídos da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos (NASA). Anomalias negativas de precipitação foram observadas em toda a área de estudo, sobretudo nos meses de dezembro e janeiro. A temperatura da superfície do mar do Atlântico Sul esteve acima do normal, especialmente na região ao norte de 30°S. A análise da correlação sugere que a precipitação em Salvador responde melhor às variações de temperatura do Atlântico Tropical. Já a variação da precipitação sobre o Rio de Janeiro aparenta estar inversamente correlacionada à temperatura do Atlântico Subtropical adjacente, e diretamente relacionada ao aumento da temperatura do Atlântico Tropical Sul. Os resultados encontrados corroboram com outros descritos na literatura, embora mais análises sejam necessárias para explorar mais a fundo o papel de variabilidades climáticas como o *El Niño* e o Dipolo do Atlântico Sul.

Palavras-chave: Anomalia. Satélite. Oceano Atlântico Sul.

ABSTRACT

In this study, satellite data, from 2003 to 2019, were used to investigate if the sea surface temperature and the precipitation anomalies for the summer-autumn of 2019 were different from the historic monthly averages observed for the South America and South Atlantic Ocean regions. Negative precipitation anomalies prevailed mainly in December and January. Positive sea surface temperature anomalies were predominant, especially above 30°S. The results suggest the precipitation over Salvador is linked to the SST over the Tropical Atlantic. Moreover, there is indication that the precipitation over Rio de Janeiro is sensible not only to the temperature over the Tropical Atlantic, but also to the variability of the Subtropical Atlantic Ocean. These results agree with those described in previous work, although further investigation is necessary to fully understand the role of climate variabilities, such as *El Niño* and South Atlantic Dipole.

Keywords: Anomaly. Satellite. South Atlantic Ocean.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudo.....	18
Figura 2: <i>Global Precipitation Measurement Core Observatory</i> lançado em 27 de fevereiro de 2014. Fonte: Huffman <i>et al.</i> , 2019.	20
Figura 3: Precipitação acumulada média mensal dos anos de 2003 a 2018.	24
Figura 4: Anomalia de precipitação de dezembro de 2018 a maio de 2019.....	26
Figura 5: Média mensal da temperatura da superfície do mar para os anos de 2003 a 2018. ..	28
Figura 6: Anomalia de temperatura da superfície do mar de dezembro de 2018 a maio de 2019.	30
Figura 7: Precipitação acumulada média mensal para o Rio de Janeiro no período de 2003 a 2018 em comparação com o acumulado no ano de 2019.	32
Figura 8: Correlação entre temperatura da superfície do mar e precipitação para a cidade do Rio de Janeiro do período de dezembro de 2003 a maio de 2019. As linhas em preto representam o intervalo de confiança de 95%.....	33
Figura 9: Precipitação acumulada média mensal para Salvador no período de 2003 a 2018 em comparação com o acumulado no ano de 2019.	35
Figura 10: Correlação entre temperatura da superfície do mar e precipitação para a cidade de Salvador do período de dezembro de 2003 a maio de 2019. As linhas em preto representam o intervalo de confiança de 95%.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Localização dos pontos utilizados para extrair os dados de precipitação do <i>Global Precipitation Measurement</i> (GPM).	21
--	----

LISTA DE SIGLAS

ACAS	Água Central do Atlântico Sul
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
AT	Água Tropical
CB	Corrente do Brasil
CBM	Confluência Brasil-Malvinas
CM	Corrente das Malvinas
CNB	Corrente Norte do Brasil
ENSO	<i>El Niño</i> Oscilação Sul
GPM	<i>Global Precipitation Measurement</i>
IMERGE	<i>Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IR	Infravermelho
JAXA	Agência de Exploração Aeroespacial do Japão
MUR	<i>Multi-scale Ultra-High Resolution</i>
NASA	Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço
ONI	Índice Oceânico Niño
PPT	Precipitação
TRMM	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivos Específicos	13
2.	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	CARACTERIZAÇÃO OCEANOGRÁFICA.....	17
3.	METODOLOGIA	18
3.1	ÁREA DE ESTUDO	18
3.2	CONJUNTOS DE DADOS	19
3.2.1	Temperatura da superfície do mar	19
3.2.2	Precipitação.....	19
3.3	PROCESSAMENTO	21
3.3.1	Médias e anomalias mensais.....	21
3.3.2	Coeficiente de Correlação de Pearson	22
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
4.1	ANÁLISE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO.....	23
4.1.1	Médias de precipitação	23
4.1.2	Anomalia de precipitação	25
4.2	ANÁLISE ESPACIAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR.....	27
4.2.1	Médias de temperatura da superfície do mar	27
4.2.2	Anomalia de temperatura da superfície do mar	29
4.3	RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO E A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR	31
4.3.1	Precipitação acumulada mensal Rio de Janeiro.....	31
4.3.2	Precipitação acumulada mensal Salvador.....	34

5.	CONCLUSÕES	38
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1. INTRODUÇÃO

Dentre os sistemas meteorológicos que atuam sobre as regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste do Brasil, estão os sistemas frontais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Os sistemas frontais atuam durante todo o ano, mas a trajetória e a extensão que eles percorrem até atingir latitudes mais baixas se diferenciam em relação à proximidade com o litoral. Além disso, a intensidade da convecção associada a esses sistemas varia com a época do ano, sendo muito influenciada pelas condições de instabilidade do ar encontradas no deslocamento dos mesmos (CAVALCANTI *et al.*, 2009; SELUCHI; MARENGO, 2000).

Por outro lado, grande parte das chuvas que atingem diversas regiões do Brasil durante o verão está associada à ZCAS. A temperatura da superfície do mar (TSM) do Atlântico Sul tem papel importante na estabilidade atmosférica e no suprimento de umidade para a convecção profunda, tanto costeira (BARROS *et al.*, 2000) quanto oceânica (BARREIRO; CHANG, SARAVANAN, 2002). Estes processos afetam diretamente a ZCAS e a formação de ciclones subtropicais, que resultam em chuvas intensas com sérios problemas de cunho social e econômico, tanto nas zonas urbanas quanto rurais (LIMA *et al.*, 2010; CAVALCANTI *et al.*, 2009).

Durante os meses de março a maio de 2019 foram observados sistemas meteorológicos mais intensos do que o registrado em anos anteriores. Esses sistemas foram observados atuando sobre o Atlântico em latitudes correspondentes aos estados da Bahia e do Espírito Santo. Além de afetar as atividades marítimas, essas tempestades também impactaram a região costeira de ambos os estados (INMET, 2019). O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Marinha do Brasil chegaram a identificar uma tempestade tropical nesse mesmo período, denominada Iba.

O monitoramento e estudo da TSM podem contribuir para uma melhora na previsão climática, uma vez que esta serve como forçante para os modelos numéricos acoplados (oceano-atmosfera) usados nessa previsão climática. Desde 1981, é possível monitorar globalmente a TSM a partir de radiômetros a bordo de satélites (NASA,

2019b). Além disso, indicações mais assertivas de possíveis períodos de secas ou de chuvas intensas auxiliam a tomada de decisão por parte dos órgãos governamentais e favorecem a sociedade como um todo.

Diante desse cenário, deseja-se investigar se as anomalias de TSM e de precipitação (PPT) do Atlântico Sul, no período de janeiro a maio de 2019, foram diferentes da média dos valores registrados nos últimos quinze anos e, caso sejam, qual a relação entre elas.

1.1 OBJETIVOS

Investigar se a TSM do Atlântico Sul e da PPT para o período entre dezembro de 2018 e maio de 2019 diferiram dos valores históricos, considerando os últimos 15 anos de observações por satélite.

Estabelecer a correlação entre a TSM e a PPT utilizando como pontos de referência as cidades do Rio de Janeiro (RJ) e Salvador (BA).

1.1.1 Objetivos Específicos

- Calcular a média mensal da precipitação e da TSM na região que compreende o Brasil e o Atlântico Sul adjacente, utilizando os últimos 15 anos de observações feitas por instrumentos a bordo de satélite.
- Calcular as anomalias mensais da TSM e da precipitação para analisar o quanto os valores registrados no período de dezembro de 2018 a maio de 2019 diferem da média histórica.
- Comparar a média histórica (2003-2018) de precipitação das cidades do Rio de Janeiro e Salvador com a precipitação em 2019.

- Calcular as correlações entre as precipitações nestas capitais e a temperatura da superfície do mar, e investigar se foram estatisticamente significativas, considerando o nível de confiança de 95%.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Devido à extensão continental do país, o regime de chuvas no Brasil varia dependendo da região analisada. No Sudeste por exemplo, o período mais seco ocorre durante o inverno austral, sobretudo no mês de maio enquanto o período mais chuvoso ocorre de dezembro a fevereiro (INMET, 2018). Dentre os sistemas que atuam na região durante o verão austral, destaca-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), cujo posicionamento é influenciado pelas anomalias de temperatura da superfície do mar (BARROS *et al.*, 2000).

Segundo Cataldi *et al.* (2010), anomalias positivas da TSM na região de Confluência Brasil-Malvinas intensificam os sistemas de baixa pressão que passam sobre esta região, pois favorecem os movimentos ascendentes de ar. Em consequência, pode ocasionar diminuição de precipitação na região Sul e favorecer um deslocamento da formação da ZCAS, mais ao norte da região Sudeste (SELUCHI; MARENGO, 2000).

A ASAS, sistema de alta pressão que atua sobre o Atlântico Sul, exerce grande influência no clima da América do Sul, no inverno e no verão. No inverno a ASAS pode inibir a entrada de frentes e no verão afeta o transporte de umidade ao longo da ZCAS (BASTOS; FERREIRA, 2000). A ASAS também pode influenciar o regime de chuvas na região tropical dependendo de seu posicionamento (BASTOS; FERREIRA, 2000; CAVALCANTI *et al.*, 2009). Este sistema, quando localizado mais ao sul e mais próximo ao continente, favorece o aumento de precipitação no litoral norte do Nordeste (LIMA, 1991).

Outros sistemas também podem atuar e influenciar no regime de chuvas sob a América do Sul. Os vórtices ciclônicos de altos níveis (VCANs) que ocorrem na alta atmosfera, contribuem para troca de energia entre os trópicos e subtropicais podendo causar secas ou inundações dependendo de seu posicionamento. Dentre as áreas mais afetadas por esse sistema transiente estão o Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil (LOURENÇO, 1996; RAMIREZ, 1997; KOUSKY; GAN, 1981; MISHRA *et al.*, 2001, SILVA, 2005).

O regime de chuvas do Norte/Nordeste brasileiro, entretanto, é influenciado principalmente pelo posicionamento da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT (LIMA, 1991), que sofre influência do gradiente meridional de TSM próximo do Equador, conhecido como Dipolo do Atlântico. De acordo com Hastenrath e Heller, (1977); Moura e Shukla (1981); Aragão (1998); Rossi-Wongtschowski e Madureira (2006); Nobrega e Santiago (2014), durante a fase negativa (positiva) do Dipolo, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais frias (quentes) e as águas do Atlântico Tropical Sul estão mais quentes (frias), há um deslocamento para sul (norte) da confluência dos ventos alísios, favorecendo a precipitação acima da média sobre o norte do Nordeste.

Na literatura existem também diversos estudos que apontam a relação entre a PPT, e as anomalias de TSM no Pacífico, ligadas ao *El Niño* Oscilação Sul (ENSO). As variações do ENSO afetam a TSM do Atlântico Sul resultando em uma maior influência do anticiclone subtropical na costa do Sudeste. Essa configuração acarretaria na formação um bloqueio dos sistemas frontais e anomalias positivas de precipitação no Sul (DIAZ; STUDZINSKI; MECHOSO, 1997).

Marengo, Druyan e Hastenrath (1993) observaram que durante anos de *El Niño* a ZCIT encontra-se mais ao norte de sua posição normal, o que enfraquece os ventos alísios, e reduz o aporte de umidade para o Nordeste, favorecendo a redução da precipitação sobre a região.

A atuação concomitante do ENSO e do Dipolo geram efeitos distintos sobre a precipitação no Nordeste. Segundo Pezzi e Cavalcanti (2001), sob condições de *El Niño* e Dipolo positivo, as precipitações ficam abaixo da média em toda a região. A combinação de *El Niño* e Dipolo negativo favorece chuvas acima da média no norte do Nordeste e abaixo nas demais áreas. Em caso de ocorrência de *La Niña* com Dipolo negativo, observam-se chuvas acima da média. Por fim, a combinação de *La Niña* com Dipolo positivo, favorece precipitações abaixo da média em todo Nordeste. Os autores ainda enaltecem que a influência do Dipolo no Atlântico Tropical sobre as chuvas no Nordeste é mais pronunciada nos períodos de *La Niña* do que nos de *El Niño*.

2.1 CARACTERIZAÇÃO OCEANOGRÁFICA

Dentre as correntes de contorno oeste que influenciam a costa brasileira estão a Corrente do Brasil (CB), a Corrente Norte do Brasil (CNB) e a Corrente das Malvinas (CM). A CB está associada ao Giro Subtropical do Atlântico Sul, é originada em 10°S e flui para sul, onde se encontra com a CM em torno de 38°S formando a região de Confluência Brasil-Malvinas (CBM) (SILVEIRA *et al.*, 2000). A CB transporta, na porção mais próxima à superfície, a Água Tropical (AT) e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (SILVEIRA *et al.*, 2000).

A AT é formada através da intensa radiação e evaporação no Atlântico Tropical Sul. Emilsson (1961) menciona que a camada superficial na região tropical do Atlântico Sul possui águas mornas com temperaturas máximas acima de 25°C. Essas formam a AT que perde calor para atmosfera ao fluir em direção ao sul e nesse percurso se mistura às águas oriundas da região costeira, mais frias. A Água Tropical é descrita na literatura por possuir temperaturas maiores que 20°C (EMILSSON, 1961; SILVEIRA *et al.*, 2000).

A ACAS, por sua vez, conforme descrito por Sverdrup, Johnson e Fleming (1942), é formada através do processo de subsidência que ocorre na região de Convergência Subtropical do Atlântico Sul e posterior espalhamento. Essa massa d'água possui temperatura entre 6 e 18°C.

Kampel (2003), menciona que a Corrente do Brasil, ao longo de sua extensão, em alguns locais, pode invadir a plataforma continental, como ocorre ao sul de Cabo Frio, rompendo a isóbata de 200 m e formando um meandramento ciclônico. Esse mesmo autor, identificou meandramentos de até 120 km de extensão nesta região.

Ao estudar TSM a partir de satélites, Kampel *et al.* (2015) e Kampel (2003) mencionam a ocorrência de variabilidade espacial de TSM ao longo da costa brasileira. Além disso, é observada variabilidade sazonal dos dados no qual as séries temporais dos valores médios de TSM apontaram elevação da temperatura no verão, sobre a plataforma e no outono sobre talude com máximas observadas em fevereiro e março, respectivamente.

3. METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 1) deste trabalho está compreendida nas coordenadas de 0 a 30°S e 25 a 60°W. A mesma abrange quase em sua totalidade o território brasileiro e a porção do Atlântico Sudoeste. Os sistemas meteorológicos e as correntes que influenciam essa região foram abordadas na Seção 2.

Dentro desse limite foram selecionadas as cidades do Rio de Janeiro e Salvador como pontos focais para correlacionar as variáveis TSM e PPT. As mesmas estão destacadas em vermelho no mapa. Optou-se por essas duas capitais devido à percepção da passagem de sistemas frontais mais intensos no ano de 2019 pelo Rio de Janeiro e pela presença da tempestade tropical Iba que ocorreu próxima a costa da Bahia.



Figura 1: Área de estudo.

3.2 CONJUNTOS DE DADOS

Para este estudo, foram selecionados dados de temperatura da superfície do mar e de precipitação adquiridos entre dezembro de 2003 e maio de 2019. Médias climatológicas mensais de 15 anos de dados (2003-2018) foram utilizadas como referência para a análise dos registros feitos no período de dezembro de 2018 a maio de 2019. Foram selecionados o verão e outono de 2019 no qual acredita-se que tenham ocorrido anomalias significativas.

3.2.1 Temperatura da superfície do mar

A temperatura da superfície do mar é comumente observada através de sensores de microondas e de radiação infravermelha (IR). O primeiro normalmente possui menor resolução espacial, cerca de 25 km, e suas medidas dificilmente são afetadas pela presença de nuvens. Os sensores de IR favorecem o detalhamento da variação da TSM (com cerca de 1 km de resolução espacial), porém são mais propensos à interferência das nuvens. Os dados do MUR (*Multi-scale Ultra-High Resolution*), utilizados neste trabalho, combinam as observações feitas por estes dois instrumentos a bordo de satélites, o que proporciona maior precisão dos mapas de TSM e ausência de lacunas (CROSMAN; VAZQUEZ-CUERVO; CHIN, 2017; NASA, 2019a).

Os dados diários do MUR utilizados neste estudo foram fornecidos e coletados pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA). A NASA fornece informações globais de TSM obtidas a partir de satélites e com resolução espacial de 0,01° (aproximadamente 1 km) (JPL MUR MEASURES PROJECT, 2015).

3.2.2 Precipitação

Foram utilizados dados de precipitação do GPM (*Global Precipitation Measurement*), obtidos pela NASA. A missão GPM é composta por uma rede

internacional de satélites responsável por fornecer observações globais de chuva e neve. Assim como o TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), seu antecessor, este projeto é um esforço conjunto da NASA e da Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA) (NASA, 2019b).

GPM *Core Observatory* (Figura 2) foi lançado em 27 de fevereiro de 2014. O algoritmo IMERGE (*Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM*) foi criado com intuito de ser o sucessor do TRMM. Seus dados são obtidos através da junção de informações obtidas por diversos satélites e tem como avanço a capacidade de medir a chuva leve ($<0,5 \text{ mm hr}^{-1}$). A versão 6 IMERGE, utilizada neste estudo, une estimativas de precipitação coletadas entre 2000 e 2014 pelo TRMM com as recentes, coletadas pelo GPM. Os dados estão em milímetros (mm) e possuem resolução horizontal de $0,1^\circ$ (aproximadamente 10 km) (HUFFMAN *et al.*, 2019).

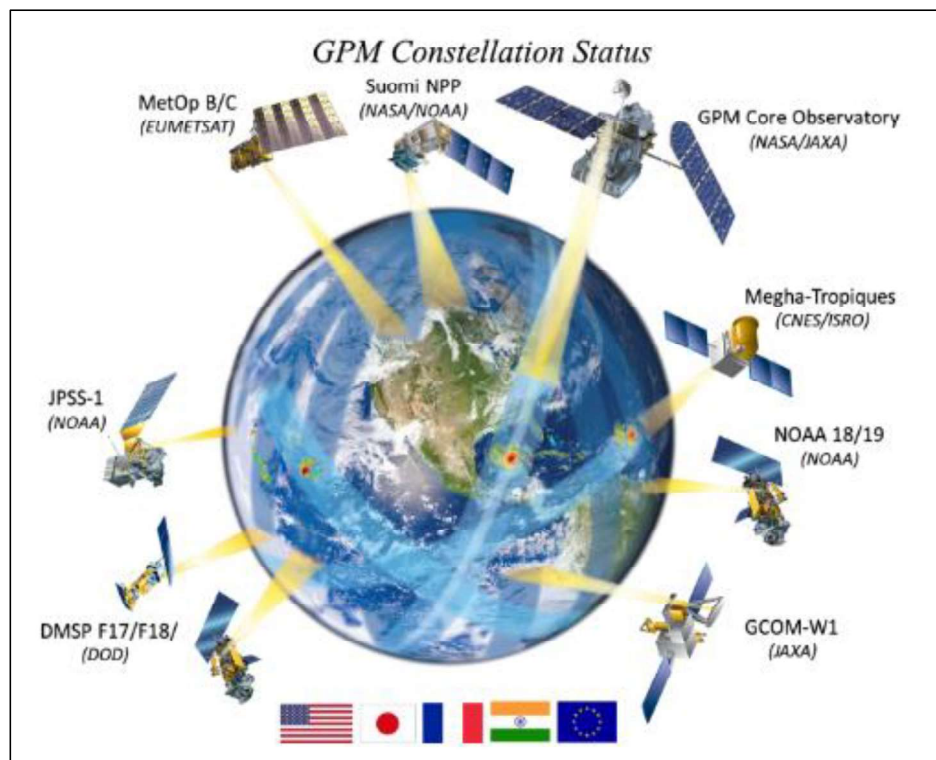


Figura 2: *Global Precipitation Measurement Core Observatory* lançado em 27 de fevereiro de 2014. Fonte: Huffman *et al.*, 2019.

Os pontos dos quais foram extraídos os dados de PPT para as cidades de Rio de Janeiro e Salvador podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Localização dos pontos utilizados para extrair os dados de precipitação do *Global Precipitation Measurement (GPM)*.

Local	Latitude	Longitude
Rio de Janeiro	22,9 °S	43,6 °W
Salvador	12,9 °S	38,6 °W

3.3 PROCESSAMENTO

A aquisição e o processamento dos dados do MUR e do GPM foram realizados através de rotinas em linguagem de programação Python 3. Ambas as variáveis foram extraídas de suas respectivas fontes no formato NetCDF. As etapas do processamento são descritas a seguir.

3.3.1 Médias e anomalias mensais

A partir dos dados diários de TSM calculou-se a média, de cada mês (i), utilizando 15 anos de observações ($\bar{x}_{i_{2003-2018}}$), que foi considerada o estado normal mensal de cada variável. As médias para os meses de maior interesse, entre dezembro de 2018 e maio de 2019, foram feitas separadamente ($\bar{x}_{i_{2019}}$).

A partir destas médias, foram calculadas as anomalias para cada mês (i) do verão de 2019 ($a_{i_{2019}}$), como mostra a Equação 1:

$$a_{i_{2019}} = \bar{x}_{i_{2019}} - \bar{x}_{i_{2003-2018}} \quad (1)$$

Para os dados de PPT foram primeiramente calculados os acumulados mensais a partir dos registros diários obtidos pela NASA. A etapa seguinte consistiu no cálculo das médias e anomalias, de forma similar à descrita acima para a temperatura da superfície do mar.

Para essa variável, além dos mapas de média e anomalia, foram extraídas as séries temporais do acumulado de chuva para as cidades do Rio de Janeiro e Salvador.

3.3.2 Coeficiente de Correlação de Pearson

O coeficiente de Pearson (Equação 2), descrito por Karl Pearson em 1895, foi utilizado para determinar a correlação entre valores mensais de TSM sobre o oceano e a precipitação nas cidades de interesse para o período de 2003-2019:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{cov(X,Y)}{\sqrt{var(X).var(Y)}} \quad (2)$$

Onde x_1, x_2, \dots, x_n e y_1, y_2, \dots, y_n são os valores medidos das variáveis. As médias aritméticas são descritas abaixo por \bar{x} e \bar{y} :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4)$$

A análise correlacional mostra a relação de duas variáveis lineares. O resultado será sempre entre +1 e -1, indicando, respectivamente, correlações positivas ou negativas. A força da correlação é indicada pelo tamanho do coeficiente, enquanto 0 representa a ausência de correlação. Foram considerados válidos apenas os resultados cuja correlações foram estatisticamente significativas, considerando o nível de confiança de 95%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados obtidos tanto para a temperatura da superfície do mar quanto para a precipitação. Os resultados estão organizados da seguinte maneira: a Seção 4.1 traz a análise espacial das normais da PPT em comparação aos valores encontrados em 2019. A Seção 4.2 apresenta a mesma análise, para os valores de TSM. Por fim, na Seção 4.3 é abordada a relação entre a TSM do Atlântico Sul e a PPT nas cidades do Rio de Janeiro e Salvador.

4.1 ANÁLISE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO

A seguir são apresentados os valores acumulados médios mensais de precipitação, considerando o período de 2003 a 2018 (Seção 4.1.1) e as anomalias da PPT para o ano de 2019 (4.1.2).

4.1.1 Médias de precipitação

A Figura 3 apresenta a precipitação acumulada média mensal dos anos de 2003 a 2018. Nela, é possível observar uma variação espaço-temporal da PPT. Em um contexto geral, os meses de dezembro a março apresentaram valores mais elevados de precipitação se comparado aos demais, principalmente na porção terrestre. Em especial nos meses de dezembro e janeiro, é observada uma zona de umidade que se estende desde a região da Amazônia até o sul-sudeste brasileiro. Esse comportamento é resultado da influência da ZCAS sobre a região (SELUCHI; MARENGO, 2000; BARROS *et al.*, 2000).

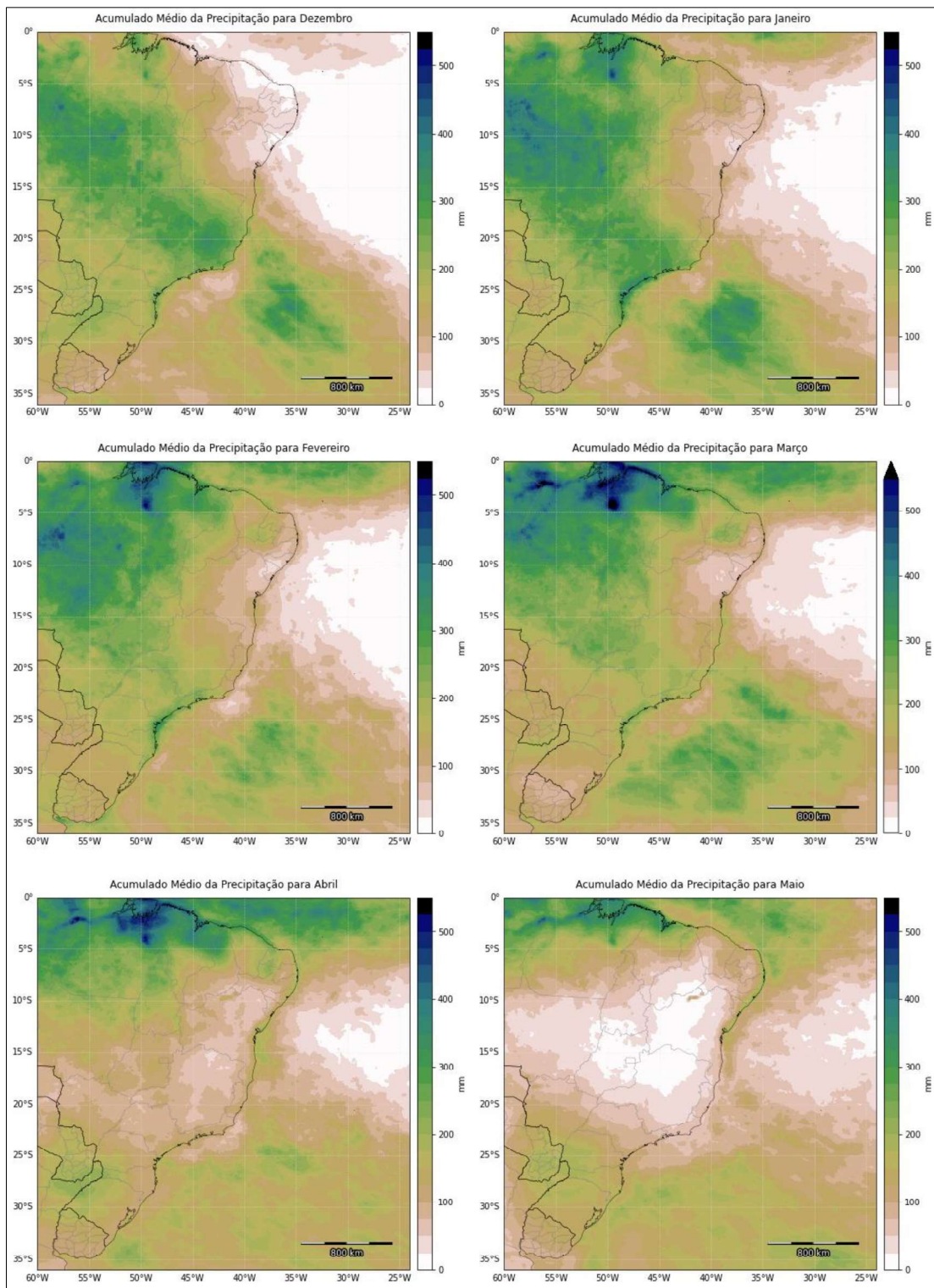


Figura 3: Precipitação acumulada média mensal dos anos de 2003 a 2018.

Sobre o oceano, entre as latitudes 5-20°S é observada uma região de baixa precipitação ao longo de todo o período analisado. Esta região mais seca se deve a presença marcante da ASAS que se desloca ao longo dos meses sobre essa região (REBOITA *et al.*, 2010; ITO; AMBRIZZI, 2000; CAVALCANTI *et al.*, 2009).

Em contraste, na porção mais ao sul (abaixo de 20° S) são observados valores maiores de precipitação. Nessa região, os meses de dezembro a março mostraram maiores valores de PPT do que os meses de abril e maio. Isso porque durante o verão a ZCAS influencia no regime de chuvas nessa região (SELUCHI; MARENGO, 2000; BARROS *et al.*, 2000).

Os valores mais altos de precipitação de todo o período são observados na região Norte do Brasil, principalmente nos meses de fevereiro a abril. Nestes meses, o aumento significativo de chuva nessa região é causado pela influência da ZCIT (AIMOLA; MOURA, 2016; MOURA; VITORINO, 2012).

Verifica-se também que o mês de maio foi o mais seco dentre os analisados. Este padrão decorre da aproximação do inverno, caracterizado pela queda na precipitação, sobretudo no Sudeste brasileiro.

Por fim, nota-se que o comportamento da precipitação observado através dos dados do GPM é condizente com o apresentado nas Normais Climatológicas (1981-2010) do INMET (2020).

4.1.2 Anomalia de precipitação

A Figura 4 mostra a anomalia de precipitação de dezembro de 2018 a maio de 2019. Nela é possível observar a distribuição espaço-temporal da chuva em comparação à média para o período. Os tons azulados representam anomalias positivas (período mais úmido que a média) enquanto as anomalias negativas (períodos mais secos) são apresentadas em tons alaranjados.

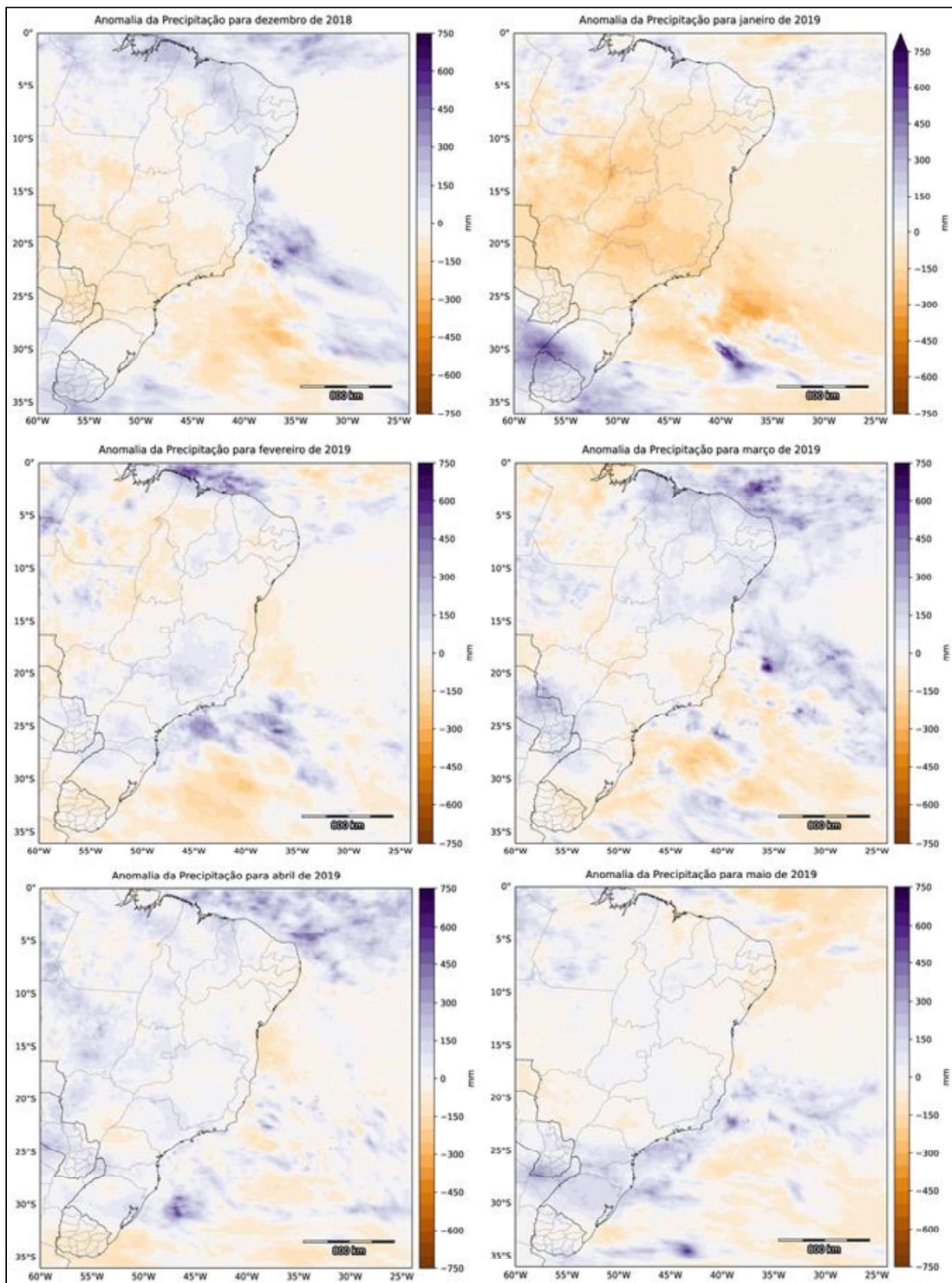


Figura 4: Anomalia de precipitação de dezembro de 2018 a maio de 2019.

Em dezembro observam-se anomalias negativas na região que comumente sofre influência da ZCAS (REBOITA *et al.*, 2010), que contrasta com a faixa de anomalias positivas à nordeste da mesma, na borda sudoeste da ASAS. Anomalias negativas nessa região podem indicar que a ZCAS não se configurou nesse mês como

o esperado. O mês de janeiro foi o mais seco do período analisado para 2019 com anomalias negativas observadas em quase toda área de estudo. Em fevereiro e março as anomalias foram, no geral, menores que as encontradas nos dois meses anteriores. Neste período houve uma inversão das anomalias de precipitação no Nordeste e Sudeste brasileiros.

Ainda em dezembro, foram identificadas anomalias positivas ao longo da região de borda da ASAS. O mesmo pode ser observado em março, resultando no aumento de chuva na região do Nordeste brasileiro nesses dois meses. A ocorrência de chuvas mais intensas no Nordeste é resultado do deslocamento da ASAS e da ZCIT, como indicado por Lima (1991); Aimola e Moura, (2016); Moura e Vitorino, (2012), além da ocorrência de VCANs (RAMIREZ, 1999; INMET, 2018).

Em março, na faixa da latitude 20°S sobre o oceano, é possível observar uma porção significativa de anomalia positiva de precipitação, que reflete a presença da tempestade Tropical Iba, que atuou na região entre 23 e 28 de março de 2019 (MARINHA DO BRASIL, 2019).

4.2 ANÁLISE ESPACIAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR

A seguir são apresentados os valores médios da temperatura da superfície do mar, considerando o período de 2003 a 2018 (Seção 4.2.1), bem como as anomalias da TSM para o ano de 2019 (4.2.2).

4.2.1 Médias de temperatura da superfície do mar

A média mensal de TSM para os anos de 2003 a 2018 é apresentada na Figura 5. Na escala de cores, o amarelo representa temperaturas mais elevadas, enquanto o azul, as mais baixas. Nela, é possível observar uma variação espaço-temporal da temperatura da superfície do mar.

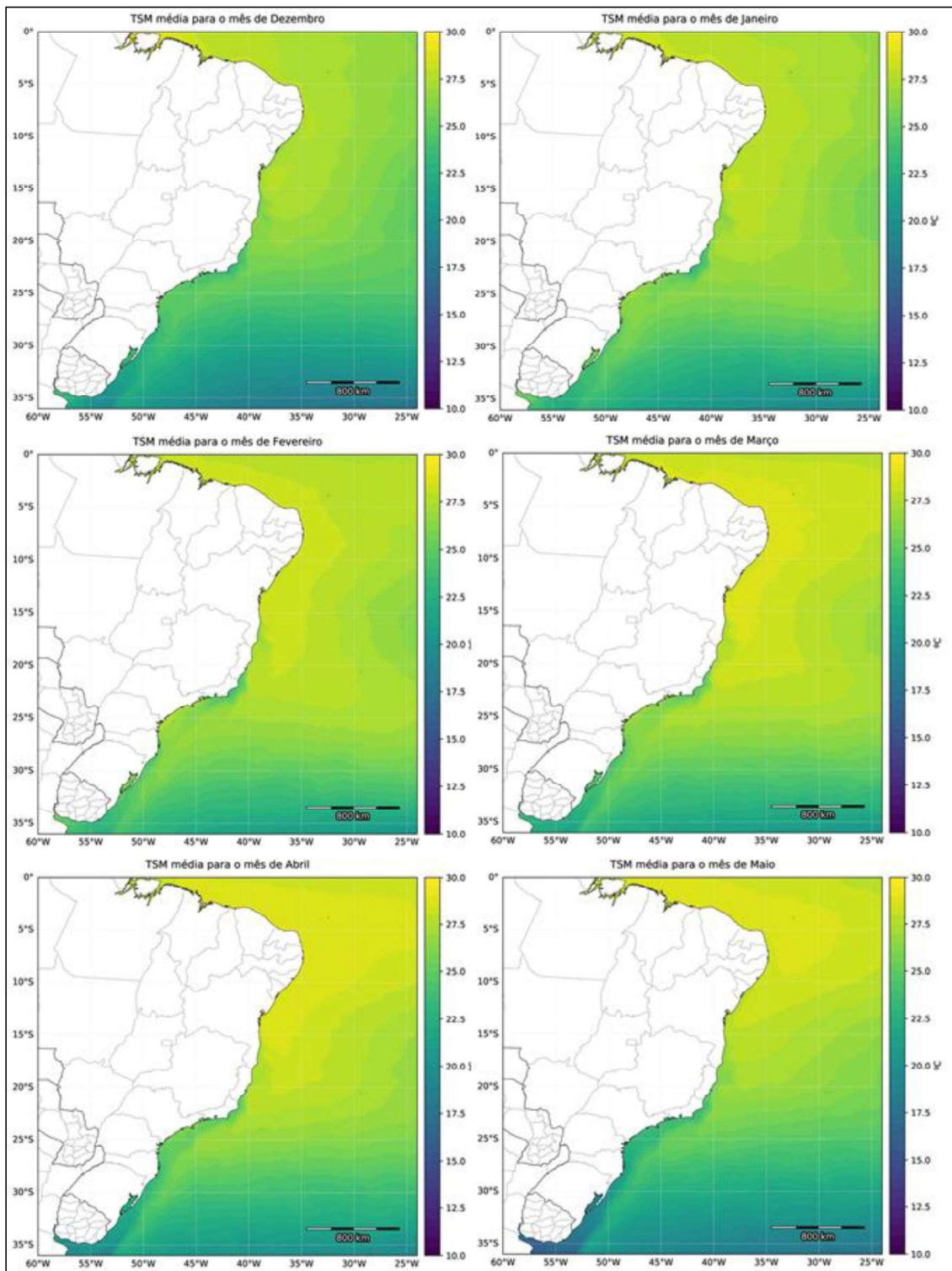


Figura 5: Média mensal da temperatura da superfície do mar para os anos de 2003 a 2018.

Observa-se um gradiente meridional de temperatura da superfície do mar, em que águas mais quentes são observadas na região equatorial e as mais frias, na região do Atlântico Subtropical. As águas mais quentes na região tropical (acima de 20 °C)

se devem à influência da AT, sendo assim, o padrão encontrado corrobora com o apresentado na literatura por Emilsson (1961) e Silveira *et al.* (2000).

Os meses de fevereiro a abril são, no geral, mais quentes do que os demais meses estudados. Particularmente em abril, as águas do Norte e Nordeste brasileiros apresentaram-se ainda mais quentes do que na porção mais ao sul do litoral. A variabilidade espaço-temporal encontrada corrobora com o mencionado por Kampel *et al.* (2015).

Nota-se que há um resfriamento próximo à costa que vai de 22°S a 29°S, resultante, principalmente, do afloramento da ACAS. Isso ocorre em função das ressurgências que atuam nos Cabos de São Tomé, Frio, São Vicente e Santa Marta Grande, especialmente no verão (RODRIGUES; LORENZZETI, 2001; SOUZA; GARCIA; CECHET, 2017; SILVEIRA *et al.*, 2000; KAMPEL *et al.*, 2015).

4.2.2 Anomalia de temperatura da superfície do mar

A Figura 6 mostra o campo de anomalia da TSM, ou seja, representa o desvio da temperatura da superfície do mar observada em 2019 em relação às médias dos últimos 15 anos (Figura 5). As regiões com águas superficiais mais aquecidas que a média são mostradas em vermelho.

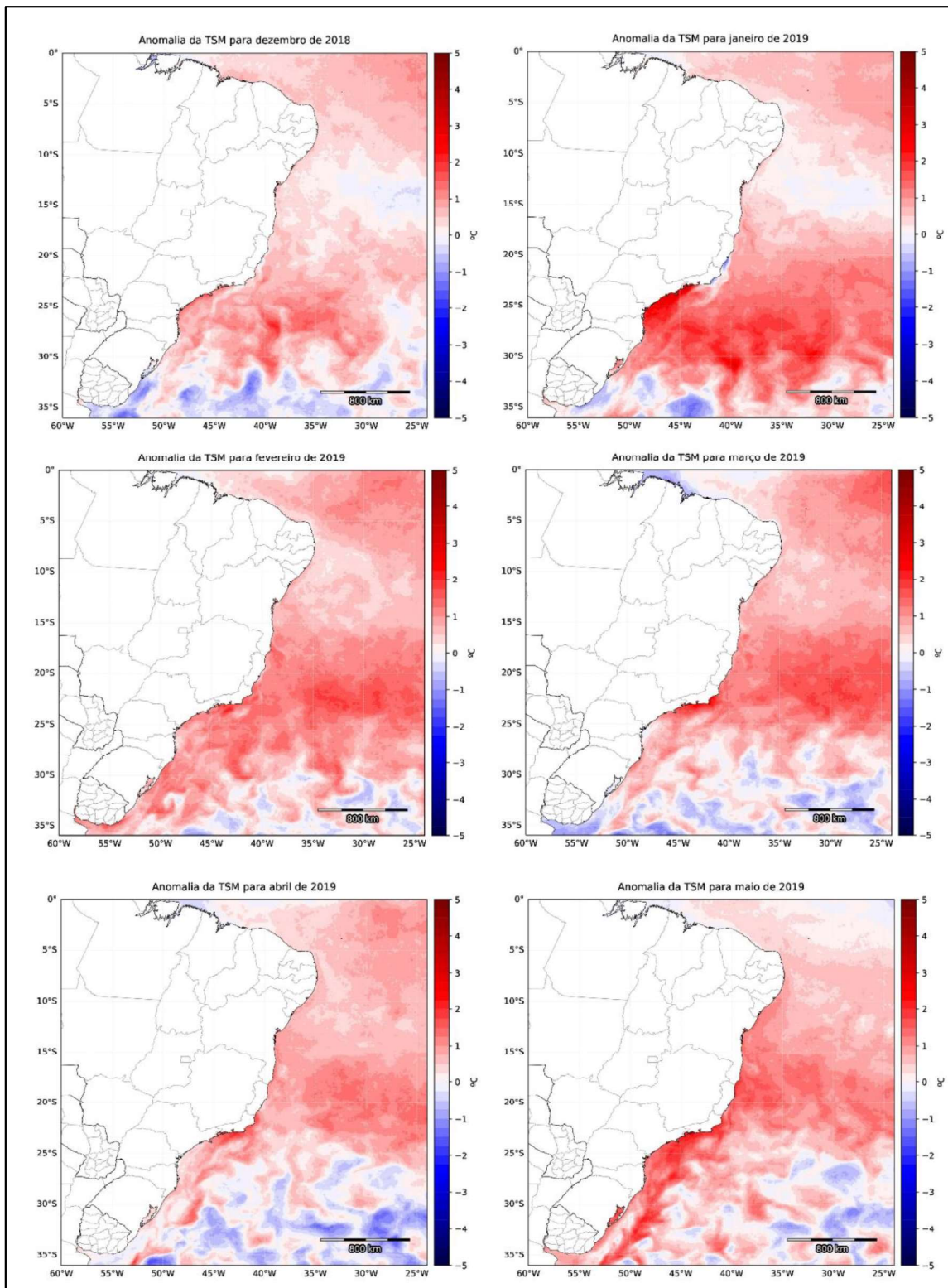


Figura 6: Anomalia de temperatura da superfície do mar de dezembro de 2018 a maio de 2019.

De forma geral, é marcante o predomínio de anomalias positivas no Atlântico Sul em todo o período avaliado. No Atlântico Tropical e Subtropical, a TSM permaneceu mais próxima da média esperada para a região nos meses de dezembro e

janeiro. Já ao sul de 30°S é observado o predomínio de anomalias negativas. Segundo Lentini *et al.* (2001), anomalias negativas na região oeste do Atlântico Sul poderiam estar associadas a ocorrência de ENSO.

Verifica-se ainda que a região entre os Cabos de São Tomé e Santa Marta Grande esteve mais quente no período, indicando que a ressurgência esteve mais fraca. Uma exceção a este padrão pode ser observada entre o norte de Cabo Frio e o sul do Espírito Santo no mês de janeiro, cujas anomalias negativas contrastam com o forte aquecimento (acima de 2 °C) das águas superficiais da Bacia de Santos.

Nota-se, ao sul de Cabo Frio, uma faixa em que a anomalia esteve bem próxima de zero, nos meses de dezembro e janeiro, mostrando que as Águas Tropicais, carregadas pelo fluxo principal da CB, tiveram pouca variação de temperatura neste período.

4.3 RELAÇÃO ENTRE A PRECIPITAÇÃO E A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR

Nesta seção é investigada a relação entre precipitação nas cidades do Rio de Janeiro (Seção 4.3.1) e Salvador (Seção 4.3.2) e a temperatura da superfície do mar do Atlântico.

4.3.1 Precipitação acumulada mensal Rio de Janeiro

O acumulado médio mensal (2003-2018) para a cidade do Rio de Janeiro (Figura 7) reflete o padrão da região Sudeste apresentado na Figura 3 (Seção 4.1.1): maiores valores nos meses dezembro e janeiro quando comparados aos demais meses avaliados, devido a influência da ZCAS (SELUCHI; MARENGO, 2000; BARROS *et al.*, 2000).

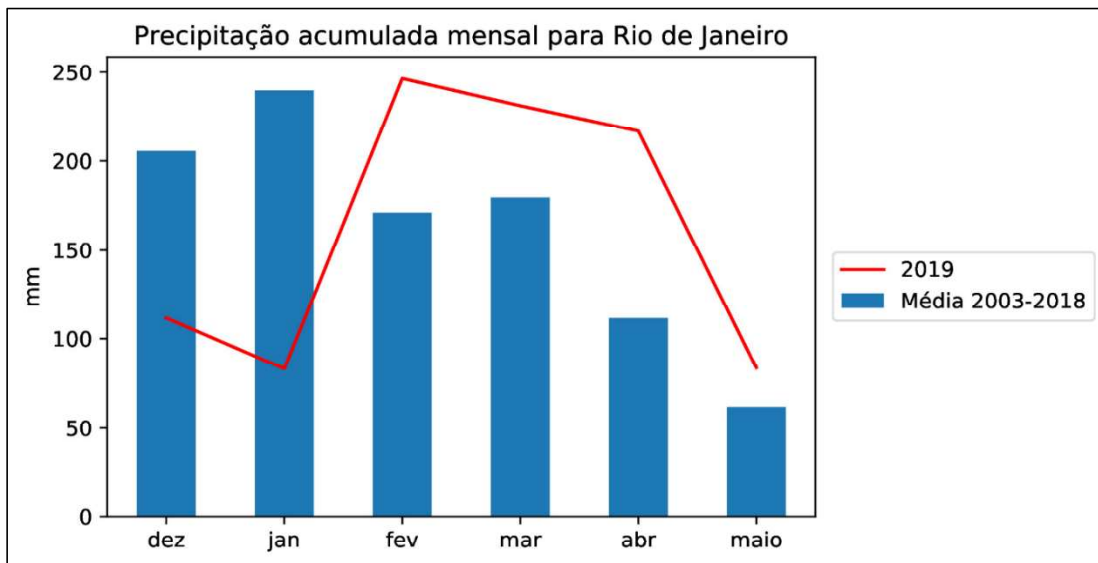


Figura 7: Precipitação acumulada média mensal para o Rio de Janeiro no período de 2003 a 2018 em comparação com o acumulado no ano de 2019.

É possível observar ainda que houve uma inversão deste padrão no ano de 2019. Entre os meses de fevereiro e maio de 2019 foram registrados acumulados acima da média. Dentre eles, destacam-se fevereiro, com o maior acumulado de chuva para o período, e o mês de abril, cujo acumulado de chuva registrado foi o dobro do esperado. Em contrapartida, nos meses de dezembro e janeiro, o acumulado de chuva para o ano de 2019 esteve abaixo da média mensal calculada.

É interessante notar que em janeiro de 2019, quando a precipitação para o período foi mínima, não só na cidade do Rio de Janeiro (Figura 7) mas em grande parte do território nacional (Figura 4), a anomalia da temperatura da superfície do mar esteve mais elevada especialmente no Atlântico Subtropical, entre 23°S e 30°S. Além disso, no mês de abril, a anomalia positiva da precipitação na cidade coincide com um padrão de anomalias de TSM mais amenas na mesma região.

Esta ligação entre a precipitação na cidade do Rio de Janeiro e a temperatura da superfície do mar do Oceano Atlântico fica mais evidente na Figura 8. No geral, nota-se um dipolo centrado em torno de 20°S, em que as correlações negativas são observadas na região mais ao sul.

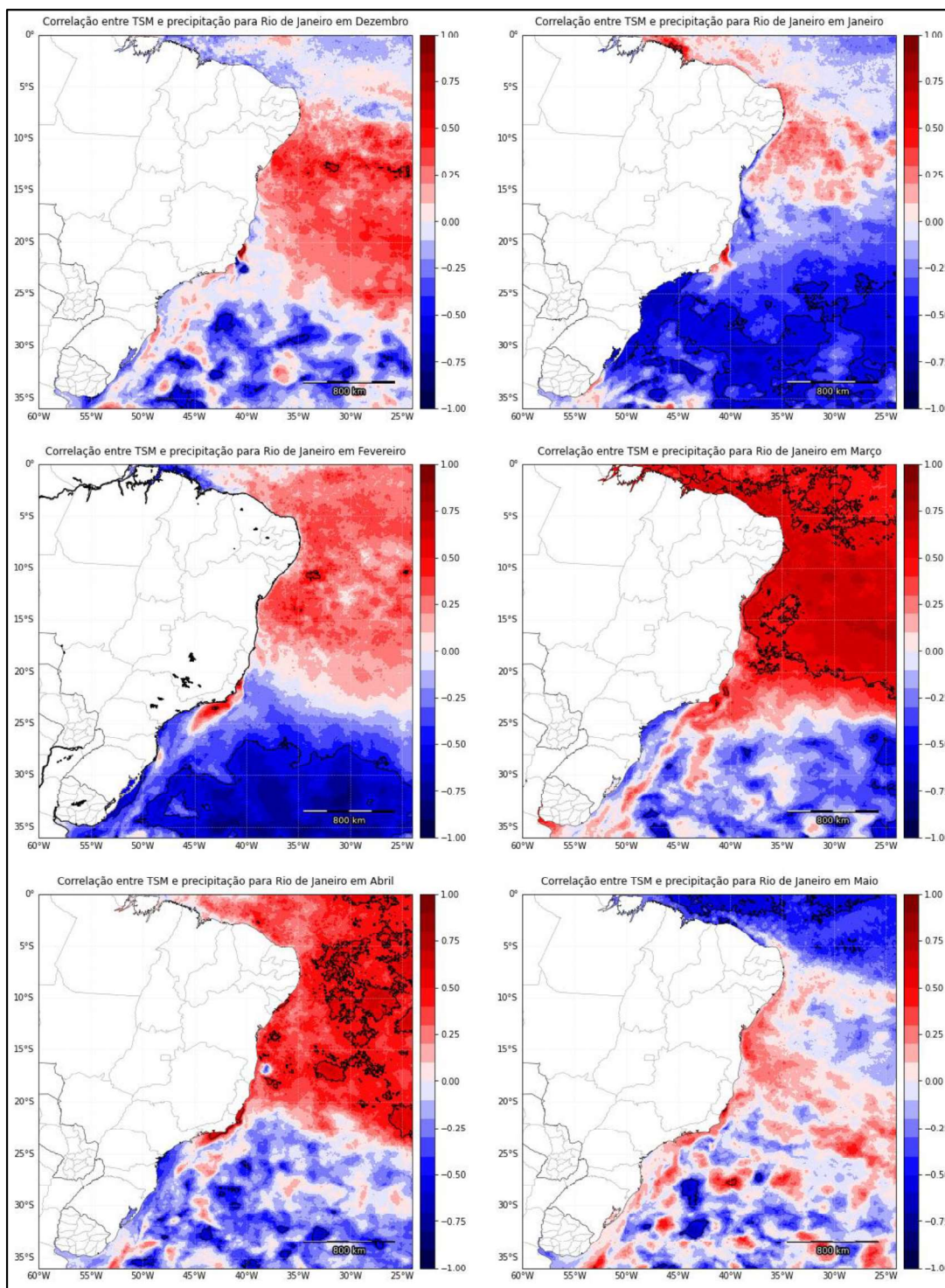


Figura 8: Correlação entre temperatura da superfície do mar e precipitação para a cidade do Rio de Janeiro do período de dezembro de 2003 a maio de 2019. As linhas em preto representam o intervalo de confiança de 95%.

No auge do verão, nos meses de janeiro e fevereiro, verificam-se resultados estatisticamente significativos para correlações negativas (marcados pelos contornos em preto), enquanto o oposto ocorre nos meses de março e abril.

As anomalias positivas de TSM entre as latitudes 20-40°S favorecem o posicionamento da ZCAS mais ao sul, enquanto anomalias negativas levam a um deslocamento da mesma mais para norte, contribuindo para aumento de chuva na região sudeste nesta época do ano (BARROS *et al.*, 2000).

Especialmente no mês de março, a correlação positiva encontrada aparenta estar intrinsecamente ligada a ASAS. Baseado no que foi demonstrado por Sinclair, Renwick e Kidson (1997) e Cataldi *et al.* (2010), essa conexão se deve porque, anomalias positivas de TSM poderiam estar contribuindo para gerar anomalias ascendentes de ar e enfraquecimento desse sistema. Dessa forma, favorecendo a ocorrência de sistemas frontais e influenciando no regime de chuvas do Atlântico.

4.3.2 Precipitação acumulada mensal Salvador

Na Figura 9 são apresentados os acumulados médios mensais (2003-2018) e os registros de PPT do verão de 2019 para a cidade de Salvador. Em contraste ao apresentado na seção anterior (4.3.1), a precipitação média nesta capital é menor nos meses de dezembro a março e máxima no mês de abril. Esse padrão reflete o apresentado na Figura 3 da Seção 3.2.2 e corrobora com o trabalho de Barreto (2012), no qual são observadas maiores precipitações entre abril e junho, como consequência do posicionamento mais ao sul da ZCIT.

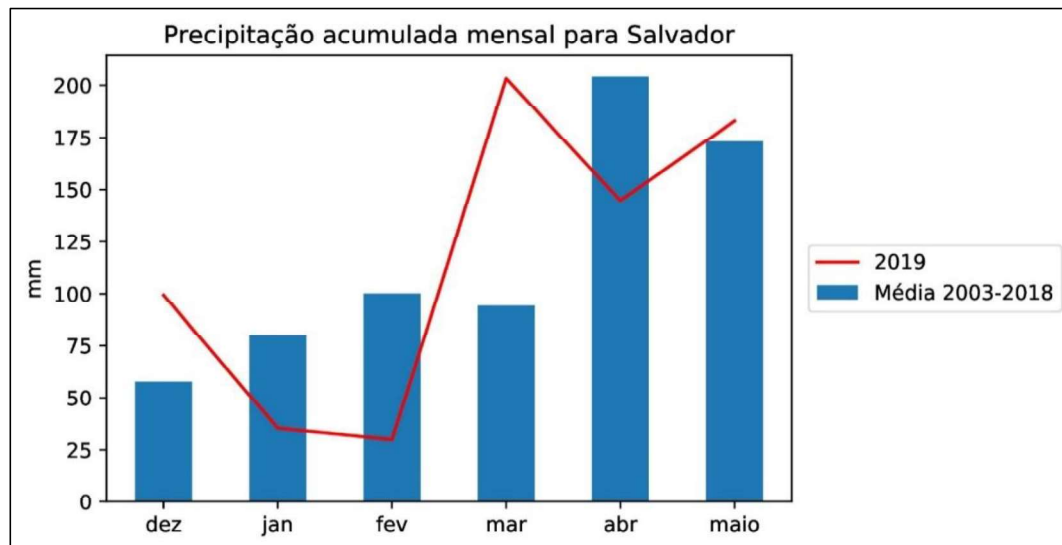


Figura 9: Precipitação acumulada média mensal para Salvador no período de 2003 a 2018 em comparação com o acumulado no ano de 2019.

Verifica-se que a precipitação acumulada foi no máximo a metade da esperada nos meses de janeiro e fevereiro, período que as anomalias positivas de temperatura da superfície do mar no Atlântico Subtropical foram mais elevadas (Figura 10).

Nota-se ainda que o acumulado de chuva registrado no mês de março foi o dobro da média calculada dos 15 anos anteriores. Embora neste período ocorrido a tempestade tropical Iba (cujo anomalias positivas de precipitação podem ser observadas na Figura 5) o grande volume de chuva no período foi consequência do posicionamento da ZCAS na região (CPTEC, 2020). Além de março, os meses de dezembro e maio também estiveram acima da média calculada.

A relação entre as variáveis é melhor apresentada na Figura 10, que apresenta a correlação entre a precipitação da cidade de Salvador e as variação mensal da média da TSM. Nela, foram encontradas correlações positivas e negativas que variam espacialmente ao longo dos meses num padrão de dipolo similar ao encontrado para a cidade do Rio de Janeiro (Figura 9).

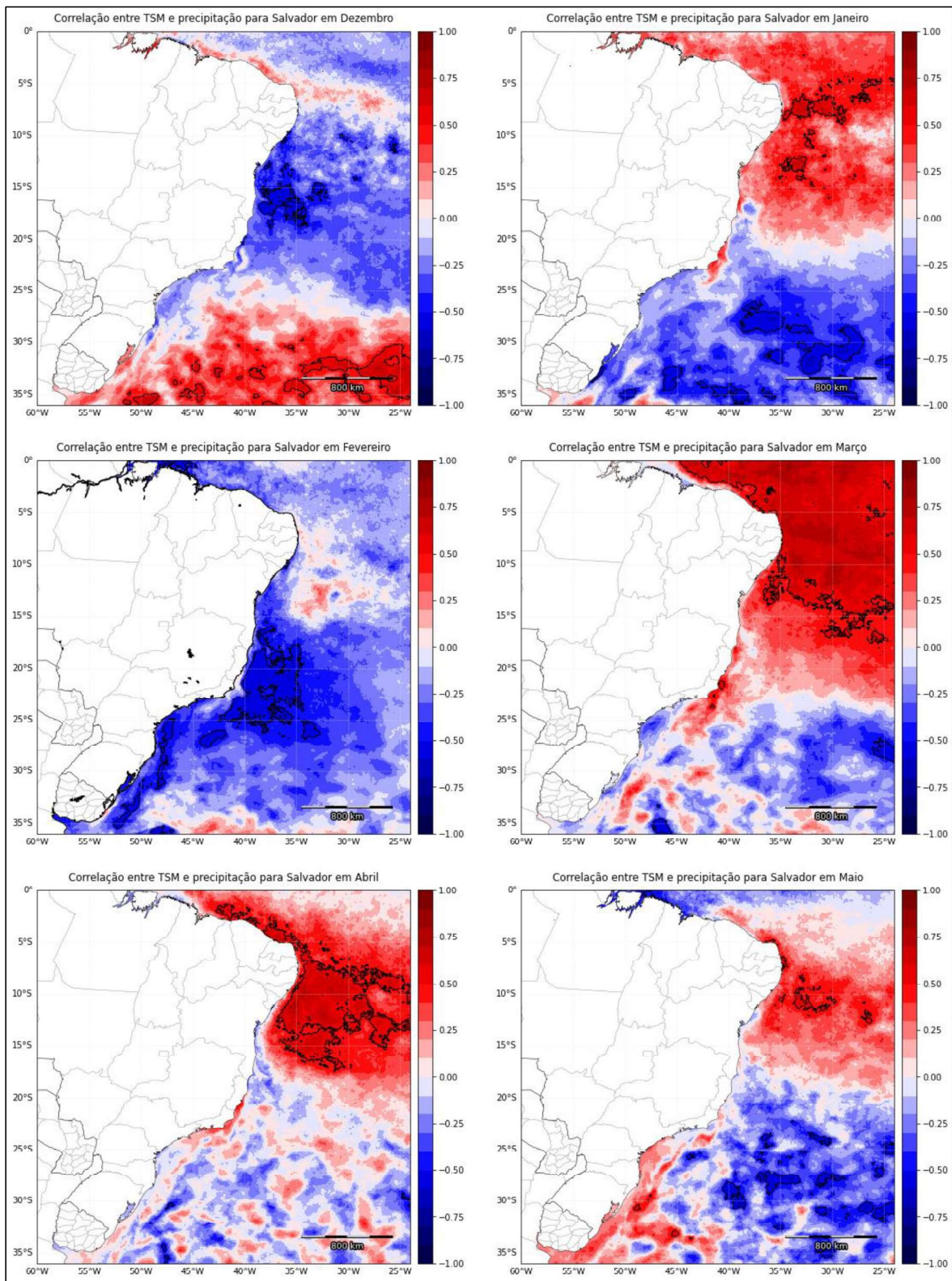


Figura 10: Correlação entre temperatura da superfície do mar e precipitação para a cidade de Salvador do período de dezembro de 2003 a maio de 2019. As linhas em preto representam o intervalo de confiança de 95%.

Verifica-se o predomínio de correlações positivas e estatisticamente significativas (intervalo de confiança de 95%) na região do Atlântico Tropical, indicando que o aumento da temperatura do mar pode levar ao aumento da precipitação na região se favorecer o posicionamento mais ao sul da ZCIT e da ASAS (PEZZI; CAVALCANTI, 2001; LIMA, 1991).

Este padrão, entretanto, se inverteu no mês de dezembro, e excepcionalmente no mês de fevereiro, as variáveis estiveram correlacionadas negativamente em quase toda a área observada. Entre 15-25°S essa correlação foi estatisticamente significativa. Estes resultados evidenciam a relação complexa entre a chuva e a temperatura da superfície do mar.

5. CONCLUSÕES

As médias obtidas através de dados de satélite (MUR e GPM) para o período de 2003 a 2018, tanto para a temperatura da superfície do mar, quanto para precipitação, estiveram em conformidade com os dados climatológicos descritos na literatura (BARRETO, 2012; SELUCHI; MARENGO, 2000; BARROS *et al.*, 2000; EMILSSON, 1961; SILVEIRA, 2000).

Assim como suspeitava-se, a TSM esteve realmente acima da média no verão de 2019 em grande parte do Atlântico Sudoeste. Os valores mais elevados foram observados próximos à costa, especialmente no mês de janeiro.

Anomalias negativas de precipitação foram dominantes na área de estudo principalmente nos meses de dezembro e janeiro. A temperatura da superfície do mar elevada sobretudo em janeiro, pode ter influenciado no deslocamento da ZCAS e ASAS, dois dos principais processos responsáveis pela precipitação no Sudeste do Brasil.

A análise da correlação sugere que a precipitação em Salvador responde melhor às variações de temperatura do Atlântico Tropical. Já a variação da precipitação sobre o Rio de Janeiro aparenta estar inversamente correlacionada à temperatura do Atlântico Subtropical adjacente, e diretamente relacionada ao aumento da temperatura do Atlântico Tropical Sul.

Cabe ressaltar que o regime de chuvas em uma região é resultado do balanço entre vários sistemas atmosféricos (CAVALCANTI *et al.*, 2009). Os resultados encontrados mostram que apesar de identificada uma correlação significativa entre as variáveis, esta relação é muito mais complexa.

Os dados encontrados neste trabalho corroboram com os descritos na literatura, embora mais análises sejam necessárias para explorar mais a fundo os impactos de variabilidades climáticas como o *El Niño* e o Dipolo do Atlântico Sul nos eventos do verão e outono de 2019. Sugere-se que sejam realizados novos estudos que considerem mais variáveis (dados de pressão, vento, etc.) e análise os anos também

individualmente para entender a fundo o nível de influência e relação entre as variáveis descritas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIMOLA, L.; MOURA, M. *A influência da circulação de revolvimento meridional do Atlântico na definição da posição média da ZCIT ao norte do Equador. Uma Revisão*. Revista Brasileira de Meteorologia, São José dos Campos, SP, vol 31, n.4, p. 555–563. 2016.
- ARAGÃO, J.O. R. *O impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil*. Bulletin de l'Institut français d'études andines, Lima, vol 27, n.3, p. 839-844.1998
- BARREIRO, M.; CHANG, P.; SARAVANAN, R. *Variability of the South Atlantic convergence zone simulated by an atmospheric general circulation model*. Journal of Climate, vol 15, n.7, p. 745–763. 2002.
- BARRETO, A. B. *Eventos extremos de chuva em salvador: uma abordagem matemático-estatística do ambiente atmosférico*. 2012. 153f. (Tese de Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2012.
- BARROS, V.; GONZALEZ, M.; LIEBMANN, B.; CAMILLONI, I. *Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic Sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in Southeastern South America*. Theoretical and Applied Climatology, vol 67, n3-4, p. 123–133. 2000.
- BASTOS, C.; FERREIRA, N. *Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul*. São José dos Campos, SP, jan. 2000.
- CATALDI, M. *et al. Estudo da influência das anomalias da TSM do Atlântico Sul extratropical na região da confluência Brasil Malvinas no regime hidrometeorológico de verão do Sul e Sudeste do Brasil*. Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro, RJ, vol.25, n.4, p. 513–524, 2010.
- CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M.G.A.J.; DIAS, M. A. F. S.; *Tempo e Clima no Brasil*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- CROSMAN, E.; VAZQUEZ-CUERVO, J.; CHIN, T.M. *Evaluation of the Multi-Scale Ultra-High Resolution (MUR) Analysis of Lake Surface Temperature. Remote sensing*, vol 9, n. 7, p. 723. julho. 2017.

CPTEC. *Síntese sinótica março de 2019*. Grupo de previsão de tempo. Disponível em: < <https://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/130571> > Acesso em: 12 julho 2020.

DIAZ, A. F.; STUDZINSKI, C. D.; MECHOSO, C. R. *Relationships between Precipitation Anomalies in Uruguay and Southern Brazil and Sea Surface Temperature in the Pacific and Atlantic Oceans*. *Journal Climate*, vol. 11, n.2, p. 251–271. fevereiro. 1998.

EMILSSON, Ingvar.. *The shelf and coastal waters off southern Brazil*. *Boletim Do Instituto Oceanográfico*, São Paulo, SP, vol.11, n.2, p. 101–112. 1961.

HUFFMAN, G.; BOLVIN, D.; BRAITHWAITE, D.; HSU, K.; JOYCE, R.; XIE, P. 2019: *Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG)*, version 06. NASA's Precipitation Processing Center, accessed 12 July, 2020, <ftp://arthurhou.pps.eosdis.nasa.gov/gpmdata/>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Boletim Agroclimatológico Mensal de dezembro - 2018*. Brasília: INMET, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Normais Climatológicos do Brasil, período de 1982-2010*. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/normais2/imagens/normais/textos/1981-2010/Apresentacao.pdf> > Acesso em: 12 julho 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Nota: Tempestade tropical “IBA”*. Brasília: INMET, 2019.

ITO, E. R. K.; AMBRIZZI, T. *Climatologia da posição da alta subtropical do atlântico sul para os meses de inverno*. In: XI Congresso LatinoAmericano e Iberico de Meteorologia, 2000, Rio de Janeiro. *A Meteorologia Brasileira além do ano 2000*. Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000. p. 860-865. 2000.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. *Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil*. *Quartely Journal Royal Meteorological Society*. vol. 103, n.435, p. 77-92, janeiro. 1977.

JPL MUR Measures Project. 2015. Ghrsst Level 4 MUR *Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis (v4.1)*. Ver. 4.1. PO.DAAC, CA, USA. Dataset

accessed [2020-07-21] at <https://doi.org/10.5067/GHGMR-4FJ04>.

KAMPEL, K. *Estimativa da produção primária e biomassa fitoplanctônica através de sensoriamento remoto da cor do oceano e dados in situ na costa sudeste brasileira*. 2003. 311f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto Oceanográfico da Unversidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

KAMPEL, M.; FREITAS, L. B.; DELCOURT, F. T.; CORTIVO, F. D.; VALERIO, L.; ZOFFOLI, M. L.; RUDORFF, N. M. 2015. *Caracterização e análise ambiental da Baía de Santos com base no processamento de campos oceânicos superficiais estimados por satélites*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo, 2015.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. *Upper tropospheric cyclonic vortices in the subtropical South Atlantic*. *Tellus*, v. 33, p. 538-551. dezembro. 1981.

LENTINI, C. A. D.; PODESTÁ, G. P.; CAMPOS, E. J. D.; OLSON, D. B. *Sea surface temperature anomalies on the Western South Atlantic from 1982 to 1994*. *Continental Shelf Research*, v. 21, n.1, p. 89-112, 2001.

LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P.; FERNÁNDEZ, J. P. R. *Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil*. *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 101, n.1, p. 121–135. julho. 2010.

LIMA, M.C. *Variabilidade da precipitação no litoral leste da Região Nordeste do Brasil*. São José dos Campos, 1991. 222 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1991.

LOURENÇO, M. C. M. *Vórtices ciclônicos em altos níveis que atuam no sul da América do Sul*. 1996. 77f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1996.

MARENGO, J.; DRUYAN, L.; HASTENRATH, S. *Observational and modelling studies of Amazonia in- terannual climate variability*. *Climatic Change*, vol. 23, n.3, p. 267-286. março. 1993.

MARINHA DO BRASIL. *Serviço Meteorológico Marinho prevê primeiro ciclone tropical nomeado pela Marinha do Brasil no Atlântico Sul*. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/noticias/servico-meteorologico-marinho-preve-primeiro-ciclone-tropical-nomeado-pela-marinha-do>> Acesso em: 12 julho 2020.

MISHRA, S. K.; RAO, V. B.; GAN, M. A. *Structure and evolution of the large-scale flow and an embedded upper tropospheric cyclonic vortex over northeast Brazil*. *Mon. Wea. Rev.*, v. 129, p. 1673-1688. 2001.

MOURA, A.D.; SHUKLA, J. *On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model*. *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 38, n.12, p. 2653-2675. 1981.

MOURA, M. DO N.; VITORINO, M. I. *Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical*. *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol.27, n.4, p. 475–483. 2012.

NASA, 2019a. *What is Ocean Temperature? Measurements of sea surface temperature (SST)* | PO.DAAC / JPL / NASA. Disponível em: <<https://podaac.jpl.nasa.gov/SeaSurfaceTemperature>> Acesso em: 10 julho 2020.

NASA, 2019b. *The Global Precipitation Measurement Mission (GPM)* | NASA Global Precipitation Measurement Mission. Disponível em: <<https://gpm.nasa.gov/missions/GPM>> Acesso em: 10 julho 2020.

NOBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F. *Sea surface temperature trend in the Atlantic and Pacific Oceans and rainfall variability in Pernambuco*. *Mercator*, Fortaleza, vol.13, n.1, p.107-118. 2014.

Pearson, K. *Proceedings of the Royal Society of London* . Londres: Taylor & Francis, 1895.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. *The relative importance of ENSO and Tropical Atlantic Sea Surface Temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: A numerical study*. *Climate Dynamics*, v. 17, n. 2-3, p. 205-212. 2001.

RAMIREZ, M. C. V. *Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil*. 1996. 132f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1997.

RAMIREZ, M. C. V. *Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no nordeste do Brasil*. *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, SP, v.17, n.1, p.92-

93. março. 1999.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. *Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica*. Revista Brasileira de Meteorologia, vol. 25, n.2, p. 185–204. 2010.

RODRIGUES, R. R.; LORENZZETTI, J. A. *A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry of the Southeast Brazilian coastal upwelling*. *Continental Shelf Research*, vol.21, n.4, p. 371-394. março. 2001.

Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B., Madureira, L. S. P. *O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil*. 1.ed. São Paulo: Edusp, 2006.

SELUCHI, M. E.; MARENGO, J. A. *Tropical–midlatitude exchange of air masses during summer and winter in South America: climatic aspects and examples of intense events*. *Journal of Climatology*, vol.20, n.10, p.1167-1190. agosto. 2000.

SILVA, L. *A influência do vórtice ciclônico de altos níveis (VCANs) sobre a precipitação do Nordeste do Brasil (NEB) e as características associadas*. 2005. 109f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005.

SILVEIRA, I. C. A. *et al.* *A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira*. *Brazilian Journal of Oceanography*, vol. 48, n.2, p. 171–183. 2000.

SINCLAIR, M. R., RENWICK, J. A., KIDSON, J. W. *Low Frequency Variability of Southern Hemisphere Sea Level Pressure and Weather System Activity*. *Monthly Weather Review*, vol. 125, n.10, p. 2532-2543. 1997.

SOUZA, L. H. P, GARCIA, C. A. E., CECHET, R. *Anomalias de concentração de clorofila estimadas pelo sensor MODIS/Aqua no oceano Atlântico Sudoeste no período 2002-2016*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

SVERDRUP, H. U; JOHNSON, M. W.; FLEMING, R H. *The Oceans: their physics, chemistry and general biology*. New York: Prentice-Hall, 1942.