



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## Oscilações decadais da temperatura do ar na América do Sul durante o período de verão austral e suas relações com o Oceano Atlântico Norte

Douglas da Silva Lindemann<sup>1</sup>, Rose Ane Pereira de Freitas<sup>2</sup>, Jackson Martins Rodrigues<sup>3</sup>, Mateus Dias Nunes<sup>4</sup> e Luciana Barros Pinto<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia - Universidade Federal de Pelotas - (UFPEL), e-mail: douglasdasilva.lindemann@gmail.com (autor correspondente); <sup>2</sup> Professora da Faculdade de Meteorologia - Universidade Federal de Pelotas - (UFPEL), e-mail: rosefreitas78@gmail.com; <sup>3</sup> Professor do Departamento de Geografia e Políticas Públicas - Universidade Federal Fluminense (UFF) e Professor do Programa de Meteorologia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa (UFV), e-mail: jacksonmrodrigues@gmail.com; <sup>4</sup> Doutorando do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e-mail: nunes.mateusdias@gmail.com; <sup>5</sup> Professora da Faculdade de Meteorologia - Universidade Federal de Pelotas - (UFPEL), e-mail: luciana.pinto@ufpel.edu.br.

Artigo recebido em 27/09/2019 e aceito em 21/01/2020

### RESUMO

Observações em superfície da temperatura global sobre os continentes e oceanos indicaram um aumento no último século como resposta a eventos cada vez mais frequentes e intensos de anomalia da temperatura da superfície do mar. Desta forma, o objetivo deste estudo é apresentar as influências exercidas pela Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO) sobre as temperaturas da América do Sul, durante o período de verão austral, para o período de 1901 a 2012. Foi observado que a temperatura do ar apresentou tendências positivas estatisticamente significativas para a região Sudeste e Sul do Brasil. Padrão semelhante foi observado para os extremos de temperatura para todo o período em análise. Ao dividir em períodos conforme a oscilação da AMO, e removendo a tendência, verifica-se que as anomalias das temperaturas do ar são mais acentuadas durante a AMO-, é esperado um aumento (redução) da temperatura do ar e seus extremos principalmente sobre a Bacia do Rio da Prata e Nordeste do Brasil (Centro-Oeste e Sudeste do Brasil). Estes padrões são esperados pelo fato que durante a AMO+ ocorre um aumento da nebulosidade sobre a região correspondente a formação da ZCAS, além de um deslocamento mais para norte da ZCIT, fazendo com que a temperatura do ar fique com menores valores. Por outro lado, no extremo Sul da AS, as anomalias negativas da Tar e Tmin durante a AMO+ estão associadas com o transporte de umidade do Oceano Atlântico Sul pelo centro de alta pressão que se forma no litoral da Argentina.

Palavras-chave: AMO, temperatura do ar e teleconexões

## Decadal fluctuations in South American air temperature during the southern summer period and its relationship to the North Atlantic Ocean

### ABSTRACT

Surface observations of global temperature on continents and oceans have indicated an increase in the last century in response to increasingly frequent and intense sea surface temperature anomaly events. Thus, the aim of this study is to present the influences exerted by the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) on South American temperatures during the austral summer period, from 1901 to 2012. It was observed that the air temperature presented statistically significant positive trends for the Southeast and South of Brazil. Similar pattern was observed for temperature extremes for the entire period under analysis. By dividing into periods as the AMO fluctuates, and removing the trend, it is found that anomalies in air temperatures are more pronounced during AMO-, an increase (decrease) in air temperature and its extremes is expected mainly over the Silver River Basin and Northeast Brazil (Midwest and Southeast Brazil). These patterns are expected due to the fact that during AMO + there is an increase in cloudiness over the region corresponding to the formation of ZCAS, as well as a further northward displacement of the ZCIT, making the air temperature lower. On the other hand, in the extreme south of AS, negative Tar and Tmin anomalies during AMO + are associated with the transport of moisture from the South Atlantic Ocean through the high pressure center that forms off the Argentine coast.

Lindemann, D. S., Freitas, R.A.P., Rodrigues, J.M., Nunes, M.D., Pinto, L.B.

Keywords: AMO, air temperature and teleconnection

## Introdução

Estudos apontam para um aquecimento da superfície terrestre nas últimas décadas devido às atividades antrópicas e emissão dos gases de efeito estufa (Li et al., 2017a; Zhai et al., 2018). A influência humana foi observada em diferentes magnitudes nas variáveis climáticas, e análises de detecção de mudanças e tendências foram ampliadas em tais variáveis para mostrar efeitos antropogênicos em escalas regionais (Li et al., 2017a). Estas mudanças regionais e extremos climáticos (e.g. ondas de calor e seus respectivos períodos de retorno) são de grande importância para a avaliação dos impactos ambientais e sociais da mudança climática.

A compreensão sobre a magnitude destes impactos em escala global se torna essenciais para o estabelecimento de estratégias de adaptação e mitigação das perdas e danos causados por alterações climáticas (Ren et al., 2013; Llopart et al., 2018). No entanto, a avaliação dos impactos na América do Sul e no Brasil ainda é uma tarefa cientificamente desafiadora por haver uma quantidade limitada de informações sobre mudanças climáticas pretéritas e sobre as estimativas de impactos futuros para o Brasil (Geirinhas et al., 2017; Feron et al., 2019).

Observações globais das temperaturas da superfície (mínimas, médias e máximas) indicaram um aumento de 0,74 °C entre 1906-2005 (Smith et al., 2008) e estão relacionados a emissões antropogênicas de gases de efeito estufa e aerossóis. Temperaturas extremas (máxima e mínima) têm aumentado em frequência e intensidade na maioria das regiões do mundo, principalmente a partir da década de 1950. As tendências positivas de aumento da ocorrência destes eventos cobrem áreas maiores do que aquelas áreas que apresentam tendências negativas (Collins et al., 2009; Reguero et al., 2019). Em termos de América do Sul (AS), grande parte dos estudos estão concentrados em entender as variações climáticas que ocorrem especificamente sobre determinadas regiões, como a região Amazônica (Llopart et al., 2018), a Bacia do Prata (Bettolli e Penalba, 2018; Montroull et al., 2018), regiões mais ao Sul do continente (Kayano e Setzer, 2018; Detzer et al., 2019), além das regiões Sudeste (Coelho et al., 2016), Nordeste (Oliveira et al., 2017) e Sul (Cordeiro et al., 2016) do Brasil.

Collins et al., (2009) observaram que a temperatura média do ar (medida a 2 metros) na América do Sul entre 1976 e 2007 aumentou

significativamente durante o verão austral quando comparado ao período de 1948-1976 indicando aumento da (ou das duas) temperatura extrema (mínima ou máxima). No entanto, o cálculo de séries climáticas diárias cobrindo 20 ou 30 anos pode não ser suficiente para indicar alterações em padrões atmosféricos e oceânicos. Para tal, períodos mais longos são necessários, com cem ou mais anos de dados, para que se possa realizar uma análise mais criteriosa.

As oscilações das variáveis climáticas sobre os continentes podem ser induzidas por forçantes locais, ou por eventos remotos. Estas anomalias são transportadas no tempo e espaço pelas teleconexões do sistema climático que envolvem as circulações atmosféricas e correntes oceânicas. Através da análise das relações entre oceano e atmosfera, os padrões das teleconexões podem ser úteis para uma melhor compreensão de eventos anômalos em regiões remotas, desencadeadas por forçantes locais (Garreaud et al., 2008; Byrne e O’Gorman, 2018).

As teleconexões têm sido estudadas a partir da análise de dados observados por redes de estações continentais, ou simulados por modelos climáticos que podem acoplar ou não oceano-atmosfera. A maioria dos estudos produzidos até então exploram as influências do Oceano Pacífico Equatorial, devido às alterações entre as fases positivas (El Niño) e negativas (La Niña) do fenômeno El Niño Oscilação Sul - ENOS (Cordeiro et al., 2016; Li et al., 2017b; Kayano et al., 2017).

No entanto, estudos que passaram a considerar influências de outras bacias oceânicas sobre o clima da AS começaram a ser desenvolvidos, utilizando diferentes fontes de dados como modelos acoplados, reanálises e de testemunho de sedimentos. Tais estudos possibilitaram análises de séries temporais maiores e constatação de padrões oceânicos de menor frequência, como a Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO) (Bernal et al., 2016; Lyu e Yu, 2017; Jones e Carvalho, 2018).

A AMO é um modo de variabilidade climática de baixa frequência, devido a oscilação decadal da temperatura da superfície do mar (TSM), onde sua fase positiva/negativa é caracterizada pelo aquecimento (resfriamento) anômalo do Oceano Atlântico Norte (Atlântico Equatorial) (Knight et al., 2006). A AMO também pode ser considerada como a primeira Função Ortogonal Empírica (EOF, *Empirical Orthogonal Functions* em inglês) da TSM

global sem o ENOS, com período de oscilação de 60-80 anos e está possivelmente associado com a variabilidade na circulação termohalina do Atlântico e o transporte de gelo marinho oriundo do Oceano Ártico. Esse modo apresenta amplitudes máximas na bacia do Atlântico, mas também inclui uma correlação positiva com a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), onde variações multidecadais também são observadas. Essas duas bacias oceânicas são acopladas via um padrão de teleconexão atmosférica tropical (Timmermann et al., 1998).

O impacto da AMO no sistema climático tem sido descrito principalmente para as regiões do Atlântico Norte, influenciando a seca na região de Sahel, a frequência de furacões no Atlântico (Patricola et al., 2019), as variações climáticas dos verões na América do Norte e Europa (Sutton e Hodson, 2005), além da influência do sistema de monção na Ásia. Porém, para a América do Sul, estudos da influência da AMO no clima são limitados principalmente ao regime pluviométrico das regiões Norte e Nordeste do Brasil (Knight et al., 2006), na precipitação e posição dos jatos de baixos níveis (Jones e Carvalho, 2018; Montini et al., 2019) e na temperatura do ar no Sul da AS (Kayano e Setzer, 2018).

Trabalhos sobre esse modo de variabilidade vem demonstrando a influência desse padrão na variabilidade em algumas das principais variáveis meteorológicas na AS, Bernal et al., (2016) verificaram que durante a fase negativa da AMO, o aquecimento da região oeste do Atlântico Sul e a migração para o sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) poderiam colaborar para o aumento da intensidade do Jatos de Baixos Níveis (JBN) na AS, fortalecendo a convecção ao longo da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), e um deslocamento para o sul do principal cinturão de precipitação. Este deslocamento para o sul da ZCAS também foi observado por Pascale et al., (2019) em condições de aquecimento climático futuro.

Kayano e Setzer (2018) ao analisar a temperatura do ar da estação meteorológica em Punta Arenas na Patagônia, verificaram uma forte relação entre a temperatura do ar e a AMO, mostrando uma relação não ambígua na qual ocorre uma mudança na circulação atmosférica no Sul da América do Sul e regiões oceânicas próximas. Nos estudos feito por Jones e Carvalho (2018) e Montini et al., (2019), foi exposto a influência das fases da AMO e do ENOS na magnitude do JBN, este fenômeno que é responsável por transportar a umidade da região

amazônica até o Sul/Sudeste da AS e que auxilia no regime de chuva dessas regiões.

Neste caso, encontrar séries tão longas de dados observados passa a ser um complicador. No entanto, a falta de conjuntos de dados observacionais de alta qualidade de variáveis climáticas com boa cobertura espacial e temporal tem se mostrado um grande obstáculo. A utilização de dados provenientes de reanálises, modelos climáticos acoplados e bancos de dados provenientes de diferentes fontes se apresentam como ferramentas importantes visto que supririam essa deficiência (Ren et al., 2013).

Diante do exposto acima, o presente trabalho tem por objetivo apresentar as influências exercidas pela AMO sobre a temperatura média e seus extremos na América do Sul, durante o período de verão austral, para o período de 1901 a 2012.

### Metodologia

O período de análise se concentra entre os anos de 1901 a 2012, especificamente durante o período de verão austral (Dezembro, Janeiro e Fevereiro, DJF).

O índice da AMO é derivado através do método de Trenberth e Shea (2006), que consiste da retirada da tendência da TSM global em relação a região compreendida entre 80 °W até a linha de Greenwich, e da linha do equador até a latitude de 60 °N, além da utilização de um filtro de passa-baixa de 10 anos. De acordo com Thompson et al., (2009) e Jones e Carvalho (2018), a retirada da tendência colabora para reforçar a influência das variações climáticas naturais sobre o clima global, excluindo qualquer influência antrópica.

Para o cálculo da AMO, foram utilizados dados de TSM do *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature V4* (ERSST4) do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). O conjunto de dados do ERSST é formado por dados mensais de TSM global, derivado do *International Comprehensive Ocean-Atmosphere Dataset* (ICOADS). É reproduzido em uma grade de 2° × 2°, com resolução espacial aprimorada usando métodos estatísticos. Os dados mensais começam em janeiro de 1854, continuando até o presente e inclui anomalias calculadas com relação a uma climatologia mensal de 1971-2000. A versão mais recente do ERSST, versão 4 (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.ersst.v4.html>), baseia-se em parâmetros otimizados usando os conjuntos de dados mais recentes e métodos de análise aprimorados (Huang et al., 2015).

A AMO apresenta uma periodicidade, oscilando entre a fase positiva (AMO+) que é o predomínio de aquecimento da TSM sobre o Oceano Atlântico Norte, e a fase negativa (AMO-) que é predomínio de resfriamento da TSM sobre o Oceano Atlântico Equatorial Norte (Knight et al., 2006; Reguero et al., 2019). No presente estudo, foi considerado como AMO+ (AMO-) o período de 1926 a 1962 (1963 a 1994).

Os dados mensais de temperatura do ar (média, máxima e mínima) são provenientes do *Terrestrial Hydrology Research Group* (THRG), pertencente a *Princeton University* (<http://hydrology.princeton.edu/data.php>), são dados de janeiro de 1901 até dezembro de 2012, com 0,5° de resolução. Este banco de dados foi construído levando em consideração diferentes fontes de dados climáticos - dados coletados, modelos climáticos, satélites e reanálises - para maiores informações, consulte Sheffield et al., (2006). Todas as análises estatísticas foram consideradas ao nível de 95% de significância.

## Resultados e discussão

### *Tendência da temperatura do ar (Tar, Tmax e Tmin)*

Observa-se tendência de aumento da temperatura do ar (Tar) e seus extremos (Temperatura Máxima (Tmax) e Temperatura Mínima (Tmin)) para grande parte da AS durante o período de 1901 a 2012 (Figura 1). Estas tendências são semelhantes às observadas em dados da superfície global registrados desde a revolução industrial e ao resultados oriundos de modelos

climáticos e reanálises (Collins et al., 2009; Wu e Polvani, 2017).

De acordo com a Figura 1a, os maiores aumentos da Tar são observados sobre as regiões Sul e Sudeste do Brasil, além de partes do Centro-Oeste do Brasil, Uruguai e Nordeste da Argentina. No caso do Sudeste do Brasil os valores alcançam valores de 0,2 °C por década (°C/déc) na região das divisas entre os estado de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

Soares et al., (2016) encontraram tendências positivas para a Tar semelhantes sobre a região central e Sudeste do Brasil para o período de 1975 a 2004 durante DJF, utilizando os modelos que compõem o *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5). Collins et al., (2009) também encontraram tendências significativas para São Paulo, além de Rio de Janeiro e Curitiba, utilizando dados coletados em estações meteorológicas para o período de 1961 a 2007. Outras regiões da AS também apresentam tendências positivas para a Tar (Norte da AS, centro-sul da Argentina e Chile e NE da Argentina), porém, não significativas. Os resultados aqui encontrados de tendências positivas para a Tar (não significativos) corroboram com os resultados de Lovino et al., (2018), que usaram modelos que compõem o CMIP5 para o período de 1901-2005 e encontraram tendências positivas para a Tar anual e durante a primavera austral, indicando que esta região apresenta tendência positiva além do período de DJF.

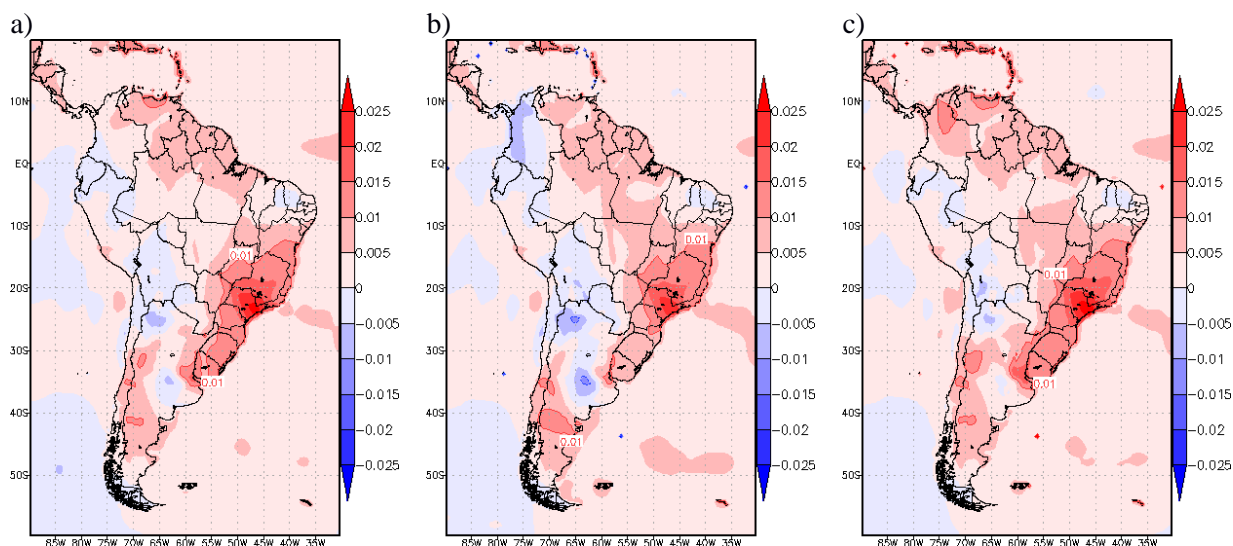


Figura 1 - Tendência da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ ) de 1901 a 2012: a) Tar, b) Tmax e c) Tmin, para o período DJF.

O mesmo padrão de tendência observado em Tar é mantido para os casos da Tmax (Figura 1b) e Tmin (Figura 1c), porém, verifica-se maiores áreas em direção ao Sul do Brasil e Uruguai com tendência significativa da Tmin. Vargas e Naumann (2008) analisaram séries temporais diárias de Tmax e Tmin de superfície em oito estações meteorológicas no Sudeste da AS durante períodos em torno de 100 anos. Os autores concluíram que o conjunto de dias úmidos, além de tendências de aumento de dias quentes e diminuição de dias frios, são os principais fatores que determinam variações de Tmax e Tmin.

Berlato e Althaus (2010) ao analisarem dados de estações meteorológicas durante o período de 1936 a 2000 também encontraram tendências estatisticamente positivas para a Tmin sobre o Rio Grande do Sul.

Quando comparado com a Tar, há tendências positivas para a Tmax e Tmin sobre a região centro-norte do Brasil, no entanto, não são estatisticamente significativas.

Verifica-se que sob influência da AMO+ há uma redução espacial da tendência positiva sobre a região Sul-Sudeste do Brasil (Figura 2) quando comparado com período 1901 a 2012 (Figura 1). A

Figura 2a mostra tendências positivas na região Norte da AS, estendendo-se até o Sudeste do Brasil, com áreas significativas limitadas sobre Venezuela e Amapá, além do Centro-Oeste do Brasil e parte da região Sudeste do Brasil.

Outras regiões com tendências positivas significativas durante a AMO+ (Figura 2a) para a Tar são observadas sobre o Oeste da região Sul do Brasil, Norte do Paraguai e entre as latitudes de  $30^{\circ}\text{S}$  e  $40^{\circ}\text{S}$  sobre a Argentina e Chile com valores até  $0,48^{\circ}\text{C}/\text{dec}$ . Por outro lado, tendência negativa estatisticamente significativa é observada sobre a região que compreende o Sul do Peru, Noroeste da Bolívia e Norte da Argentina, com valores que chegam a  $-0,36^{\circ}\text{C}/\text{dec}$ .

Para a Tmax (Figura 2b), há um aumento da área que apresenta tendência positiva sobre o Norte e no extremo Sul (de  $30^{\circ}\text{S}$  em direção às altas latitudes) da AS, enquanto as outras áreas com tendências positivas e negativas são mantidas, quando comparadas com a Tar (Figura 2a). Já para o caso da Tmin (Figura 2c) há uma intensificação da tendência negativa (positiva) sobre o Oeste da AS (Sudeste do Brasil).



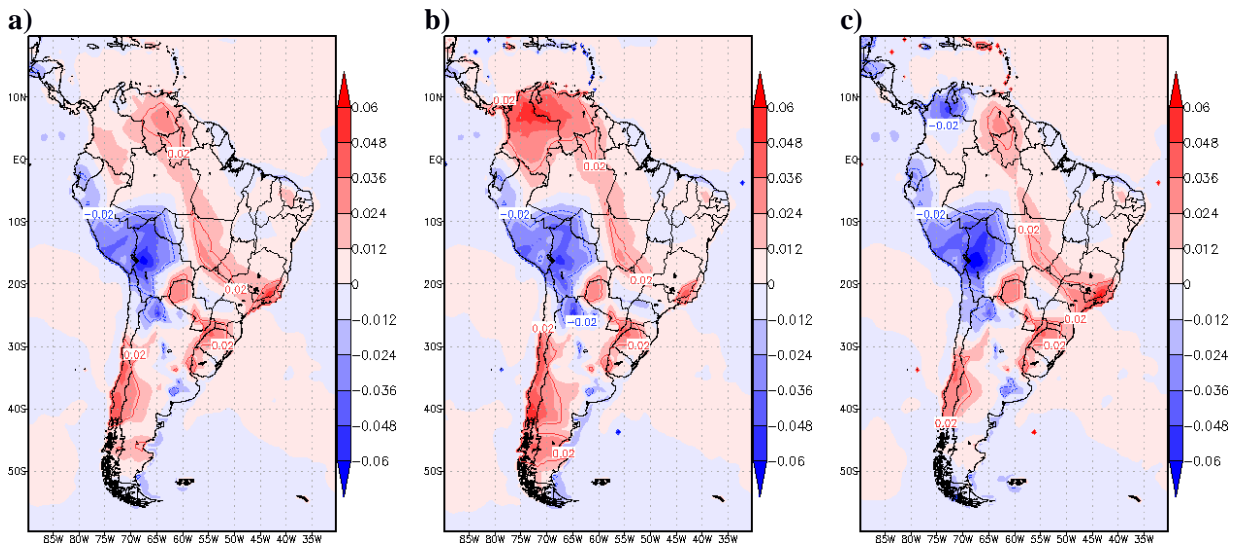


Figura 2 - Tendência da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ ) durante a fase AMO+ (1926-1962): **a)** Tar, **b)** Tmax e **c)** Tmin, para o período DJF.

Durante a fase negativa da AMO (AMO-) que compreende o período de 1963 a 1994, algumas tendências são mantidas sobre determinadas regiões, como o Sudeste do Brasil (Figura 3a), Salviano et al., (2016) também encontraram tendências positivas mensais da Tar para esta região, utilizando dados provenientes do *Climatic Research Unit* (CRU) durante o período de 1961 a 2011. Por outro lado, há alterações em determinados padrões da Tar durante AMO- quando comparado com o período de AMO+, como a intensificação da tendência positiva sobre o Sul da AS, com valores acima de  $0,24\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dec}$ .

Existem também alterações espaciais quando comparado com a AMO+, há tendências negativas sobre o extremo oeste da região Norte do Brasil e leste do Peru. Outra área com tendência negativa se estende sobre Rondônia, passando pelo leste da Bolívia, até o Paraguai e norte da Argentina (Figura 3a).

Diferentemente da condição observada durante a AMO+ - quando os extremos da temperatura do ar (Tmax e Tmin) acompanharam a tendência da Tar - ocorrem alterações espaciais significativas entre a Tar e seus extremos durante a AMO-. Para a Tmax (Figura 3b), ocorre um aumento espacial da tendência negativa significativa, desde o Sul da Colômbia, deslocando em direção ao sul do continente, até a região central da Argentina, com tendências abaixo de  $-0,36\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dec}$  em determinadas regiões. Wu e Polvani (2017) também encontraram tendências negativas da Tmax sobre a região sudeste da AS para o período de 1955 a 2005.

Tendências positivas são encontradas sobre o Sul da AS, principalmente sobre a Argentina, com valores acima de  $0,48\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dec}$  entre as latitudes de  $40\text{ }^{\circ}\text{S}$  e  $45\text{ }^{\circ}\text{S}$ , além de regiões sobre litoral do Equador e Peru. Estes resultados para Tmax e Tmin estão de acordo com os resultados encontrados por Barkhordarian et al., (2018) para o período de 1983 a 2012 utilizando modelos climáticos que compõem o CMIP5. Rosenblüth et al., (1997) ao analisar dados de estações meteorológicas, também observaram tendências de aumento significativas na Tmin para estações sobre o Chile e Argentina durante DJF para o período de 1960 a 1992.

No Brasil, destaca-se tendências positivas significativas encontradas na região Sudeste do Brasil e região centro-leste do Paraná e Santa Catarina. Estes resultados são concordantes com os resultados encontrados por Rosso et al., (2015) que encontraram tendências estatisticamente significativas para a Tmax sobre esta porção da região Sul do Brasil, utilizando dados de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de 1961 a 2011.

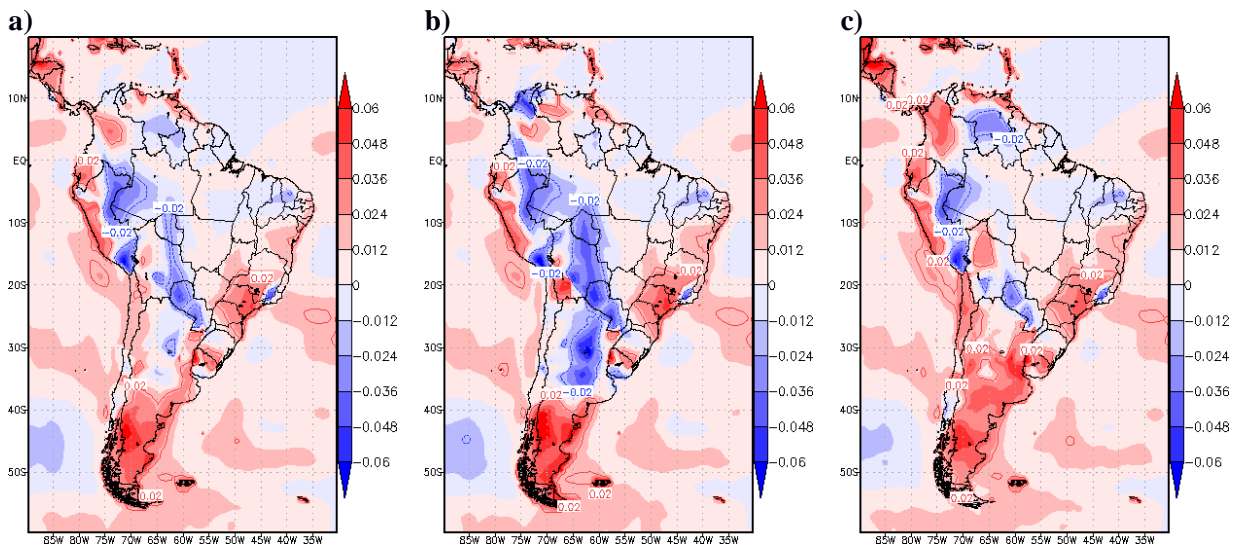


Figura 3 - Tendência da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ ) durante a fase AMO- (1963-1994): **a)** Tar, **b)** Tmax e **c)** Tmin, para o período DJF.

O padrão encontrado para a Tmax muda significativamente para o caso da Tmin (Figura 3c), há um considerável predomínio de tendências positivas sobre a AS, destacando-se as áreas sobre altas latitudes (a partir de  $30^{\circ}\text{S}$ ), região Sudeste (e norte do Sul) do Brasil e na costa Oeste da AS. A tendência positiva de Tmin encontrada ao Norte do Chile também foi constatada por Meseguer-Ruiz et al., (2018), e de acordo com os autores, a tendência de aumento da Tmin nesta região pode estar correlacionado com a altitude, sugerindo que níveis mais elevados da atmosfera possam também estar aquecendo, além da superfície ao nível médio do mar.

Estudos prévios também encontraram resultados semelhantes para o Sul do Brasil (Rosso et al., 2015). Vicent et al., (2005), ao analisar dados oriundos de estações meteorológicas na AS para o período de 1960 a 2000, também encontraram tendências positivas significativas para os índices da Tmin, indicando uma tendência significativa de aumento de noites quentes durante os períodos de DJF e MAM (Março-Abril-Maio), na costa oeste da AS e sobre as regiões Sul-Sudeste do Brasil.

Tendências negativas ficam limitadas sobre a Venezuela, na divisa do Peru com o Brasil, além do extremo sul do Peru e também sobre o Paraguai.

A análise da tendência para diferentes períodos é necessária para avaliar o comportamento das variáveis meteorológicas, no presente trabalho verifica-se uma tendência positiva significativa sobre a região Sul-Sudeste do Brasil durante o período de

1901 a 2012. Por outro lado, quando se divide em dois períodos, conforme as fases da AMO, percebe-se que durante AMO+ ocorrem tendências negativas sobre Bolívia, Peru e extremo oeste da região Norte do Brasil, tendências positivas sobre as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, além de tendências positivas para o Norte da AS e Centro-Oeste da Argentina e Chile para a Tmax. Para o período da AMO-, destaca-se significativas correlações positivas (negativas) sobre a região Sul da AS e Sudeste do Brasil (estendendo-se desde o Sul da Colômbia, até a região central da Argentina).

Nesta primeira avaliação, os resultados indicam que as variáveis Tar, Tmax e Tmin apresentam maiores variações durante o período da AMO- (1963 a 1994), principalmente ao Sul (tendência positiva) e região central (tendência negativa) da AS. No entanto, ao avaliar a correlação da AMO sobre determinadas regiões da AS (Figura 4), a influência do índice em determinadas regiões é ainda mais nítida.

De acordo com a Tabela 1, se verifica que durante todo o período da série de dados (1901-2012) a AMO influencia diretamente no comportamento da Tar, Tmax e Tmin, da região amazônica da AS (amazAS) com correlações positivas estatisticamente significativas. O mesmo comportamento também é observado para a região do Nordeste brasileiro (neBR) e para a Bacia do Prata (baprt). Enquanto que na região Sul da AS (sulAS), a significância é observada apenas para a Tmin com correlação negativa.

Ao dividir a série temporal conforme as oscilações da AMO, se verifica que durante a fase AMO+ correlações negativas (positivas) significativas são apenas para a Tar e Tmin (Tar e Tmax) na região da sulAS (baprt).

Com exceção da região sulAS, as demais regiões analisadas apresentaram correlações positivas significativas durante o período de AMO-, os maiores valores foram observados para a região amazAS, seguida pela região neBR. Para a região da baprt, apenas a Tmax indicou correlação positiva significativa durante a fase negativa da AMO.

Estes resultados observados na Tabela 1 indicam que Tar, Tmax e Tmin em diferentes regiões da AS apresentam maiores variações durante o período da AMO-, exceto a região sulAS.

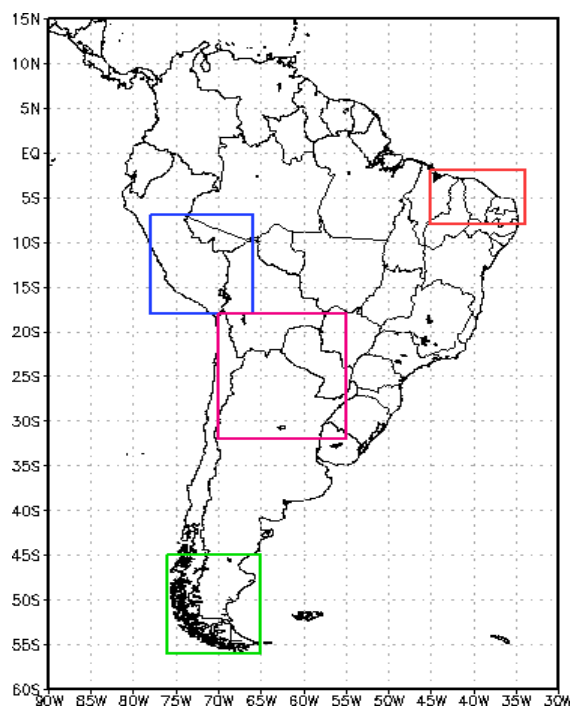


Figura 4 - Áreas utilizadas para o cálculo da correlação entre o índice da AMO e as temperaturas do ar (Tabela 1): amazAS (azul), sulAS (verde), neBR (vermelho) e baprt (rosa).

Tabela 1 - Correlação entre o índice AMO e a temperatura do ar (Tar), temperatura máxima do ar (Tmax) e temperatura mínima do ar (Tmin). Valores com (\*) são significativos a 95%.

	amazAS	sulAS	neBR	baprt
<b>1901-2012</b>				
<b>Tar</b>	<b>0,24*</b>	-0,14	<b>0,35*</b>	<b>0,29*</b>
<b>Tmax</b>	<b>0,28*</b>	-0,06	<b>0,34*</b>	<b>0,27*</b>
<b>Tmin</b>	<b>0,20*</b>	<b>-0,20*</b>	<b>0,34*</b>	<b>0,26*</b>
<b>1926-1962</b>				
<b>Tar</b>	-0,15	<b>-0,25*</b>	0,11	<b>0,21*</b>
<b>Tmax</b>	-0,09	-0,12	0,07	<b>0,26*</b>
<b>Tmin</b>	-0,16	<b>-0,36*</b>	0,09	0,14
<b>1963-1994</b>				
<b>Tar</b>	<b>0,44*</b>	0,04	<b>0,41*</b>	0,15
<b>Tmax</b>	<b>0,45*</b>	0,07	<b>0,36*</b>	<b>0,20*</b>
<b>Tmin</b>	<b>0,40*</b>	0,01	<b>0,37*</b>	0,04

As correlações positivas indicam que as temperaturas em tais regiões acompanham o comportamento do índice AMO, ou seja, quando a AMO se encontra na fase positiva do índice, as temperaturas da metade Norte da AS indicam anomalias acima da média, enquanto isso, a região sulAS apresenta um comportamento inverso, devido a correlação negativa, ou seja, enquanto a AMO

estiver na fase positiva, influenciará em anomalias negativas das temperaturas.

*Diferença das temperaturas entre as fases AMO+ e AMO- e variações atmosféricas associadas*

Outra forma de avaliar as variações da temperatura do ar durante as diferentes fases da AMO, é fazendo a diferença entre a fase positiva e



negativa da oscilação, considerado o teste *t-Student* como determinante para a significância de 95%. Nesta condição, foram retiradas as tendências e aplicado um filtro passa-baixo, para retirar possíveis sinais que poderiam interferir nas análises. Para a Tar (Figura 5a) verifica-se correlações positivas na região da Bacia do Prata, sobre o Sul do Peru, noroeste da Bolívia e Acre. Knight et al., (2006), avaliaram os impactos da AMO+ durante o trimestre do outono austral (MAM), e perceberam também um deslocamento para o norte da precipitação (associada a redução da pressão atmosférica), passando a atuar sobre o Oceano Atlântico Tropical Norte (Figura 5a), influenciado pela anomalia de ventos no sentido norte-sul. Essa mudança implica na mudança para o norte da ZCIT, quando comparada com a sua média climatológica, desta forma reduzindo a precipitação e os dias úmidos (Figura 5b) sobre o Nordeste do Brasil, o que favorece o aumento da Tar (e seus extremos) sobre a região.

As áreas com diferenças negativas significativas estão localizadas principalmente sobre os oceanos, compreendendo desde o Oceano Atlântico Tropical e Atlântico Sul, além do Oceano Pacífico Equatorial Sul, indicando que as temperaturas nessas regiões mencionadas são mais elevadas quando a AMO encontra-se na sua fase negativa. Sobre o continente, predominam áreas sobre o Norte e Centro-Oeste do Brasil estendendo-se até São Paulo sob maior influência de AMO-. Os resultados de Tar encontrados anteriormente são coerentes aos obtidos por Lyu e Yu (2017) ao utilizarem um conjunto de modelos que compõem o CMIP5.

Outra região com anomalias negativas está localizada no extremo Sul da AS, Garreaud et al., (2008) associaram aumentos da temperatura do ar em altas latitudes da AS com a fase positiva do Modo Anular Sul (SAM, em inglês), durante esta condição ocorre uma intensificação e uma mudança em direção ao polo das trilhas de tempestades (*storm tracks*), além do aumento da pressão atmosférica que condiciona situações de céu claro, aumentando a incidência de radiação e desta forma proporcionando condições favoráveis para aumentos da Tar sobre o Sul da AS.

Este resultado obtido para o Sul da AS difere do resultado encontrado por Kayano e Setzer (2018), que observaram durante o período de AMO+ a formação de um centro frio sobre o sudoeste do Oceano Atlântico induz anomalias anticiclônicas na

região, que juntamente com as anomalias ciclônicas ao sudeste do Oceano Pacífico, favorece a formação de um fluxo no sentido norte-sul sobre o Sul da AS. Este fluxo meridional transporta ar quente de latitudes mais baixas para a região de Punta Arenas. No entanto, os autores reconhecem que incertezas podem existir nos dados de TSM e nos dados atmosféricos utilizados em diferentes trabalhos.

O mesmo padrão observado para a Tar (Figura 5a) é observado para as variáveis Tmax (Figura 5b) e Tmin (Figura 5c). No entanto, as áreas com correlações positivas (negativas) são maiores na Tmax (Tmin) quando comparado com a Tar.

Apesar das variações na temperatura do ar e seus extremos durante as diferentes fases da AMO em regiões distintas da AS, vale ressaltar a grande amplitude (próximo a +1°C) que ocorre na região da Bacia do Prata quando se procede a diferença da AMO+ com a AMO-. Indicando que durante a AMO+ as temperaturas são mais elevadas nesta região (Figura 5), isso pode ser explicado pelo fato que durante a AMO- ocorre um aumento da pressão atmosférica na região (Figura 6b), associado com uma redução da velocidade do vento próximo à superfície (Figura 6c) e conseqüentemente uma redução da precipitação (Figura 6a). Estudos demonstraram que esta redução da precipitação pode ser uma consequência da desintensificação dos JBN, oriundos da região norte da AS, associado ao surgimento de um centro de alta pressão entre o Sul do RS e o Uruguai, durante a AMO- e podendo também estar associado a presença do ENOS no Pacífico Equatorial (Grimm et al., 2016; Kayano et al., 2017; Jones e Carvalho 2018).

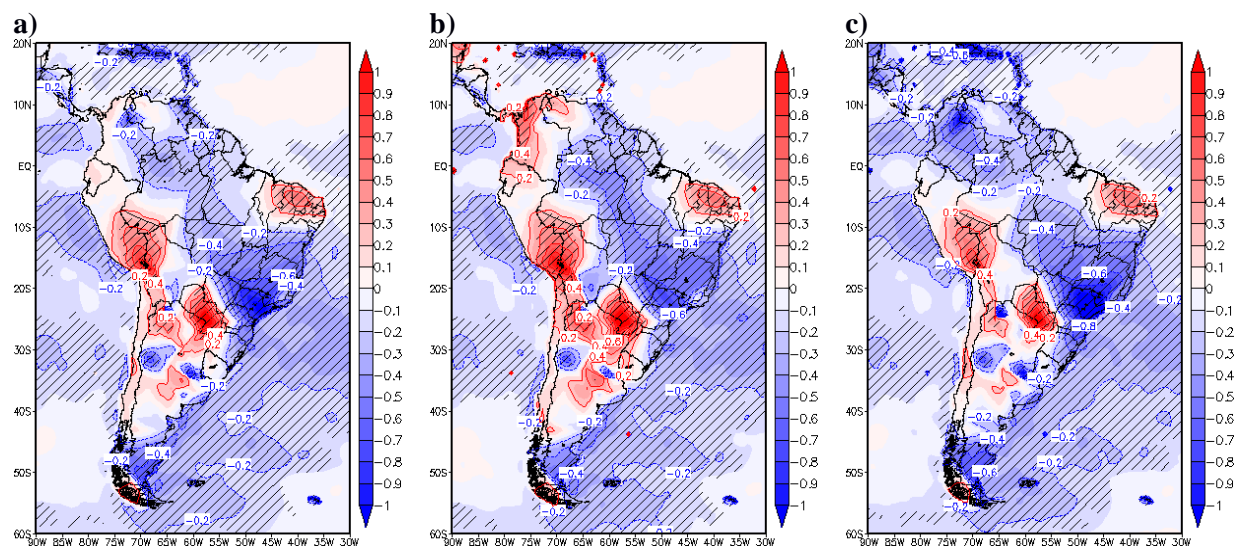


Figura 5 - Diferença entre a AMO+ e AMO- para: a) Tar, b) Tmax e c) Tmin, para o período DJF.

Anomalias positivas estatisticamente significativas da temperatura do ar e seus extremos também são observadas sobre a região NE do Brasil, resultante da diferença entre as fases da AMO. O Nordeste do Brasil é influenciado principalmente pelo transporte de ar úmido do oceano Atlântico, durante a fase positiva da AMO, a ZCIT está deslocada mais para o Norte da AS (favorecendo ao maior acumulado de precipitação nesta região), isso favorece, consequentemente a redução da precipitação (Figura 6a) sobre a região Nordeste. Hodson et al., (2009) ao utilizar modelos climáticos globais que forçaram condições de aquecimento sobre o Oceano Atlântico Norte (AMO+) encontraram resultados semelhantes com anomalias positivas (negativas) para a temperatura do ar (precipitação) sobre o Nordeste do Brasil, que poderia estar associado à TSM mais fria no Oceano Atlântico equatorial norte e ao aumento da incidência solar durante DJF.

Enquanto o período da AMO- é caracterizada por redução das temperaturas sobre as regiões Nordeste do Brasil e Bacia do Prata (Figura 5), ocorre o inverso na região Norte do Brasil, estendendo-se até a região Sudeste do Brasil, parte da região Sul e grande parte do Oceano Atlântico Sul (Figura 5a, 5b e 5c), ou seja, nestas regiões a temperatura do ar e seus extremos, apresentam valores menores durante a fase AMO+. Este padrão espacial encontrado, é semelhante ao padrão do principal sistema atmosférico responsável pela

precipitação sobre estas regiões do Brasil durante o período de verão austral, que é a ZCAS.

Lüning et al., (2019) sugerem que durante a AMO-, um enfraquecimento da Circulação Termohalina poderia ser associado com um também enfraquecimento (fortalecimento) da Corrente das Malvinas para o norte (Corrente do Brasil), diminuindo o transporte de calor no sentido sul-norte e acumulando calor no Atlântico Sul, o que poderia explicar as anomalias negativas sobre o Atlântico Sul na Figura 5. Este aquecimento da região oeste do Atlântico Sul poderia aumentar a atividade da ZCAS e a precipitação sobre a região Sudeste da América do Sul (Figuras 6a, 6b e 6c).

Outro mecanismo que pode conectar a AMO e a ZCAS envolve a posição da ZCIT no Atlântico equatorial. Resultados de reconstrução climática gerados por Knudsen et al., (2011) demonstram que a baixa variabilidade da AMO (entre 60 a 90 anos) pode influenciar diretamente o deslocamento norte-sul da ZCIT durante o Holoceno, além disso, resultados oriundos de modelagem mostram que durante períodos da AMO-, a ZCIT é direcionada para o Sul, causando uma anomalia positiva no transporte de umidade sobre a bacia Amazônica (Bernal et al., 2016; Lyu e Yu, 2017).

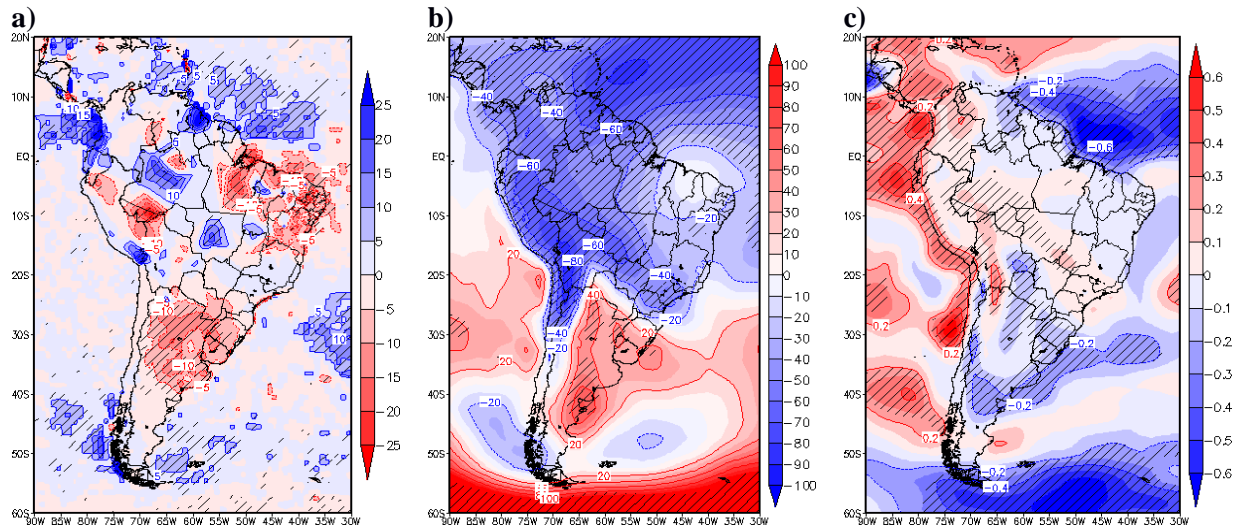


Figura 6 - Diferença entre a AMO+ e AMO- para: **a)** Precipitação, **b)** Pressão atmosférica e **c)** Velocidade do vento em superfície, para o período DJF

A anomalia equatorial poderia aumentar a convecção na Amazônia, reforçando os JBN e a precipitação na Bacia do Prata durante DJF (Bettoli e Penalba, 2018; Jones e Carvalho, 2018; Montini et al., 2019). Este padrão descrito acima é observado na Figura 6. Anomalias negativas de vento em superfície (Figura 6c) no oceano Atlântico Equatorial, indica que durante a AMO- ocorre uma intensificação dos ventos e conseqüentemente um maior transporte de umidade oriunda dos ventos alísios em direção a região Norte do Brasil. Contribuindo para uma intensificação da ZCAS e uma posição mais ao sul da ZCIT. A formação destes sistemas também podem estar associados ao aumento da temperatura do ar e seus extremos durante a AMO-, colaborando para um aumento da demanda evaporativa sobre o continente. Provavelmente como uma resposta de um deslocamento para o sul do principal cinturão de chuva associado com a ZCAS, como uma necessária resposta da circulação de Hadley (Cruz et al., 2005) durante a AMO-.

Anomalias de Tar e Tmin (e Tmax em menor proporção) são observadas sobre o extremo Sul da AS, indicando que durante AMO- a Tar e Tmin ficam mais elevadas quando comparadas com o período de AMO+. Este padrão pode ser alcançado com o auxílio do centro de alta pressão que se forma sobre o litoral da Argentina (Figura 6b), que de acordo com Kayano e Setzer (2018) colabora para o transporte de calor para mais altas latitudes da AS. Somado a esta condição, há uma redução da pressão atmosférica

sobre o extremo Sul da AS, favorecendo o aumento da precipitação (Figura 6a), além de uma redução dos ventos de oeste sobre o Estreito de Drake (Figura 6c).

### Considerações Finais

O presente estudo buscou demonstrar que as análises de variações de temperatura do ar e seus extremos, durante o período de verão austral (DJF), a análise diretamente baseada na tendência da série pode induzir a resultados que não representam a realidade sobre a AS. Como uma alternativa para demonstrar tais variações da temperatura do ar, técnicas de remoção da tendência e a aplicação de filtros foram adotadas, além de dividir a série em duas partes, seguindo as oscilações da AMO.

Antes de remover a tendência e aplicar o filtro, verificou-se que para o período de 1901 a 2012, a Tar apresentou tendências positivas estatisticamente significativas para a região Sudeste e Sul do Brasil, superando 0,2 °C/dec sobre o estado de São Paulo. O mesmo padrão da Tar foi observado na Tmin, aumentando a área da tendência positiva significativa sobre o Uruguai e Argentina, enquanto que no caso da Tmax, ocorreu uma redução da área, ficando limitada à região Sudeste do Brasil e ao Sul da latitude de 40 °S na Argentina.

Ao dividir a série em duas partes e considerando o período de 1926 a 1962 correspondente ao período em que ocorreu a AMO+, notou-se para a Tar um centro de tendência negativa para a temperatura e seus extremos sobre o Sul do

Peru, Noroeste da Bolívia, extremo norte do Chile e extremo oeste da região Norte do Brasil. Tendências positivas foram observadas entre as latitudes de 30 °S e 40 °S sobre o Chile e Oeste da Argentina, Norte do Paraguai, Norte da AS, além das regiões Centro-Oeste, Sudeste e oeste da região Sul do Brasil. Padrão semelhantes foram observados para a Tmax e Tmin.

Durante a fase negativa da AMO (AMO-) que corresponde o período de 1963 a 1994, ficou caracterizado por tendências positivas (negativas) ao Sul (na região central) da AS para a Tar. No entanto, a tendência negativa (positiva) foi mais pronunciada para a Tmax (Tmin) sobre a região central da AS, estendendo-se até a região central da Argentina (sobre o Sul e Oeste da AS), além de tendências positivas sobre altas latitudes da AS.

Um dos objetivos de retirar a tendência de uma série e aplicar o filtro é justamente remover a influência antrópica sobre os resultados, principalmente quando se procura compreender as variações do sistema climático. Neste segundo momento do trabalho, foi realizada a diferença entre o período da AMO+ com o período da AMO-, constatou-se que durante a AMO+ ocorreu um aumento da Tar sobre o Oceano Atlântico Equatorial Norte. Anomalias positivas significativas também foram observadas sobre a região da Bacia do Prata, NE do Brasil e Sul do Peru, indicando que essas regiões apresentam aumento da Tar durante AMO+.

Anomalias negativas são observadas sobre as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, além do extremo sul da AS, indicando que estas regiões apresentam aumento da Tar durante a AMO-. Além das regiões acima citadas, grandes extensões sobre os oceanos Atlântico Sul e Pacífico Equatorial apresentaram tendências negativas.

O mesmo padrão encontrado para a Tar também foi observado para os extremos, ocorrendo aumento das anomalias negativas (positivas) para a Tmin (Tmax). Verifica-se também que a temperatura do ar e seus extremos apresentam maiores anomalias durante a fase da AMO-.

Conclui-se desta forma que durante a fase da AMO+ é esperado um aumento da temperatura do ar e seus extremos sobre a Bacia do Rio da Prata, NE do Brasil e Sul do Peru, enquanto que ocorre uma redução da temperatura e seus extremos sobre as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil e Oceano Atlântico Sul. Estes padrões são esperados pelo fato que durante a AMO+ ocorre um aumento da nebulosidade sobre a região correspondente a formação da ZCAS, além de um deslocamento mais para norte da ZCIT, fazendo com que a temperatura

do ar fique com menores valores. No extremo Sul da AS as anomalias negativas da Tar e Tmin durante a AMO+ estão associadas com o transporte de umidade do Oceano Atlântico Sul pelo centro de alta pressão que se forma no litoral da Argentina.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES). Processo número 23110.044318/2018-98.

### Referências

- Barkhordarian, A., von Storch, H., Zorita, E., Loikith, P., Mechoso, C., 2018. Observed warming over northern South America has an anthropogenic origin. *Climate Dynamics* 51, 1901-1914.
- Berlato, M., Althaus, D., 2010. Tendência observada da temperatura mínima e do número de dias de geadas do Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, 16, 7-16.
- Bernal, P., Cruz, W., Strikis, M., Wang, X., Deininger, M., Catunda, A., Ortega-Obregón, C., Cheng, H., Edwards, R., Auler, S., 2016. High-resolution Holocene South American monsoon history recorded by a speleothem from Botuverá Cave, Brazil. *Earth and Planetary Science Letters*, 450, 186–196.
- Bettolli, M., Penalba, O., 2018. Statistical downscaling of daily precipitation and temperatures in southern La Plata Basin. *International Journal of Climatology*, 38, 3705–3722.
- Byrne, M., O’Gorman, P., 2018. Trends in continental temperature and humidity directly linked to ocean warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 19, 4863-4868.
- Coelho, C., Oliveira, C., Ambrizzi, T., Reboita, M., Carpenedo, C., Campos, J., Tomaziello, A., Pampuch, L., Custódio, M., Dutra, L., Rocha, R., Rehbein, A., 2016. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Climate Dynamics* 46, 3737-3752.
- Collins, J., Chaves, R., Marques, V., 2009. Temperature Variability over South America. *Journal of Climate* 22, 5854-5869.
- Cordeiro, A., Berlato, M., Fontana, D., Alves, R., 2016. Tendências climáticas das temperaturas do ar no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 9, 868-880.



- Cruz, F., Burns, S., Karmann, I., Sharp, W., Vuille, M., Cardoso, A., Ferrari, J., Dias, P., Viana, O., 2005. Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. *Nature* 434, 63-66.
- Detzer, J., Loikith, P., Pampuch, L., Mechoso, C., Barkhordarian, A., Lee, H., 2019. Characterizing monthly temperature variability states and associated meteorology across southern South America. *International Journal of Climatology* 40, 492-508, doi: <https://doi.org/10.1002/joc.6224>
- Feron, S., Cordero, R., Damiani, A., Llanillo, P., Jorquera, J., Sepulveda, E., Asencio, V., Laroze, D., Labbe, F., Carrasco, J., Torres, G. 2019. Observations and Projections of Heat Waves in South America. *Nature: Scientific Reports* 9, doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-019-44614-4>.
- Garreaud, R., Vuille, M., Compagnucci, R., Marengo, J., 2008. Present-day South America climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, doi: 10.1016/j.paleo.2007.10.032.
- Geirinhas, J., Trigo, R., Libonati, R., Coelho, C., Palmeira, A., 2017. Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.5294.
- Grimm, A., Laureanti, N., Rodakowski, R., Gama, C., 2016. Interdecadal variability and extreme precipitation events in South America during the monsoon season. *Climate Research* 68, 277–294.
- Hodson, D., Sutton, R., Cassou, C., Keenlyside, N., Okumura, Y., Zhou, T., 2009. Climate impacts of recent multidecadal changes in Atlantic Ocean Sea Surface Temperature: a multimodel comparison. *Climate Dynamics* 34, 1041-1058.
- Huang, B., Thorne, P., Smith, T., Liu, W., Lawrimore, J., Banzon, V., Zhang, H., Peterson, T., Menne, M., 2015. Further Exploring and Quantifying Uncertainties for Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) Version 4 (v4). *Journal of Climate* 29, 3119-3142.
- Jones, C., Carvalho, L., 2018. The influence of the Atlantic multidecadal oscillation on the eastern Andes low-level jet and precipitation in South America. *Nature*, 1, doi: 10.1038/s41612-018-0050-8.
- Kayano, M., Andreoli, R., Souza, R., Garcia, S., 2017. Spatiotemporal variability modes of surface air temperature in South America during the 1951–2010 period: ENSO and non-ENSO components. *International Journal Of Climatology* 37, doi: 10.1002/joc.4972.
- Kayano, M., Setzer, A., 2018. Nearly Synchronous Multidecadal Oscillations of Surface Air Temperature in Punta Arenas and the Atlantic Multidecadal Oscillation Index. *Journal of Climate* 31, 7237-7248.
- Knight, J., Folland, C., Scaife, A., 2006. Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Geophysical Research Letters* 33, L17706.
- Knudsen, M., Seidenkrantz, M., Jacobsen, B., Kuijpers, A., 2011. Tracking the Atlantic Multidecadal Oscillation through the last 8,000 years. *Nature Communications*, 2, doi: 10.1038/ncomms1186.
- Li, C., Zhao, T., Ying, K. 2017a. Quantifying the contributions of anthropogenic and natural forcings to climate changes over arid-semiarid areas during 1946–2005. *Climatic Change* 144, 505–517.
- Li, Y., Li, J., Kucharski, F., Feng, J., Zhao, S., Zheng, J., 2017b. Two leading modes of the interannual variability in South American surface air temperature during austral winter. *Climate Dynamics* 51, 2141-2156.
- Llopart, M., Reboita, M., Coppola, E., Giorgi, F., Rocha, R., Souza, D., 2018. Land Use Change over the Amazon Forest and Its Impact on the Local Climate. *Water* 10, doi: 10.3390/w10020149.
- Lovino, M., Müller, O., Berbery, E., Müller, G., 2018. Evaluation of CMIP5 retrospective simulations of temperature and precipitation in northeastern Argentina. *International Journal of Climatology* 38, doi: 10.1002/joc.5441.
- Lüning, S., Galka, M., Bamonte, F., Rodríguez, F., Vahrenholt, F., 2019. The Medieval Climate Anomaly in South America. *Quaternary International* 508, 70-87.
- Lyu, K., Yu, J., 2017. Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation simulated in the CMIP5 models: A re-evaluation based on a revised index. *Geophysical Research Letters* 44, doi: 10.1002/2017GL072681.
- Meseguer-Ruiz, O., Ponce-Philimon, I., Quispe-Jofré, S., Guijarro, A., Sarricolea, P., 2018. Spatial behaviour of daily observed extreme temperatures in Northern Chile (1966–2015): data quality, warming trends, and its orographic and latitudinal effects. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 32, 3503-3523.
- Montini, T., Jones, C., Carvalho, L., 2019. The South American Low-Level Jet: A New Climatology, Variability, and Changes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 124, 1200-1218.



- Montroull, N., Saurral, R., Camilloni, I., 2018. Hydrological impacts in La Plata basin under 1.5, 2 and 3 °C global warming above the pre-industrial level. *International Journal of Climatology* 38, 3355-3368.
- Oliveira, P., Santos e Silva, M., Lima, K., 2017. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* 130, 77-90.
- Pascale, S., Carvalho, L., Adams, D., Castro, C., Cavalcanti, I., 2019. Current and Future Variations of the Monsoons of the Americas in a Warming Climate. *Current Climate Change Reports* 5, 125-144.
- Patricola, C., Saravanan, R., Chang, P. 2017. A teleconnection between Atlantic sea surface temperature and eastern and central North Pacific tropical cyclones. *Geophysical Research Letters* 44, 1167-1174.
- Ren, L., Arkin, P., Smith, T., Shen, S., 2013. Global precipitation trends in 1900-2005 from a reconstruction and coupled model simulations. *Journal of Geophysical Research* 118, 1679-1689.
- Reguero, B., Losada, I., Méndez, F. 2019. A recent increase in global wave power as a consequence of oceanic warming. *Nature Communications* 10, doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08066-0>
- Rosenblüth, B., Fuenzalida, H., Aceituno, P., 1997. Recent temperature variations in Southern South America. *International Journal of Climatology* 17, 67-85.
- Rosso, F., Boiaski, N., Ferraz, S., Dewes, C., Tatsch, J., 2015. Trends and decadal variability in air temperature over Southern Brazil. *American Journal of Environmental Engineering* 5, 85-95.
- Salviano, M., Groppo, J., Pellegrino, G., 2016. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 31, 64-73.
- Sheffield, J., Goteti, G., Wood, E., 2006. Development of a 50-yr high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modeling. *Journal of Climate* 19, 3088-3111.
- Smith, T., Reynolds, R., Peterson, T., Lawrimore, J., 2008. Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880-2006). *Journal of Climate* 21, 2283-2296, doi: 10.1175/JCLI2100.1.
- Soares, D., Lee, H., Loikith, P., Barkhordarian, A., Mechoso, C., 2016. Can significant trends be detected in surface air temperature and precipitation over South America in recent decades? *International Journal Of Climatology* 37, 1483-1493.
- Sutton, R., Hodson, L., 2005. Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate. *Science* 309, 115-118.
- Thompson, D., Wallace, J., Jones, P., Kennedy, J., 2009. Identifying signatures of natural climate variability in time series of global-mean surface temperature: methodology and insights. *Journal of Climate* 22, 6120-6141.
- Timmermann, A., Latif, M., Grötzner, A., 1998. Northern Hemisphere interdecadal variability: A coupled air-sea mode. *Journal of Climate* 11, 1906-1931.
- Trenberth, K., Shea, D., 2006. Atlantic hurricanes and natural variability in 2005. *Geophysical Research Letters*, 33, L12704, doi: 10.1029/2006GL026894.
- Vargas, W., Naumann, G., 2008. Impacts of climatic change and low frequency variability in reference series on daily maximum and minimum temperature in southern South America. *Regional Environmental Change* 8, 45-57.
- Vicent, L., Peterson, T., Barros, V., Marino, M., Rusticucci, M., Carrasco, G., Ramirez, E., Alves, L., Ambrizzi, T., Berlato, M., Grimm, A., Marengo, J., Molion, L., Moncunill, D., Rebello, E., Anunciação, Y., Quintana, J., Santos, J., Baez, J., Coronel, G., Garcia, J., Trebejo, I., Bidegain, M., Haylock, M., Karoly, D., 2005. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate* 18, 5011-5023.
- Wu, Y., Polvani, L., 2017. Recent Trends in Extreme Precipitation and Temperature over Southeastern South America: The Dominant Role of Stratospheric Ozone Depletion in the CESM Large Ensemble. *Journal of Climate* 30, 6433-6441.
- Zhai, P., Zhou, B., Chen, Y. 2018. A Review of Climate Change Attribution Studies. *Journal of Meteorological Research* 32, 671-692.