



## **Efeitos combinados de modos de variabilidade climática sobre totais de precipitação da América do Sul**

### **Resumo**

Variabilidades climáticas são fenômenos meteorológicos que influenciam totais sazonais de precipitação. O El Niño-Oscilação Sul (ENOS) possui a maior influência sobre a América do Sul (AS), juntamente com modos de variabilidade interdecadais como a Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) e a Oscilação Interdecadal do Pacífico (OIP). Na variabilidade natural do clima, tais influências podem ocorrer com sobreposição ou com influências mútuas. A fim de expandir a informação sobre tais influências e garantir melhoria no gerenciamento de recursos hídricos, este trabalho propõe a análise de efeitos de diferentes combinações de modos de variabilidade sobre a precipitação da AS. Para tal, são usados dados de temperatura da superfície do mar (TSM), circulação atmosférica e precipitação para as estações de outono e inverno, de 1950 a 2014. Os modos de variabilidade foram definidos por Análise de Componentes Principais (ACP) de TSM, cujas fases foram definidas a partir de limiares nas séries temporais do componente principal. Os efeitos isolados e mútuos dos modos sobre a precipitação sazonal na AS são obtidos por composições de anomalias em eventos de combinação de fases. Os resultados mostram intensificação dos efeitos de ENOS com OIP na fase positiva e também com OMA quando em fase oposta. Algumas superposições lineares são observadas entre os campos de anomalias de precipitação, porém também há indicação de efeitos não lineares, pelos quais o efeito de um modo altera o de outro modo, desconfigurando-o.

**Palavras-chave:** El Niño Oscilação Sul; modos de variabilidade climática; precipitação na América do Sul.

## **Abstract**

Climatic variabilities are meteorological phenomena that influence seasonal precipitation totals. The El Niño-Southern Oscillation (ENSO) has the greatest influence over South America (SA), along with interdecadal modes of variability such as the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) and the Interdecadal Pacific Oscillation (IPO). In the natural climate variability, such influences can occur with overlapping or mutual influences. To expand the information on such influences and improve water resources management, this work proposes to analyze the effects of different combinations of variability modes on SA precipitation. For this purpose, this work uses data on sea surface temperature (SST), atmospheric circulation, and precipitation for the autumn and winter austral, from 1950 to 2014. Principal Component Analysis (PCA) of SST defined the variability modes, whose phases were defined from thresholds in the time series of the principal component. The isolated or mutual effects of modes over the seasonal precipitation in SA are obtained by anomaly compositions for phase combination events. The results show an intensification of ENSO effects with IPO in the positive phase and also with AMO when in the opposite phase. Some linear superpositions are observed between the precipitation anomaly fields, but there is also an indication of non-linear effects, whereby the impact in one mode alters the one of another mode, disfiguring it.

**Keywords:** El Niño South Oscillation; climate variability modes; precipitation in South America.

## **Resumen**

La variabilidad climática es un fenómeno meteorológico que influye en los totales de precipitación estacional. La Oscilación Niño-Sur (ENOS) tiene mayor influencia sobre América del Sur (SA), junto con modos de variabilidad interdecadal como la Oscilación Multidecadal Atlántica (OMA) y la Oscilación Interdecadal Pacífica (OPI). En la variabilidad natural del clima, tales influencias pueden ocurrir con superposiciones o influencias mutuas. Con el fin de ampliar la información sobre dichas influencias y asegurar una mejor gestión de los recursos hídricos, este trabajo tiene como objetivo analizar los efectos de diferentes combinaciones de modos de variabilidad en la precipitación de SA. Para ello, se utilizan datos de temperatura superficial del mar (TSM), circulación atmosférica y precipitación para los

períodos australes de otoño e invierno, de 1950 a 2014. Los modos de variabilidad fueron definidos por el Análisis de Componentes Principales (PCA) del TSM, cuyas fases se definieron a partir de límites en la serie temporal del componente principal. Los efectos aislados o mutuos de los modos sobre la precipitación estacional en SA se obtienen mediante composiciones de anomalías para eventos de combinación de fases. Los resultados muestran una intensificación de los efectos de ENOS con OPI en la fase positiva y también con OMA en la fase opuesta. También existen algunas superposiciones lineales entre los campos de anomalías de precipitación, pero también hay una indicación de efectos no lineales, donde el efecto de una forma altera el efecto de otra, desfigurándola.

**Palabras-claves:** El Niño Oscilación Sur; modos de variabilidad climática; precipitación en América del Sur.

## **Introdução**

Estudos sobre variabilidades climáticas geram uma base fundamental para a previsão climática, favorecendo vários setores da agricultura, sociais e ambientais. Dentre as variabilidades climáticas de temperatura da superfície do mar (TSM), os efeitos do El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre a América do Sul (AS) são os mais impactantes, de acordo com a literatura. No trabalho de Marengo et al. 2018, esse fenômeno é citado como um dos principais precursores da seca no Nordeste Brasileiro. Sua atuação específica no outono (março, abril e maio) gera influência sobre a precipitação no nordeste e sudeste da AS (Grimm, 2011) e durante o inverno (junho, julho e agosto) sobre o Sul do Brasil (Grimm et al., 2000). Além desse modo, a variabilidade natural do clima também possui importantes modos de variabilidade interdecadal que afetam a precipitação na AS. Modos dominantes de variabilidade interdecadal do Atlântico e Pacífico, como a Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) e a Oscilação Interdecadal do Pacíficos (OIP) possuem impactos importantes e também consolidados na literatura (Grimm et al., 2016).

O impacto combinado de tais modos variabilidade foi registrado em 2020 e se tornou destaque científico por proporcionar eventos intensos de seca no Sul do Brasil (Grimm et al., 2020) e também por pronunciar uma gama de combinações que possivelmente podem resultar em variabilidades também suntuosas de precipitação. O objetivo deste estudo é verificar, a partir de análises climatológicas, os efeitos combinados de modos de variabilidade sobre a precipitação na AS.

A primeira identificação da Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) foi em 1994 por Schlesinger and Ramankutty (Kayano & Capistrano, 2014). Seus registros indicam que as fases desse modo devem ser consideradas para monitoramento e previsão do clima (Kayano et al., 2016). Além disso, de acordo com Kayano & Capistrano (2014), a atuação simultânea de diferentes modos de variabilidade geram efeitos convectivos diferentes quando em performances isoladas. Por exemplo, as composições de anomalias de precipitação relacionadas ao ENOS sobre a AS mostram padrões mais (menos) organizados com anomalias significativas ocupando áreas extensas (reduzidas) quando ENOS e OMA estão com fase oposta (igual). Eventos de ENOS em fase positiva (negativa) que ocorrem na fase de OMA negativa (positiva), ou seja, fases opostas, são, em geral, mais fortes do que aqueles na fase positiva (negativa) de OMA, devido à presença de uma diferença de TSM tropical entre Pacífico e Atlântico. As anomalias de TSM do Atlântico reforçam os eventos de ENOS através de uma circulação anômala de Walker; como consequência, as anomalias de precipitação relacionadas ao ENOS sobre a AS são mais intensas (Kayano & Capistrano, 2014).

A OIP representa a variabilidade interdecadal que possui semelhança geográfica ao ENOS (Parker et al., 2007). Experimentos de modelagem sugeriram recentemente que a OMA é a fonte dos ventos que podem induzir o padrão OIP, de modo que OMA positiva precederia a OIP negativa por 4-8 anos (Yang et al., 2020). Para Cai et al. (2020) as influências de precipitação sobre a AS para ENOS ativado é mais intensa para anos OIP em fase positiva do que para OIP em fase negativa. Durante a OIP positiva, a fase positiva do ENOS foi associada a um aumento de chuvas no Sul do Brasil e no centro do Chile, o que não acontece na fase negativa de OIP. A combinação OIP em fase negativa e OMA em fase positiva no outono pode produzir variação no estado básico da atmosfera e favorece estiagem no Sul do Brasil (Grimm et al., 2020).

A importância de observar efeitos de variabilidade combinados durante o outono e inverno é pela contribuição para o gerenciamento de recursos hídricos, considerando o aporte de precipitação para a preservação do volume de reservatórios, além de ser estratégico para setores da agricultura e na observação de desastres naturais. Com o objetivo de auxiliar nas previsões climáticas, serão avaliados os impactos de modos de variabilidade de TSM combinados sobre o clima de outono-inverno.

## **Materiais e métodos**

O banco de dados do Laboratório de Meteorologia da UFPR foi a fonte principal de dados para este trabalho. Os dados de precipitação foram obtidos da Agência Nacional das Águas (ANA) e outras estações hidrometeorológicas da AS, complementado por um conjunto de Liebmann e Allured (2005). Os dados de TSM são globais e provenientes do instituto Hadley Centre (HADSST1) (Rayner et al. 2003). Os dados utilizados são mensais para o período de 1950 a 2014 e foram interpolados para uma grade com resolução de 2,5° latitude x 2,5° longitude. Os dados de precipitação foram tratados para remover dados espúrios.

Para descrever a circulação atmosférica, é utilizado o campo de função corrente zonalmente assimétrica (PSIZA), que é dada pela diferença entre a função corrente em cada ponto de grade e a função corrente média daquela latitude. Com isso, é possível observar com maior clareza circulações anômalas, ciclônica e anticiclônica. Os dados de PSIZA são calculados a partir dos componentes horizontais do vento do *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)* (Kalnay et al., 1996).

Para determinar os modos de variabilidade de TSM, foi utilizada uma Análise de Componentes Principais (ACP) em dados de TSM, com o método de rotação Varimax ortogonal (Wilks, 2006). A obtenção dos modos prioriza os resultados com maior variância da ACP, identificando os modos com maior representatividade dentro da série. Para obtenção dos modos interdecadais, foi aplicado nos dados o filtro de Gauss para reter apenas oscilações com período maior que 8 anos. Tal filtro baseia-se em uma média móvel ponderada, cujos pesos seguem uma distribuição gaussiana (Mitchell et al., 1966).

A intensidade da variação temporal dos modos define as fases, onde valores  $\geq 0.3$  ( $\leq -0.3$ ) é fase positiva (negativa) e a fase neutra quando estão entre esses limiares. Amostras foram criadas com anos de ENOS positivo e negativo com combinações de i) fases positivas ou ii) negativas simultâneas de OMA e OIP; iii) fase positiva de OMA e negativa de OIP; iv) negativa de OMA e positiva de OIP. Para resumir a informação, anos de fase positiva/negativa serão descritos como (+)/(-) para cada modo.

Para caracterizar os padrões espaciais em ocorrência para cada combinação, foram realizadas composições de anomalias, com a obtenção da média de anomalias padronizadas (desvios com relação à média do período) para cada amostra de anos. Assim, cada amostra analisada possui anomalias em níveis comparativos com diferentes variáveis. Composições

com conjuntos amostrais com menos de três eventos de combinações não foram mostrados, a fim de preservar a significância estatística do resultado, que é verificada a partir do teste T de Student (Wilks, 2006).

## Resultados e discussão

A representação do ENOS foi verificada no primeiro modo rotacionado da ACP de variabilidade interanual com 9,69% da variância no outono e no 3º modo no inverno com variância de 7,12% (Figura 1). Dentre os modos interdecadais, verificou-se a OIP no 2º modo rotacionado em ambas as estações com 15,62% da variância no outono e 13,91% no inverno. A OMA foi representada pelo terceiro modo para as duas estações com 9,20% e 11,73% da variância de outono e inverno, respectivamente.

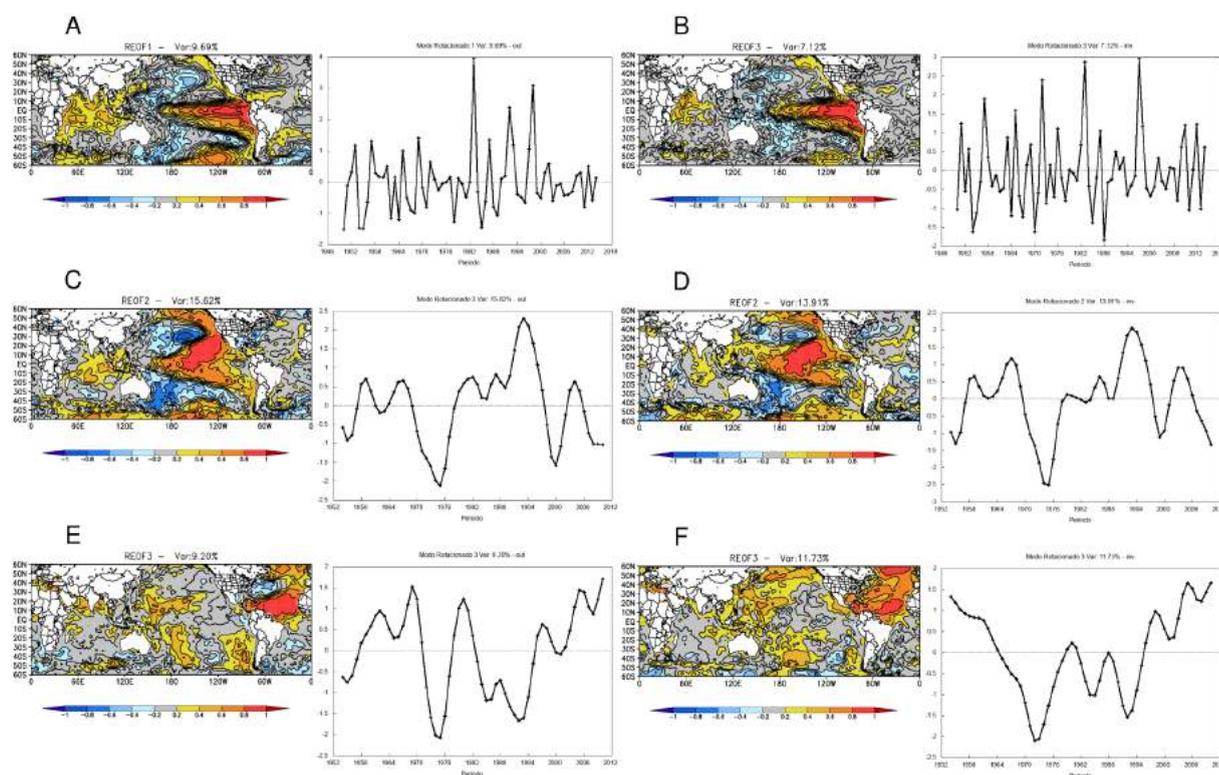


Figura 1 - Representação espacial e temporal dos modos de variabilidade interanuais e interdecadais de TSM de outono (A, C e E) e inverno (B, D e F). A coluna superior, central e inferior representam ENOS (A e B), OIP (C e D) e OMA (E e F), respectivamente.

A atuação dos modos em fases isoladas foi verificada com composições de anomalia baseada na série temporal dos modos para anos de fase positiva e negativa no outono (Figura 2) e no inverno (Figura 3). Os padrões de anomalias de TSM são dispostos ao lado de

anomalias de precipitação e confirmam a atuação dos modos nos anos selecionados, diretamente como reproduzidos pela ACP.

No outono, eventos com a fase positiva de ENOS, ou ENOS(+) (Figura 2A), reproduzem anomalias positivas de precipitação no sudeste da AS e negativas no norte/nordeste. Para ENOS(-) (Figura 2B) ocorre o inverso, porém com menor intensidade, sobretudo no sudeste da AS. Apesar da OIP(+) (Figura 2C) não contribuir com anomalias significativas de precipitação no outono, o padrão de anomalias é similar ao ENOS(+), exceto no centro-norte da Argentina. Para OIP(-) (Figura 2D), notam-se anomalias significativas de sinal negativo na região de Minas Gerais e Bahia e anomalias negativas menos significativas no Centro-Oeste do Brasil e positivas ao norte. Já a OMA produz, na fase positiva (Figura 2E), anomalias positivas (negativas) de precipitação no noroeste (sudeste) do continente. Impactos de sinal contrário são identificados em OMA(-) (Figura 2F), similares aos impactos de ENOS(+) sobretudo no sudeste do continente.

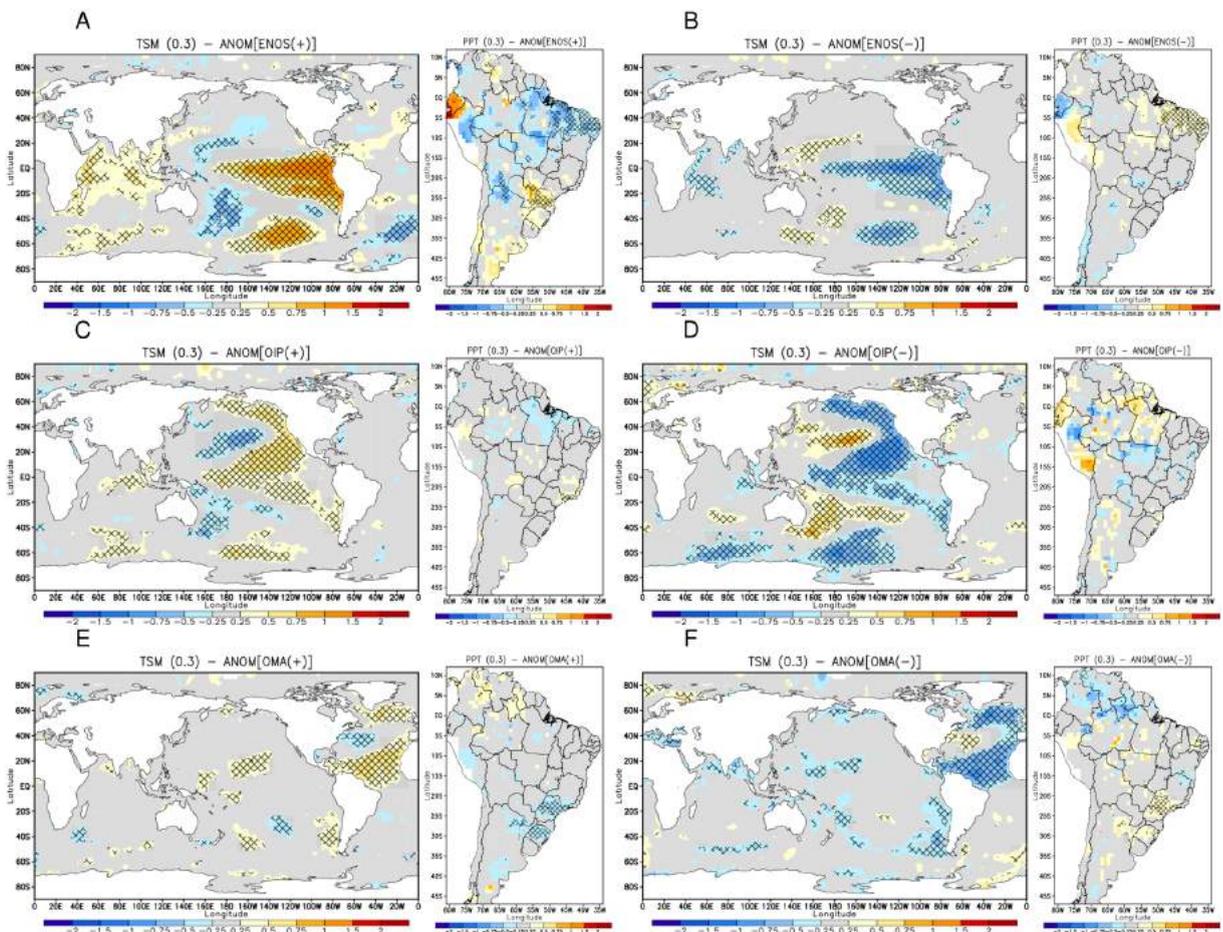


Figura 2 - Composições de anomalias de TSM (direita) e precipitação (esquerda) no outono para anos de fase positiva (A, C e E) e fase negativa (B, D e F) dos modos. As figuras

superiores representam a atuação do ENOS, as centrais da OIP e as inferiores da OMA. As áreas hachuradas contêm anomalias significativas com 90% de confiança ou mais, enquanto as cores representam valores das anomalias padronizadas.

Durante o inverno, os modos no geral apresentam redução dos seus impactos. ENOS(+) e ENOS(-) ainda apresentam padrões similares aos de outono no nordeste e sudeste do continente (Figura 3A e B). Eventos de OIP(+) no inverno produzem anomalias significativas de sinal oposto a ENOS(+) no sudeste (Figura 3C) e o oposto em OIP(-) (Figura 3D), o que não acontecia no outono (Figura 2). Já a OMA(+) (Figura 3E) apresenta anomalias significativas de sinal negativo no centro-leste do continente. Na sua fase negativa quase não há anomalias significativas de precipitação, com exceção de algumas áreas no Nordeste do Brasil. Nessa região, ambas as oscilações interdecadais, em fase positiva (negativa), produzem impactos do mesmo sinal que ENOS(+) (ENOS(-)), enquanto no Sul e Sudeste notam-se impactos de sinal oposto.

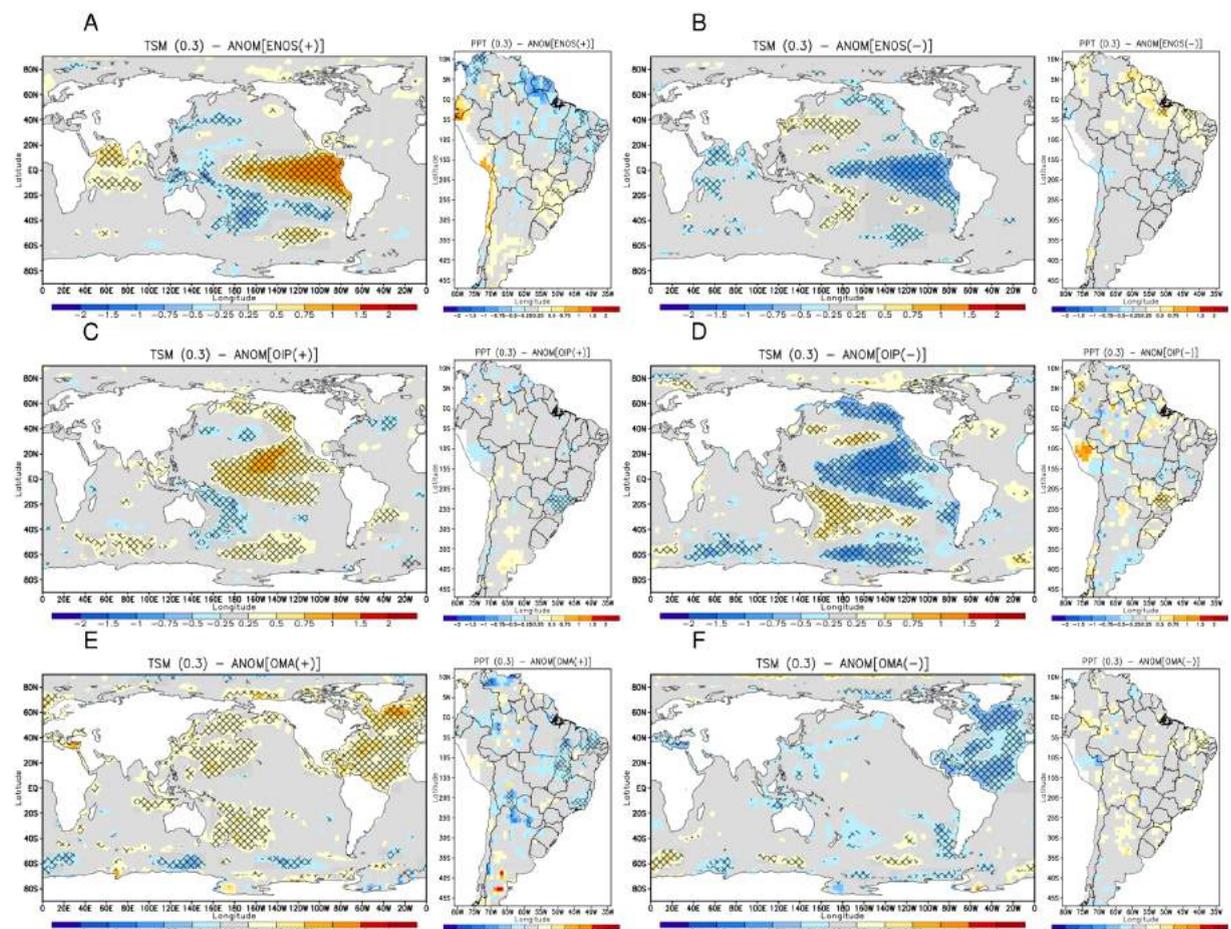


Figura 3 - Composições de anomalias de TSM (direita) e precipitação (esquerda) no inverno para anos de fase positiva (A, C e E) e fase negativa (B, D e F) dos modos. As figuras

superiores representam a atuação do ENOS, as centrais da OIP e as inferiores da OMA. As áreas hachuradas contém anomalias significativas com 90% de confiança ou mais, enquanto as cores representam valores das anomalias padronizadas.

As primeiras combinações analisadas de tais modos são para ENOS(+) no outono, com diferentes fases dos modos interdecadais (Figura 4). A primeira observação indica a ocorrência dos três modos nos padrões de TSM (Figura 4A) e que as anomalias de precipitação de ENOS(+) podem ser fortalecidas em certas regiões pela sobreposição com fases de modos cujas anomalias são de mesmo sinal. Como mostrado anteriormente, em anos com OIP(+) (Figura 2C) persistem anomalias negativas de precipitação no Norte e Nordeste do Brasil e positivas no sudeste do continente. Da mesma forma, em OMA(-) (Figura 2F) as anomalias positivas mais fortes ocorrem no sudeste do continente, onde também há anomalias positivas em ENOS(+) e OIP(+). Isto explica as mais fortes anomalias nestas regiões na combinação destas fases (Figura 4B), em relação ao modo isolado de ENOS (+) (Figura 2A). As anomalias negativas na parte sul do Nordeste do Brasil são mais significativas em anos de OMA(-) (Figura 2F), o que indica que, com a sobreposição dos modos prevalece o efeito do modo com o sinal mais forte para cada região.

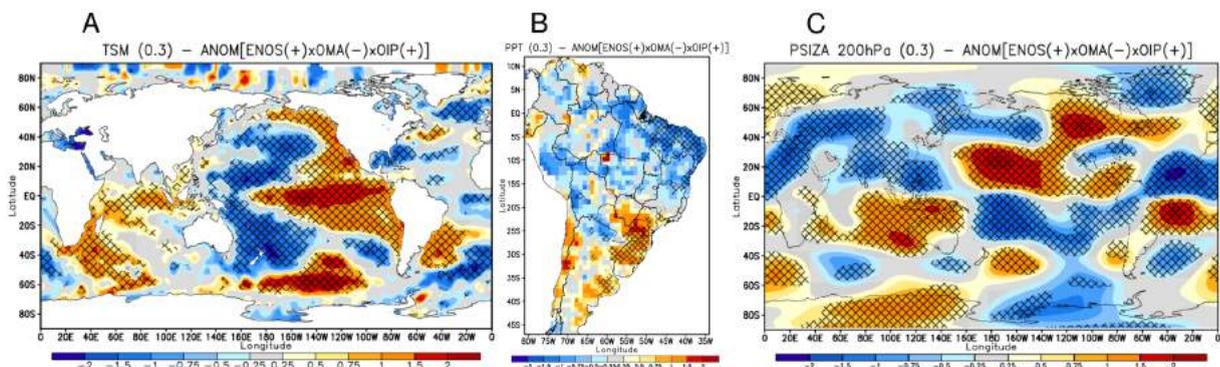


Figura 4 - Composições de anomalias de TSM (A), precipitação (B) e de PSIZA (C) para anos de combinações com ENOS(+), no outono. As áreas hachuradas contém anomalias significativas com 90% de confiança ou mais, enquanto as cores representam valores das anomalias padronizadas.

A influência principal de ENOS(+) é pronunciada principalmente pelas anomalias de PSIZA (Figura 4C). A propagação simultânea de circulações horárias (anomalias positivas de PSIZA) e anti-horárias (anomalias negativas de PSIZA) do Pacífico Central até a AS é uma

característica marcante de sua atuação, registrada na literatura (Cai et al., 2020) como trens de onda de Rossby. Outra característica notável são as anomalias nas células de circulação tropical, ou células de Hadley, que atuam com grande presença ciclônica (anticiclônica) no Pacífico Central (Atlântico Tropical) durante ENOS(+).

Foi possível obter uma maior quantidade de combinações nas amostras com anos de ENOS(-) (Figura 5). Apesar disso, houve fraca atuação de ENOS(-), pronunciado tanto pelas anomalias de TSM no Pacífico Central (Figura 5A, D e G) como pela representação dos padrões de ENOS nas anomalias de PSIZA (Figura 5C, F e I). Assim, pouco de ENOS(-) é representado pelas anomalias de precipitação.

Na combinação ENOS(-)OIP(-)OMA(-) as anomalias de precipitação (Figura 5B) na porção leste do continente enfatizam os impactos negativos da OIP(-) e positivos da OMA(-) (Figura 2B e F, respectivamente). Para ENOS(-)OMA(-)OIP(+), sinal negativo para função corrente em 200 hPa sobre grande parte da AS (Figura 5F) sugere circulação anticiclônica e convergência em baixos níveis para a região central do continente. Os efeitos de sobreposição são intensos no Nordeste do Brasil e no sudeste da AS com sinais positivos. Nessas regiões, a OIP(-) possui pouco impacto (Figura 2C) e predominam efeitos dos dois outros modos. Em eventos com ENOS(-)OMA(+OIP(+), os efeitos de OMA(+) fortalecem os de ENOS(-) no sudeste da AS (Figura 2F), produzidos por circulação anticiclônica em altos níveis a sudoeste, apesar do efeito contrário de OIP(+), pois este é mais fraco.

Durante essa estação, a presença de ENOS em fase oposta de OMA intensifica os efeitos do primeiro sobre a precipitação e a presença de anomalias na célula de Walker no Atlântico Tropical, resultado representado em ENOS(+OIP(+ (Figura 4B e C) e ENOS(-)OMA(+OIP(+ (Figura 5H e I) no sudeste da AS. Já nos casos de mesma fase há apenas superposição dos efeitos, ou seja, quando os efeitos isolados são em regiões diferentes (Figura 2) estes permanecem nas combinações. Eventos de ENOS com OIP ocorrem com maior presença para fases de mesmo sinal, porém pouco da OIP é representado nesses casos.

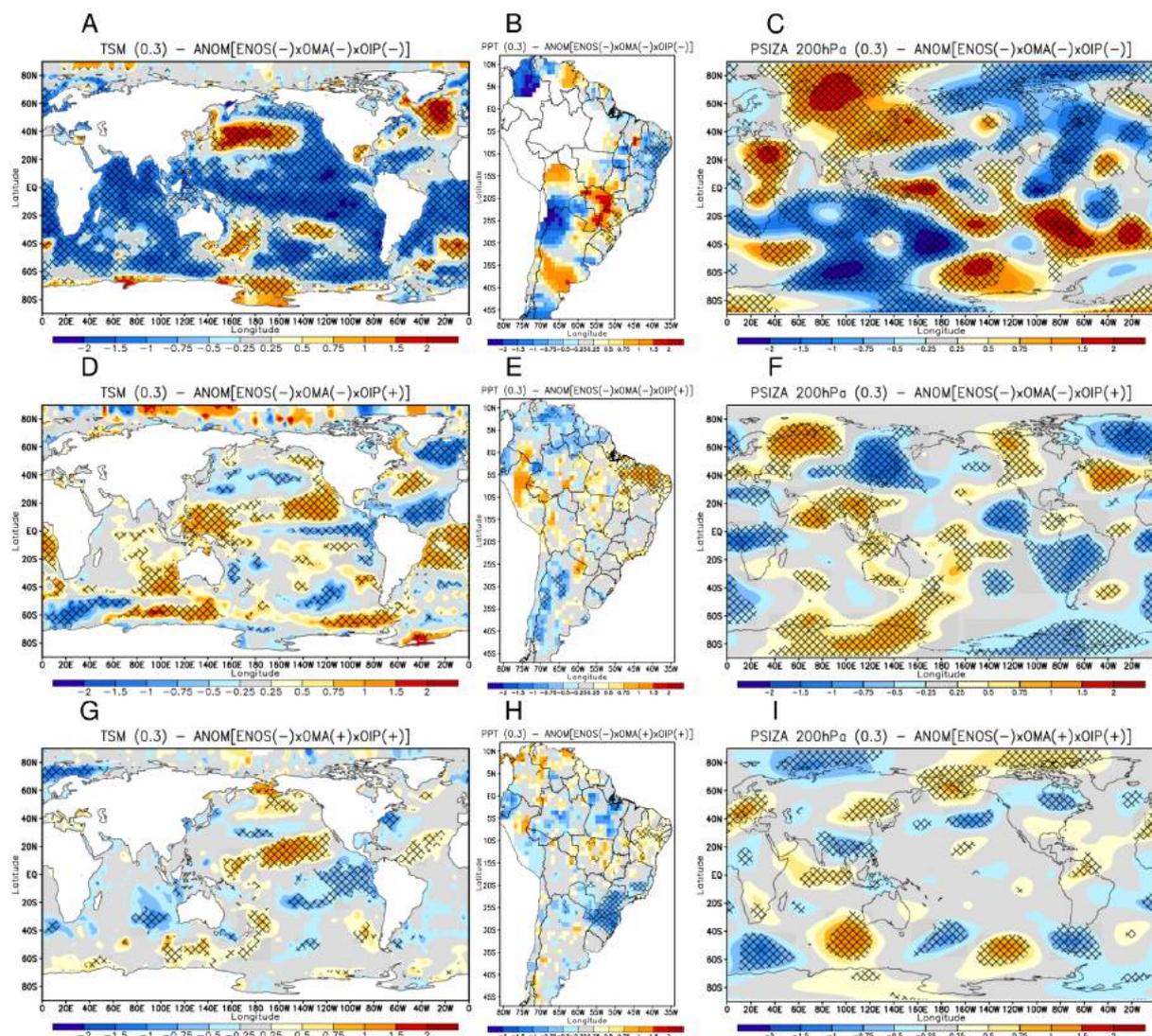


Figura 5 - Composições de anomalias de TSM (A, D e G), precipitação (B, E e H) e de PSIZA (C, F e I) para anos de combinações com ENOS(-), no outono. As áreas hachuradas contêm anomalias significativas com 90% de confiança ou mais, enquanto as cores representam valores das anomalias padronizadas.

Os efeitos de ENOS(+) no inverno não evidenciam a faixa elevada de TSM no Pacífico Central e o caso mais próximo do padrão de ENOS nas anomalias de PSIZA foi na combinação com OMA(+) e OIP(+) (Figura 6C). Para tal combinação (com fases positivas mútuas dos modos), as anomalias de precipitação são fortalecidas pela sobreposição dos impactos individuais de cada modo. Se manifestam anomalias negativas significativas em todo o norte da AS (Figura 6B) devido a sobreposição de anomalias de mesmo sinal de OMA(+) e OIP(+) para essa região (Figura 3C e E). Efeito semelhante ocorre para o

centro/sul da Argentina, onde aparecem anomalias de sinal positivo. Nas demais regiões, sinais contrários são observados e as anomalias sobrepostas são eliminadas na combinação.

Já nas outras combinações, efeitos de superposição linear são mais evidentes na porção sudeste-nordeste do continente. Eventos com ENOS(+)*OMA*(+)*OIP*(-) (Figura 6E) carregam anomalias de precipitação significativas positivas mais intensas no sudeste e mais negativas no nordeste são resultado da contribuição isolada de ENOS(+) e *OIP*(-) (Figura 3A, D), com contribuição de *OMA*(+) no Nordeste (Figura 3E). Já ENOS(+)*OMA*(-)*OIP*(+) (Figura 6H) evidenciam anomalias negativas pelo sudeste e nordeste do continente, resultado de contribuições individuais de ENOS(+) no nordeste (Figura 2A) e *OIP*(+) no sudeste (Figura 2C).

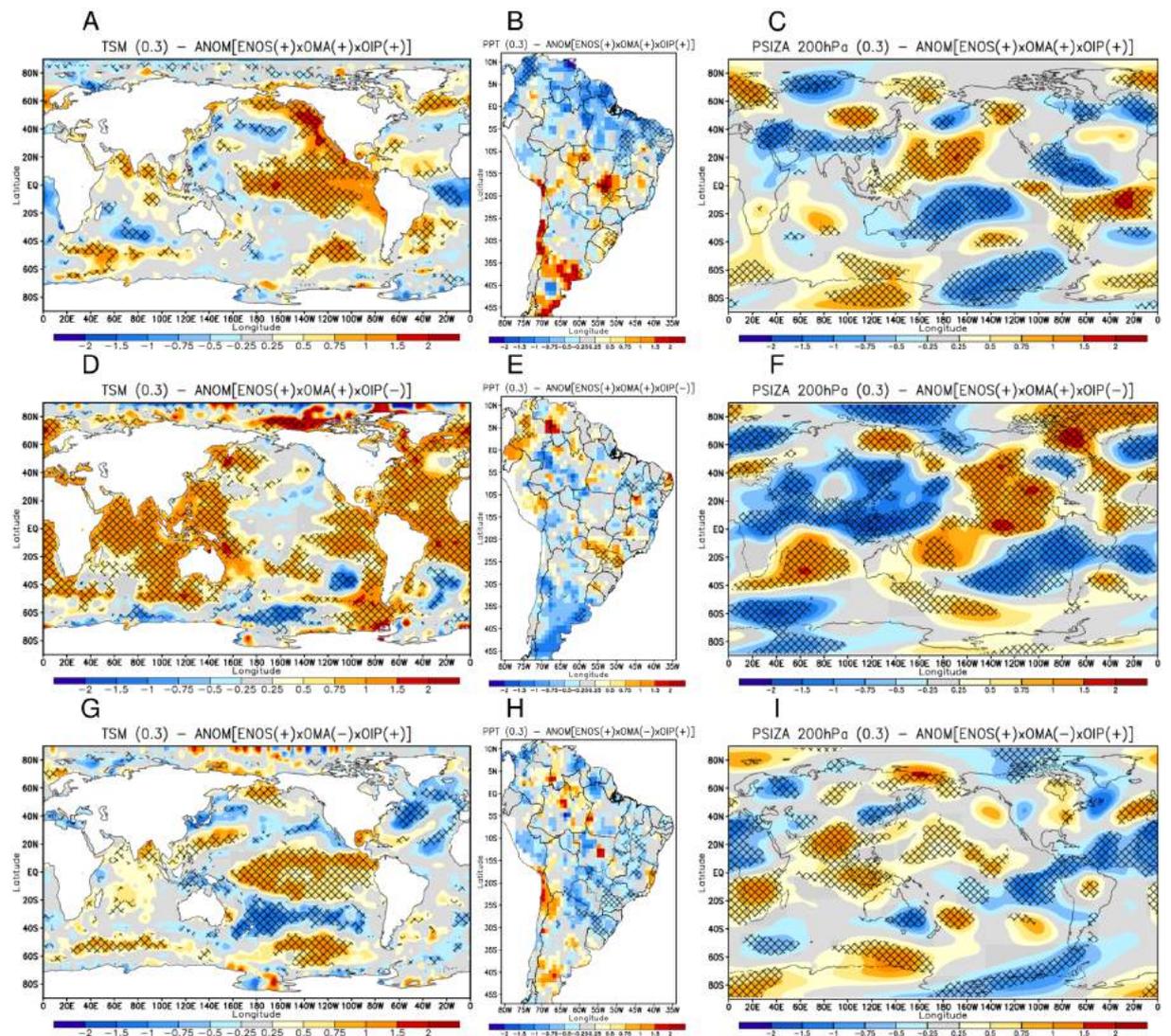


Figura 6 - Composições de anomalias de TSM (A, D e G), precipitação (B, E e H) e de PSIZA (C, F e I) para anos de combinações com ENOS(+), no inverno. As áreas hachuradas contêm

anomalias significativas com 90% de confiança ou mais, enquanto as cores representam valores das anomalias padronizadas.

No inverno as anomalias de ENOS(-) (Figura 7) possuem o padrão característico de ENOS nas anomalias TSM e de PSIZA quando ocorrendo com OIP(-). Em eventos desses modos em fase negativa com a OMA(-) (Figura 7B) há intensificação dos sinais em todos os campos. Anomalias negativas de precipitação associadas a ENOS(-) (Figura 3B) aparecem em partes do Centro-Oeste e parte do Sudeste brasileiro (Figura 7B). No Norte, Nordeste e Sul do Brasil as anomalias de precipitação são justificadas pela presença de circulações anticiclônicas favoráveis (Figura 7C), além de ocorrer a sobreposição dos efeitos isolados dos modos, quando anomalias positivas de precipitação são encontradas na região, sobretudo para ENOS (-) e OIP(-) (Figura 3B e D).

Quando ocorre com OMA(+) (Figura 7H), o sinal da superposição de ENOS(-) e OIP(-) é evidente apenas no noroeste do continente. Além disso, nesses eventos a componente de anomalia negativa de precipitação no Sudeste, que aparece em ENOS(-) foi reforçada por OMA(+), ficando ainda mais negativa nessa região e estendendo-se para o nordeste.

Para ENOS(-)OMA(-)OIP(+) (Figura 7F), os padrões de anomalias de PSIZA se desconfiguram. Porém, as características de ENOS(-) (Figura 3B), anomalias de precipitação negativas sobre o Sudeste do Brasil e positivas sobre o Nordeste do Brasil (Figura 7E), são reforçadas por OIP(+) e OMA(-), respectivamente (Figura 3C e F).

Nessa estação, as combinações com anomalias mais intensas são para fases iguais dos modos. Nesses eventos (Figura 6B e 7B), a presença da OIP demarca a configuração dos padrões anômalo de PSIZA de ENOS e suas anomalias de precipitação são intensificadas, sobretudo no norte do continente. Na inexistência de fases iguais entre ENOS e OIP (Figura 6E e 7E), ou na ocorrência de OMA em fase oposta aos demais (Figura 7H), os efeitos de OMA são mais proeminentes, com sobreposição com os demais.

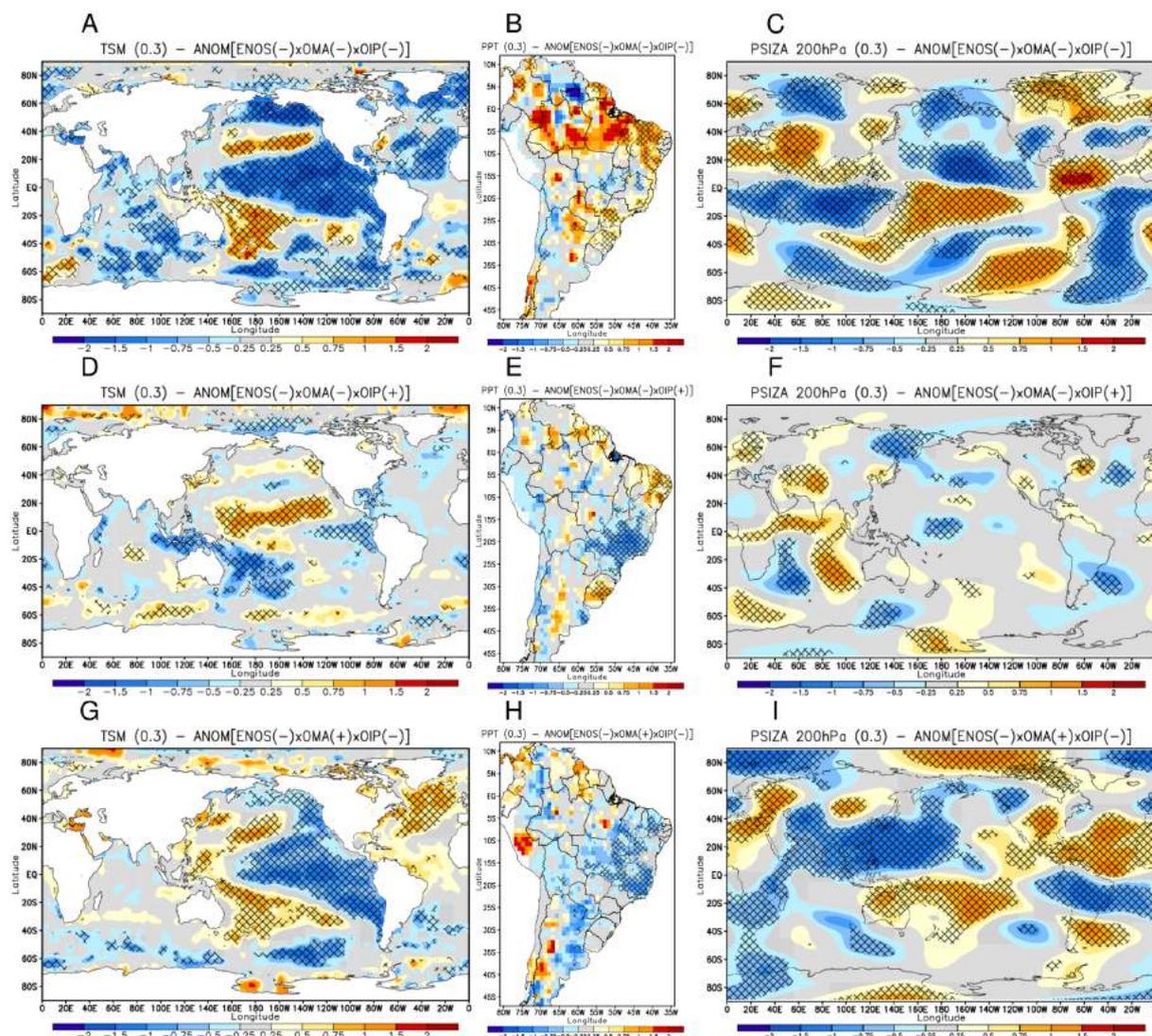


Figura 7 - Composições de anomalias de TSM (A, D e G), precipitação (B, E e H) e de PSIZA (C, F e I) para anos de combinações com ENOS(-), no inverno. As áreas hachuradas contêm anomalias significativas com 90% de confiança ou mais, enquanto as cores representam valores das anomalias padronizadas.

## Conclusão

Os resultados deste trabalho mostram os impactos atmosféricos e sobre a precipitação em eventos com diferentes combinações de fases de modos de variabilidade sobre a AS durante as estações de outono e inverno. Tais combinações verificam que o efeito mútuo entre os impactos pode não consistir exatamente na superposição linear dos efeitos, uma vez que seus impactos evoluem de forma independente. Mesmo que os modos sejam independentes, os seus impactos sobre a AS dependem de teleconexões, cuja propagação depende do estado básico da atmosfera, que é afetado por oscilações interdecadais. Contudo, o componente

linear destas combinações de impacto é muito forte e pode ser visto nas figuras em ambas as estações.

O modo ENOS, que é o de maior atuação na AS, apresenta diferença significativa entre fases opostas sobre o sul e o norte do continente. Estas influências diagnosticadas sobre as distribuições de precipitação são justificadas pelas relações com a circulação atmosférica, principalmente pela propagação de ondas de Rossby e da alteração na circulação de Hadley, que, no geral, são reforçadas quando ocorrem em fase simultânea com a OIP.

Os efeitos das combinações dos modos trás resultados compatíveis com a literatura. Assim como afirmado por Cai et al. (2020), os impactos de ENOS sobre a precipitação são mais intensos nos anos de OIP(+). Apesar de ENOS(+)-OMA(-)-OIP(+) (Figura 4) ser a única combinação com mais de três anos para outono, tal representação produziu anomalias intensas com os padrões de ENOS(+). Outra demonstração é ENOS(-)-OMA(+)-OIP(+) (Figura 5H) que intensifica a seca no Sul do Brasil. As combinações com OIP(+) também se destacam para o inverno, como a combinação ENOS(+)-OMA(+)-OIP(+) (Figura 6B), na qual são reforçadas anomalias positivas de precipitação para o sul da AS, Chile, Sul do Brasil e anomalias negativas expandidas para toda a região norte do continente. Já a combinação ENOS(-)-OMA(-)-OIP(+) (Figura 7E) amplia a seca provocada por ENOS(-) no Sudeste do Brasil.

Segundo Grimm et al. (2020), a combinação OIP(-) e OMA(+) no outono favorecem estiagem no Sul do Brasil. Tal exata combinação não foi mostrada, entretanto o contrário se mostra válido para o caso ENOS(+)-OMA(-)-OIP(+) (Figura 4) visto que os padrões de ENOS(+) são intensificados gerando aumento de precipitação no Sul do Brasil.

As combinações dos modos que fortalecem os padrões de ENOS no outono corresponderam às afirmações de Kayano e Capistrano (2014). Segundo os autores, composições de anomalias de precipitação mostram padrões intensificados e mais organizados e significativos quando ENOS e OMA estão com fase oposta. Tal situação corresponde à intensificação dos efeitos de ENOS em ENOS(+)-OMA(-)-OIP(+) (Figura 4).

Para o inverno essa afirmação não corresponde e a atuação da OIP é mais determinante para as condições de ENOS. Quando esses modos estão na mesma fase, as teleconexões inerentes às condições de ENOS são fortalecidas, enquanto nas demais situações os padrões anômalos seguem configurações de sobreposição entre os efeitos de OMA com o impacto individual mais significativo dos demais modos.

Neste trabalho, diversas vezes os padrões de TSM e PSIZA não parecem corresponder aos padrões característicos da oscilação isolada, apesar de seus efeitos sobre a precipitação serem observados. Contudo, nem sempre os campos de anomalias de precipitação em combinação de fases de diferentes modos resultam simplesmente da superposição de anomalias produzidas pela fase de cada oscilação isoladamente. Isto indica que há também efeitos não lineares, pelos quais o efeito de um modo altera o efeito de outro modo.

É preciso se ater que este trabalho não foca em estabelecer quais as condições que se estabelecem as interferências entre a atuação dos modos, tema que se sugere como proposta para trabalhos futuros. Entretanto, as possíveis combinações analisadas sugerem uma base científica referenciável sobre a atuação de modos de variabilidade e podem ser úteis para estabelecer futuros diagnósticos climáticos. Sobretudo, se confirmam em diferentes ocasiões a relação entre a variabilidade da precipitação com mais de um modo de variabilidade climática de TSM, uma vez que diferentes padrões de precipitação podem resultar de diferentes combinações de fases desses modos.

## **Referências**

- Grimm AM, Barros VR, Doyle ME. Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. *Journal of Climate*, 13: 35-58, 2000.
- Grimm AM. Interannual climate variability in South America: Impacts on seasonal precipitation extreme events, and possible effects of climate changes. *Stochastic Environmental research and Risk Assessment*. 25: 537-554, 2011.
- Grimm AM, Almeida AS, Beneti CAA, Leite EA. The combined effect of climate oscillations in producing extremes: the 2020 drought in southern Brazil. *Brazilian Journal of Water Resources*. 25: e48, 2020.
- Grimm AM, Laureanti NC, Rodakoviski RB, Gama CB. Interdecadal variability and extreme precipitation events in South America during the monsoon season. *Climate Research*. 68: 277-294, 2016.
- Liebmann B, Allured D. Daily Precipitation Grids for South America. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2005.
- Kalnay E, et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77: 437-471, 1996.

- Kayano MT, Capistrano VB. How the Atlantic multidecadal oscillation (OMA) modifies the ENSO influence on the South American rainfall. *International Journal of Climatology*. 34: 162–178, 2014.
- Kayano MT, Capistrano VB, Andreoli RV, Souza RAF. A further analysis of the tropical Atlantic SST modes and their relations to north-eastern Brazil rainfall during different phases of Atlantic Multidecadal Oscillation. *International Journal of Climatology*. 36: 4006–4018, 2016.
- Marengo JA, et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region, *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 90: 1973-1975, 2018.
- Mitchell, J. M.; Dzerdzevskii, B.; Flohn, H.; et al. Climatic change. WMO Reports n1985, 1966.
- Parker D, et al. Decadal to multidecadal variability and the climate change background. *Journal of Geophysical Research*. 112: D18115, 2007.
- Rayner NA, et al. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108: D14, 2003.
- Yang YM, An SI, Wang B, Park JH. A global-scale multidecadal variability driven by Atlantic multidecadal oscillation. *National Science Review*. 7(7): 1190-1197, 2020.
- Wilks DS. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 3 ed. International Geophysics Series.