

Impacto do Modo Anular Sul na América do Sul

RELATÓRIO DO PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Renan Martins Pizzochero (UFRJ, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: renan18martins@gmail.com

Dra. Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti (CPTEC/INPE,
Orientadora)

E-mail: iracema.cavalcanti@gmail.com

COLABORADORES

Dra. Fernanda Cerqueira Vasconcellos (IGEO/UFRJ)

E-mail: fecvasconcellos@gmail.com

Julho de 2018

LISTA DE TABELAS

1 Anos em que há ocorrência simultânea de ENOS e SAM para o mes de julho. Não houve ocorrência de anos com simultaneidade entre SAM negativo e LN. Os anos em **negrito** foram escolhidos para a análise dos mecanismos da geada.

.....7

| 2 Total de frequência de geadas para o mês de julho, em cada categoria.

.....8

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| 1 (a) Distriuição espacial de frequência de geadas; (b) Composto de anomalia da PNMM (hPa); (c) Composto de anomalia da T2m (°C); (d) Composto de anomalia da cobertura total de nuvens (%). Julho de 1988 (SAM positivo e LN)..... | 9 |
| 2 (a) Distriuição espacial de frequência de geadas; (b) Composto de anomalia da PNMM (hPa); (c) Composto de anomalia da T2m(°C); (d) Composto de anomalia da cobertura total de nuvens (%). Julho de 1993 (SAM positivo e N). | 10 |
| 3 (a) Distriuição espacial de frequência de geadas; (b) Composto de anomalia da PNMM (hPa); (c) Composto de anomalia da T2m (°C); (d) Composto de anomalia da cobertura total de nuvens (%). Julho de 1997 (SAM positivo e EN). | 11 |
| 4 (a) Distriuição espacial de frequência de geadas; (b) Composto de anomalia da PNMM (hPa); (c) Composto de anomalia da T2m (°C); (d) Composto de anomalia da cobertura total de nuvens (%). Julho de 1991 (SAM negativo e EN). | 12 |
| 5 (a) Distriuição espacial de frequência de geadas; (b) Composto de anomalia da PNMM (hPa); (c) Composto de anomalia da T2m (°C); (d) Composto de anomalia da cobertura total de nuvens (%). Julho de 1992 (SAM negativo e N). | 13 |

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------|----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 4 |
| <u>DADOS E METODOLOGIA.....</u> | <u>6</u> |
| <u>RESULTADOS.....</u> | <u>8</u> |
| 4. CONCLUSÃO..... | 14 |
| 5. BIBLIOGRAFIA | 15 |

1. INTRODUÇÃO

A América do Sul (AS) é afetada por teleconexões, tanto leste-oeste quanto sul-norte, as quais têm um impacto no clima deste continente (AMBRIZZI 2009, p.317). A Oscilação Antártica (*Antarctic Oscillation*, SAM) ou Modo Anular do Sul (SAM) é uma importante teleconexão que tem influências na AS (SILVESTRI; VERA, 2003; VASCONCELLOS, 2012). Os Modos Anulares são os principais modos de variabilidade climática da região extratropical, atuando em ambos os hemisférios. No campo de pressão, o Modo Anular é caracterizado por uma “gangorra” Norte - Sul (N-S) de massa atmosférica entre as regiões polares e de latitudes médias. No caso do Hemisfério Norte, este padrão é chamado de Modo Anular Norte ou Oscilação Ártica. Já para o Hemisfério Sul (HS), tem-se o SAM ou SAM (THOMPSON; WALLACE, 2000). A fase positiva do Modo Anular é definida quando se tem pressões inferiores às normais sobre as regiões polares e superiores às normais sobre latitudes médias. Na fase negativa, ocorre o oposto.

O SAM influencia diversas componentes do sistema climático em todo o hemisfério, incluindo na AS. Vasconcellos (2012) mostrou que, em novembro, a fase positiva da SAM apresenta um dipolo de anomalia de precipitação sobre a AS, com anomalias negativas sobre o sul do Brasil/Bacia do Prata e anomalias positivas ao norte. Este dipolo inverte de sinal na fase negativa. Silvestri e Vera (2009) estudaram os impactos do SAM na AS utilizando reanálises e medições *in situ*; fazendo uso de médias mensais de 102 estações de precipitação, 103 de temperatura, e 95 de Pressão ao Nível Médio do Mar (PNMM), localizadas em toda a região continental do HS, para as décadas de 1960-1970 e 1980-1990. O índice SAM foi calculado a partir das medições de PNMM. Seus resultados mostraram que, na primeira década (1960-1970), a fase positiva do SAM é associada a uma circulação anticiclônica anômala desenvolvida no sudoeste subtropical do Atlântico Sul, que intensifica a advecção de umidade e promove um aumento da precipitação sobre o Sudeste da AS (SEAS). Por outro lado, durante as últimas décadas a anomalia anticiclônica induzida pela fase positiva de SAM abrange a maior parte do sul da América do Sul e o Atlântico adjacente, enfraquecendo a convergência de umidade e diminuindo a precipitação sobre SEAS.

Segundo Seluchi (2009, p.151), El Niño Oscilação Sul (ENOS) é uma oscilação acoplada do oceano-atmosfera, que produz alterações na Temperatura da Superfície do

Mar (TSM), na pressão, no vento, e na convecção tropical, principalmente no Oceano Pacífico tropical, mas com reflexos em muitos lugares do planeta, incluindo Brasil. A fase positiva do ENOS, onde ocorrem anomalias positivas de TSM no Pacífico tropical, dá-se o nome de El Niño (EN). Já a fase negativa, quando se tem anomalias negativas de TSM nesta região, chama-se La Niña (LN). Grimm (2003), por exemplo, demonstrou que as anomalias de precipitação na primavera e no verão no Centro-Leste do Brasil apresentam significativa relação inversa em episódios de ENOS.

Diversos autores sugerem uma relação entre o SAM e o ENOS. L'Heureux e Thompson (2006) mostraram que 25% da variabilidade interanual da SAM é linearmente relacionada com a flutuação do ENOS. Eles também apresentaram que a relação entre os dois padrões ocorre durante o verão austral (novembro-fevereiro). Vasconcellos (2012) mostrou que, em novembro, a fase positiva (negativa) da SAM está relacionada com as características do padrão LN (EN). O trabalho também sugeriu que relação entre SAM e ENOS ocorre em diversas escalas de tempo.

Apesar de diversos trabalhos mostrarem uma relação entre o SAM e o clima na AS, a análise do SAM ainda é pouco utilizada nas previsões climáticas. Desta forma, conhecer os impactos das duas fases do SAM, em cada mês, no clima da AS pode trazer melhorias nas previsões de tempo e clima.

No primeiro ano desse projeto, mostrou-se que o SAM impacta significativamente o clima da AS e que esse impacto se apresenta de forma diferente mês a mês, não havendo, obrigatoriamente, oposição de fase. Como continuação do estudo da relação do SAM com o clima da AS, o segundo ano do projeto teve como objetivo estudar o impacto do SAM na frequência e intensidade das geadas na Região Sul do Brasil, com e sem a atuação do ENOS. Nesse relatório tentou-se entender como a relação conjunta do SAM e do ENOS afeta os mecanismos de formação de geadas na Região Sul do Brasil.

2. DADOS E METODOLOGIA

Foram utilizadas as saídas diárias, para o horário das 06Z, da Reanálise ERA-Interim (DEE ET AL., 2011), com resolução de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$, das variáveis: temperatura a 2 metros (T2m), PNMM e cobertura total de nuvem.

O índice SAM foi calculado a partir da Função Ortogonal Empírica (*Empirical Orthogonal Function - EOF*), da anomalia de altura geopotencial em 700 hPA, no intervalo de latitude de 30° - 90° S, com a finalidade de capturar o principal modo de variabilidade da região extratropical. Na literatura (e.g. THOMPSON; WALLACE, 2000; BALDWIN; THOMPSON, 2009), o índice SAM é calculado a partir das anomalias de altura geopotencial entre 20° - 90° S. Neste trabalho, a área foi reduzida para 30° - 90° S, de forma a minimizar o sinal de fenômenos da região tropical, como por exemplo o ENOS, no cálculo do EOF. O conceito de EOF foi introduzido por Lorenz (1986) como metodologia ao realizar um estudo com a finalidade de encontrar uma maneira eficaz de extrair uma representação simplificada ou compacta de um conjunto de dados. O objetivo era uma representação otimizada do estado da atmosfera, em função do tempo e do espaço, ou seja, uma sequência temporal de campos meteorológicos. Através do método de EOF, pode-se obter padrões espaciais de variabilidade e a variação temporal de um único campo escalar (BJÖRNSSON; VENEGAS, 1997). A série temporal do índice SAM foi obtida através da Componente Principal (CP) do primeiro EOF. Os valores positivos (negativos) do índice SAM representam anomalias positivas (negativas) de altura geopotencial nas latitudes médias e anomalias negativas (positivas) em altas latitudes, ou seja, a fase positiva (negativa) do SAM.

Os anos de ENOS foram determinados através do índice ENOS 3.4 gerado pelo *Climate Prediction Center - National Centers for Environmental Prediction - National Oceanic and Atmospheric Administration (CPC/NCEP/NOAA-)*. Esse índice foi escolhido, pois no primeiro ano desse projeto, foi possível observar forte correlação positiva entre a TSM na região do ENOS 3.4 com o SAM, para os meses de interesse do estudo atual (MARTINS; CAVALCANTI; VASCONCELLOS, 2016).

Oliveira (1997), através de diversas estações meteorológicas do Rio Grande do Sul, encontrou que a maior frequência entre a temperatura mínima no abrigo meteorológico (1,5m) e a temperatura na relva (0,05m) está entre $2,1$ e 4°C ; com ponto

médio de aproximadamente 3°C. Baseado nessa relação temperatura do ar com temperatura da relva apresentado por Oliveira (1997), decidiu-se utilizar a saída de T2m da Reanálise Era-Interim, às 06Z, considerando eventos de geadas quando a T2m for menor ou igual a 2°C. A análise das geadas foi realizada para a Região Sul do Brasil, compreendendo a área de 40°W-63°W/21°S-40°S.

No ano anterior, foram contabilizados os anos onde coincidiam as fases do SAM e do ENOS, ou seja, anos de EN com fases positiva e negativa do SAM e anos de LN com as respectivas fases do SAM, assim como anos de fase Neutra (N) do ENOS, juntamente com as respectivas fases do SAM. A Tabela 1 mostra os anos de cada categoria para o mês de julho.

Tabela 1: Anos em que há ocorrência simultânea de ENOS e SAM para o mes de julho. Não houve ocorrência de anos com simultaneidade entre SAM negativo e LN. Os anos em negrito foram escolhidos para a análise dos mecanismos da geada.

| Julho | | | |
|--------------|------------------------|-----------------------|---|
| | E.N | L.N | N |
| SAM + | 97 /2004 | 88 /98/99/2010 | 83/84/85/86/89/ 93 /2003/2006/2008 |
| SAM - | 82/87/ 91 /2002 | | 81/90/ 92 /94/95/96/2000/2001/2005/2007/2009 |

A partir da Tabela 1, criou-se uma tabela de contingência o total de frequência de geadas no mês de julho para cada categoria. A Tabela 2 apresenta o total de frequência de geadas no mês de julho para cada categoria. Em cada categoria dessa tabela, contabilizou-se o total de ocorrência de geadas, considerando todos os pontos de grade, e normalizando pelo número total de anos incluídos na respectiva categoria (Tabela 1). Desta forma, foi possível avaliar, estatisticamente, se há alguma relação entre o SAM, ENOS e as geadas na Região Sul.

Também foram elaborados compostos de anomalia de PNMM, T2m e cobertura total de nuvem, para o mês de julho, mês onde tem-se maior frequência de geadas (MARTINS; VASCONCELLOS E CAVALCANTI, 2017). Os compostos foram desenvolvidos a partir das anomalias diárias dos dias em que houve geadas, no mês de julho, para cada categoria, em acordo com o limiar determinado. Foram utilizados um ano de cada categoria, escolhidos os anos onde houve mais dias com geadas (em negrito

na Tabela 1). Esses mapas foram desenvolvidos com o propósito de avaliar as condições da atmosfera que poderiam ocasionar a ocorrência de geadas para cada par de simultaneidade de SAM e ENOS, no mês de julho.

Na próxima Seção, serão apresentados os resultados obtidos.

3. RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta o total de frequência de geadas ~~climatológica~~ para o mês de julho. Nota-se que a categoria de SAM negativo e N possui a maior frequência, seguida pela categoria de SAM positivo com LN.anos de ENOS neutro e SAM negativo há maior frequência.

Tabela 2: Total de frequência de geadas para o mês de julho, em cada categoria.

| Total Geadas Julho | | | |
|---------------------------|------------|------------|----------|
| | E.N | L.N | N |
| SAM + | 213,00 | 374,25 | 239,67 |
| SAM- | 174,25 | 0,00 | 520,82 |

Na Figura 1 (a-d) é mostrada a distribuição espacial da frequência de geadas, no mês de julho de 1988, ano onde há ocorrência simultânea de SAM positivo e LN, compostos de anomalia diária de PNMM, T2m e cobertura total. Essa categoria possui uma das maiores frequências de geadas (Tabela 2). A Figura 1a mostra que toda a região de estudo possui uma alta frequência de geadas. É possível observar predominância de anomalia positiva de PNMM e anomalias negativas de T2m na região de estudo (Figura 1b e c, respectivamente). Esses resultados sugerem uma maior atuação de altas migratórias, ou seja, de massas de ar mais frias, o que concorda com a distribuição de frequência de geadas (Figura 1a). Para a cobertura total de nuvens, é possível notar que há anomalias positivas em grande parte da região, a exceção do nordeste da Região Sul, o que não é coerente com os resultados da distribuição de frequência, porque a presença de nuvens não favorece a formação de geada. Entretanto, deve-se levar em consideração que a cobertura total de nuvens é um produto derivado do modelo utilizado na Reanálise, que depende de esquemas de parametrizações, devendo ser utilizado com cautela.

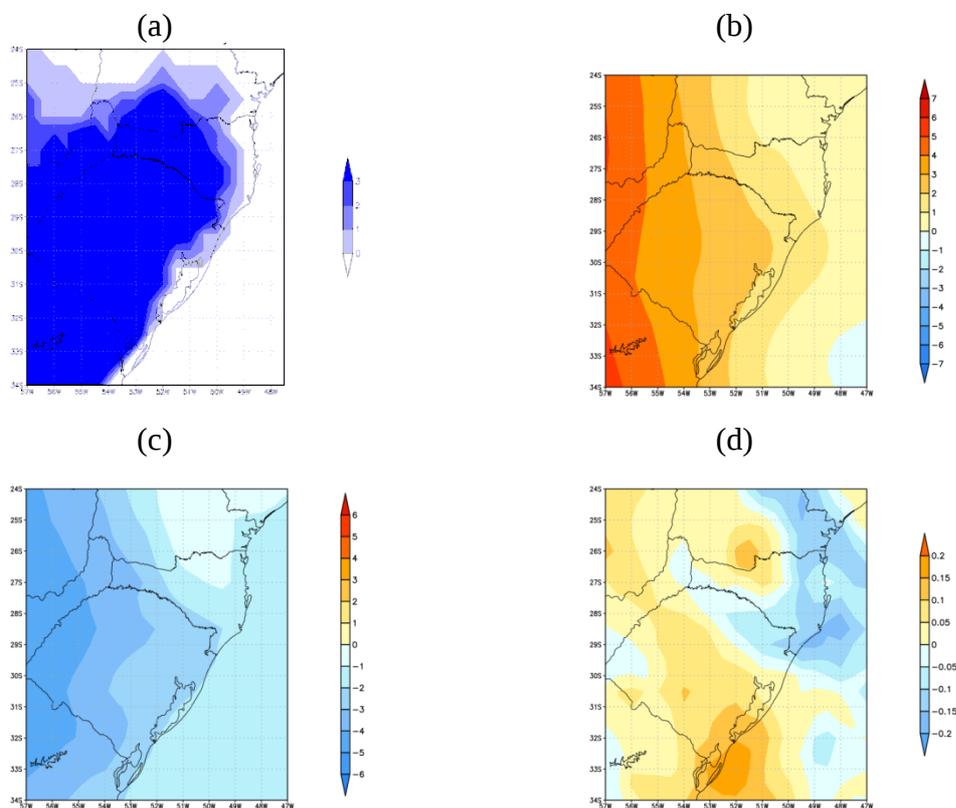


Figura 1: (a) Distribuição espacial de frequência de geadas; (b) Composto de anomalia da PNMM (hPa); (c) Composto de anomalia da T2m (°C); (d) Composto de anomalia da cobertura total de nuvens (%). Julho de 1988 (SAM positivo e LN).

Em julho de 1993 (Figura 2), ano em que teve-se SAM positivo e ENOS neutro a distribuição de geadas mostra dois máximos, um no extremo sul e outro ao norte da Região Sul (Figura 2-a). A PNMM mostra anomalias negativas em toda a região de estudo, entretanto, nas regiões de máxima ocorrência de geadas, essas anomalias negativas estão mais fracas (Figura 2b). Em relação a anomalia de T2m (Figura 2c), somente a parte ao sul apresenta valores negativos de T2m, concordando com uma das regiões de maiores frequência de geadas (Figura 2a). Entretanto, na região mais ao norte, onde há outro máximo de frequência de geadas, ocorrem anomalias positivas. A Figura 4d mostra anomalias negativas de cobertura total de nuvens próximo as duas

regiões de máxima frequência de geadas, o que é coerente com uma maior perda radiativa noturna, necessária para a formação das geadas.

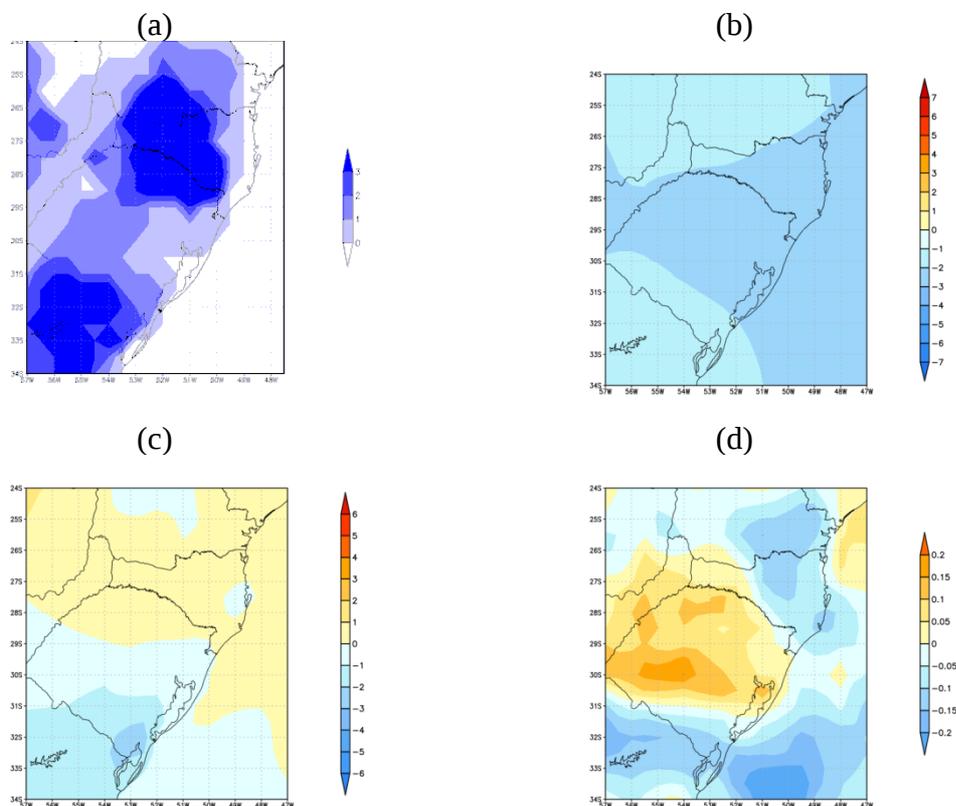


Figura 2: (a) Distribuição espacial de frequência de geadas; (b) Composto de anomalia da PNMM (hPa); (c) Composto de anomalia da T2m (°C); (d) Composto de anomalia da cobertura total de nuvens (%). Julho de 1993 (SAM positivo e N).

Em 1997 (Figura 3), ano de SAM positivo e EN, houve pouca frequência de geadas, apresentando maiores valores somente no sul da Região Sul (Figura 3a). Toda a região de estudo apresenta anomalias negativas de PNMM (Figura 3b) e positivas de T2m (Figura 3c), o que está coerente com a pouca frequência de geadas. Para cobertura total de nuvens (Figura 3d), nota-se anomalias negativas na parte centro leste do Paraná e Santa Catarina e anomalias positivas pegando o centro sul do Rio Grande do Sul.

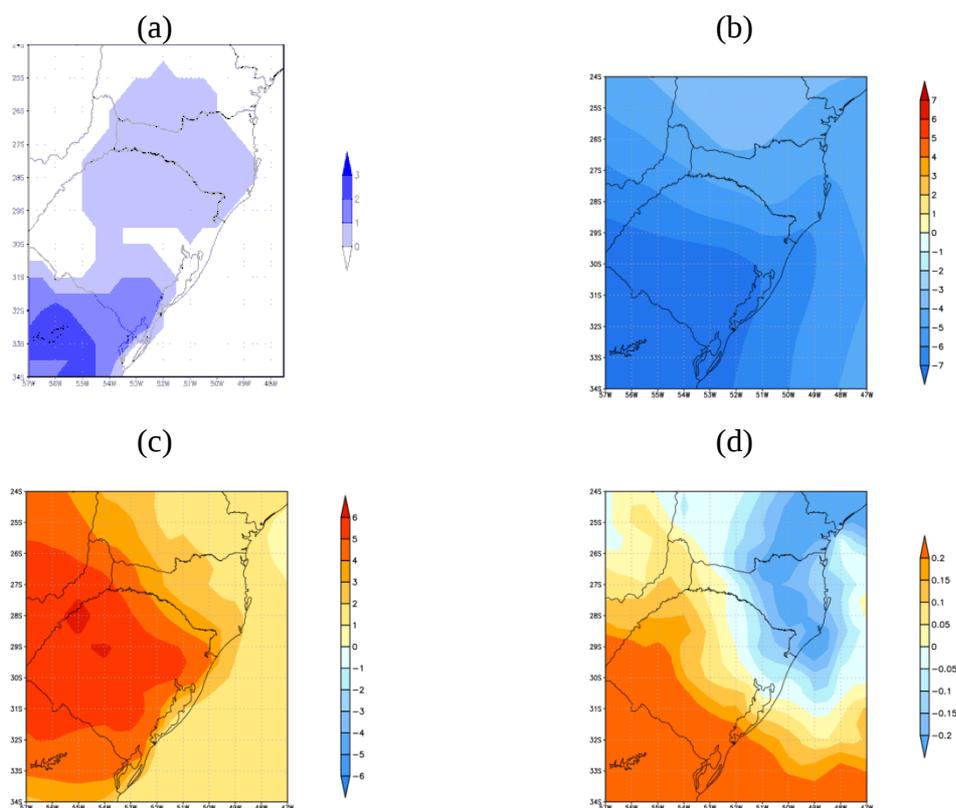


Figura 3: (a) Distribuição espacial de frequência de geadas; (b) Composto de anomalia da PNMM (hPa); (c) Composto de anomalia da T2m (°C); (d) Composto de anomalia da cobertura total de nuvens (%). Julho de 1997 (SAM positivo e EN).

A Figura 4 (a-d) mostra para julho de 1991, ano de ocorrência simultânea de SAM negativo e EN, distribuição espacial da frequência de geadas, compostos de anomalia diária de PNMM, T2m e cobertura total de nuvem. Entretanto, esse é um ano com pouca frequência de geadas com maiores valores ocorrendo no extremo sul da Região Sul e na fronteira do Paraná e Santa Catarina (Figura 4a). Esse resultado está de acordo com a baixa frequência dessa categoria, de acordo com a Tabela 2. Na parte norte da Região Sul do Brasil é apresentada anomalias positivas de PNMM, e mais ao sul anomalias negativas (Figura 4b). Toda a Região Sul possui anomalias negativas de T2m (Figura 4c), entretanto, os maiores valores ocorrem ao norte, discordando dos resultados da frequência de geadas (Figura 4a). Os resultados apresentados para anomalia de cobertura total de nuvens (Figura 4d), estão de acordo com os resultados de PNMM, onde há anomalias negativas para PNMM, ocorrem anomalias positivas de cobertura total de nuvens e vice-versa. Tanto os resultados de PNMM, quanto o de

cobertura de nuvens discordam da frequência de geadas, pois a região de maior frequência deveria ter anomalias negativas de nuvens, favorecendo a perda radiativa noturna, e maior PNMM, indicando maior atuação de altas migratórias. Entretanto, devemos ressaltar que esse foi um ano com pouca ocorrência de geadas.

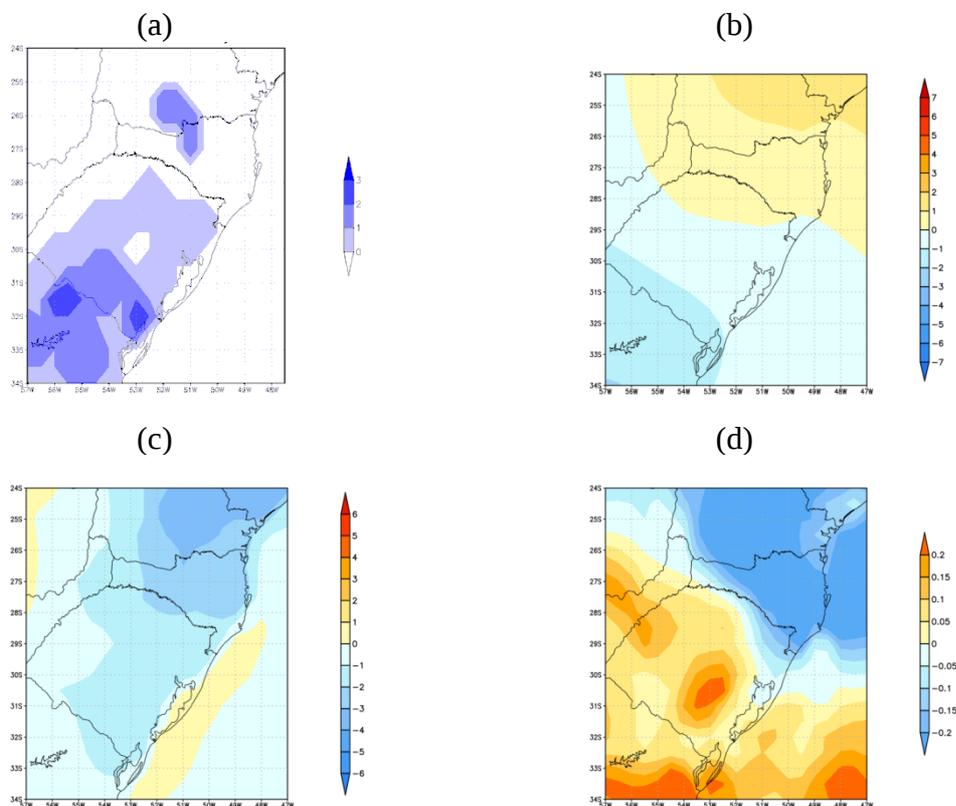


Figura 4: (a) Distribuição espacial de frequência de geadas; (b) Composto de anomalia da PNMM (hPa); (c) Composto de anomalia da T2m (°C); (d) Composto de anomalia da cobertura total de nuvens (%). Julho de 1991 (SAM negativo e EN).

A Figura 5 (a-d) distribuição espacial da frequência de geadas, compostos de anomalia diária de PNMM, T2m e cobertura total para julho de 1992, ano de ocorrência simultânea de SAM negativo e ENOS Neutro. Esse é a categoria com maior frequência de geadas (Tabela 2). Julho de 1992 representa bem essa categoria, uma vez que possui uma alta frequência de geadas na região de estudo (Figura 5a). Nota-se que há anomalias positivas de PNMM em toda a região de estudo, em menor intensidade para o nordeste da Região Sul (Figura 5b), onde também há menor frequência de geadas (Figura 5a). Para T2m (Figura 5c), há também anomalias negativas em toda a Região Sul, exceto no nordeste da mesma. E ao norte da Região Sul observa-se anomalias positivas de cobertura total de nuvens, e mais ao sul anomalias negativas (Figura 5d).

Esses resultados corroboram o padrão de frequência de geadas encontrados na Figura 5a.

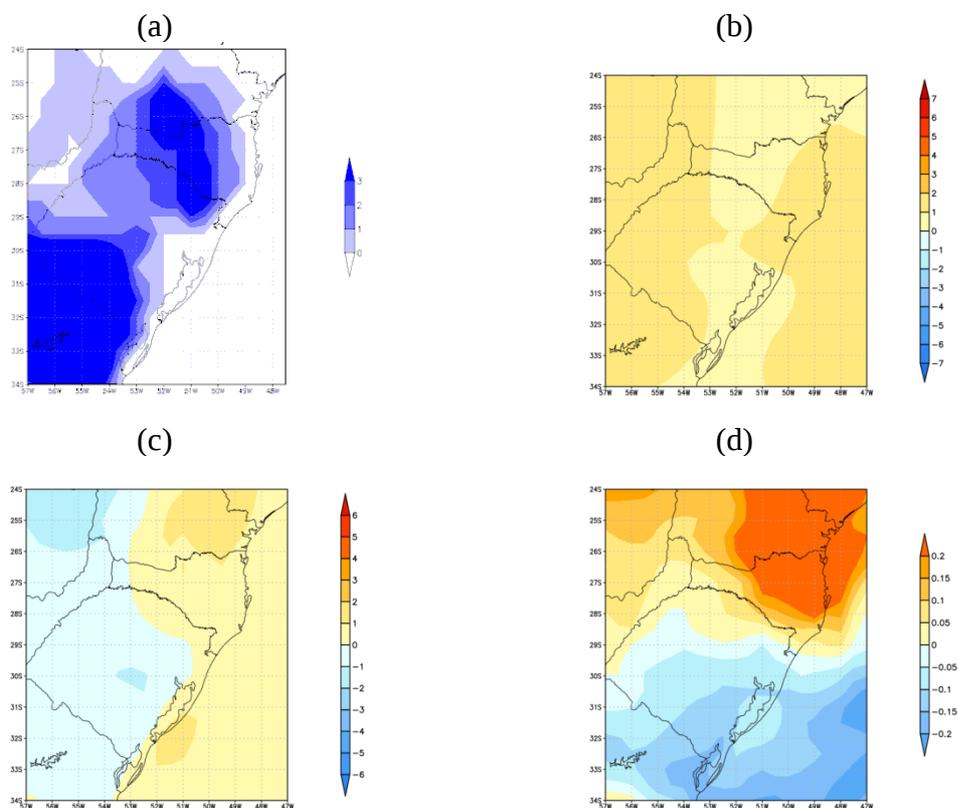


Figura 5: (a) Distribuição espacial de frequência de geadas; (b) Composto de anomalia da PNMM (hPa); (c) Composto de anomalia da T2m (°C); (d) Composto de anomalia da cobertura total de nuvens (%). Julho de 1992 (SAM negativo e N).

4. Conclusão

Os resultados dos compostos para os anos com maior frequência de geadas (SAM negativo com N e SAM positivo com LNEN) apresentam coerência entre si, apresentando anomalias negativas de T2m, positivas de PNMM e, no caso do SAM

negativo com N, menor cobertura de nuvens. A cobertura de nuvens para o caso do SAM positivo com LNEN não se mostrou coerente. Os outros casos mostraram divergência entre os campos e os resultados de frequência de geadas.

Nota-se necessário um aprofundamento do estudo para melhor conclusão do contexto físico da relação entre as geadas e os dos padrões de variabilidade climática.

5. Bibliografia

- AMBRIZZI, T. *Teleconexões e suas influências no Brasil*. In: CAVALCANTI, I.F.A. et al. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos. cap. 10, p. 317-335. 2009
- BALDWIN, M. P.; THOMPSON, D. A critical comparison of stratosphere-troposphere coupling indices. *Quarterly Journal Of The Royal Meteorological Society*, v. 135, n. 644, p. 1661–1672, Oct. Part A 2009.
- BJÖRNSSON, H.; VENEGAS, S. A. *A manual for EOF and SVD analysis of climatic data*. Montreal: McGill University, 1997. 247 p.
- DEE, D. P. ET AL. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. Soc., v. 137, p. 553–597, 2011.
- GRIMM, A. M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. *Journal of Climate*, v. 16, p. 263-280, 2003.
- L'HEUREUX, M. L.; THOMPSON, D. W. J. Observed relationships between the el niño-southern oscillation and the extratropical zonal-mean circulation. *Journal of Climate*, v. 19, n. 2, p. 276–287, Jan. 2006.
- LORENZ, E. N. Rotation of principal components. *International Journal of Climatology*, v. 6, n. 3, p. 293–335, 1986. Article review of: Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction. Science Report 1, Statistical Forecast Project. Depto. of Meteorology. Mass: Institute of Technology, 1956.
- MARTINS, R. P.; CAVALCANTI, I. F. A.; VASCONCELLOS, F. C. Impacto do Modo Anular Sul na América do Sul. 2016. 28 p. Relatório Final (Iniciação Científica) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016.
- MARTINS, R. P.; CAVALCANTI, I. F. A.; VASCONCELLOS, F. C. Impacto do Modo Anular Sul na América do Sul. 2017. 28 p. Relatório Final (Iniciação Científica) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2017.
- OLIVEIRA, H. T. *Climatologia das temperaturas mínimas e probabilidade de ocorrência de geada no Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS, 1997. 81f. Dissertação

(Mestrado em Fitotecnia, Área de Concentração em Agrometeorologia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SELUCHI, M. *Geadas*. In: CAVALCANTI, I.F.A. et al. Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos,. cap. 10, p. 131-161. 2009

SILVESTRI, G. E.; VERA, C. S. Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. *Geophysical Research Letters*, v. 30, n. 21, p. 2115–2118, Nov. 2003.

SILVESTRI, G. E.; VERA, C. S. Nonstationary Impacts of the Southern Annular Mode on Southern Hemisphere Climate. *Journal of Climate*, v. 22, n. 7, p. 6142–6148, May 2009.

THOMPSON, D.W.; WALLACE, J.M. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: month-to-month variability. *Journal of Climate*, v. 13, p. 1000–1016, 2000.

VASCONCELLOS, F. C *A oscilação Antártica-mecanismos físicos e a relação com características atmosféricas sobre a América do Sul/oceanos adjacentes*. 2012. 192 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/10.09.19.33-TDI). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012.