

# RESPOSTA DO CLIMA ATUAL A UMA CONDIÇÃO MÁXIMA DE GELO MARINHO ANTÁRTICO IMPOSTA DE DIFERENTES MANEIRAS

Cláudia Klose PARISE<sup>1,2</sup>; Luciano Ponzi PEZZI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CPTEC/INPE – São José dos Campos – São Paulo – [claudia.parise@cptec.inpe.br](mailto:claudia.parise@cptec.inpe.br)

**RESUMO:** O presente trabalho analisou os principais efeitos de uma condição extrema positiva de gelo marinho antártico sobre o clima do Hemisfério Sul. Para isso foram configurados dois experimentos numéricos com o Modelo Acoplado CM2.1 onde a condição de gelo marinho foi imposta de diferentes maneiras, como condição inicial e de contorno. Em geral, a imposição do máximo de gelo marinho resfriou a atmosfera austral, o que desencadeou um aumento no gradiente meridional de temperatura, interferindo na intensidade do jato polar e nos fluxos de calor e energia cinética.

**ABSTRACT:** This paper has examined the main effects of an extreme positive condition of the Antarctic sea ice on the Southern Hemisphere climate. The analyses were based on two numerical experiments designed with the CM2-GFDL Coupled Model where the sea ice condition was imposed in different ways, as initial and boundary conditions. In general, the imposition of the maximum sea-ice has cooled the southern atmosphere, which triggered an increase in the meridional temperature gradient, affecting the intensity of the polar jet, the vertical heat fluxes and the kinetic energy.

## 1 – INTRODUÇÃO

O Oceano Austral exerce um importante papel na variabilidade do tempo e clima em altas latitudes por meio da transferência de calor e umidade entre o oceano superficial e a camada limite atmosférica (RAPHAEL et al., 2011). A presença de gelo marinho na superfície do oceano dificulta essa interação, e dependendo da espessura e área deste gelo, o oceano deixa de transferir calor e a estabilidade estática da atmosfera aumenta. Isso ocorre porque quanto maior a espessura do gelo marinho maior é a quantidade de calor refletiva, ou albedo superficial, o que acaba resfriando a baixa atmosfera tornando-a mais estável (WALSH, 1983). Quando o gelo marinho da Antártica atinge a espessura de 2m, espessura de equilíbrio termodinâmico, o oceano é totalmente isolado da atmosfera (NSIDC, 2012). Durante o derretimento, o calor começa novamente a ser transferido entre as camadas agora mais finas de gelo, até que o gelo se rompa totalmente, permitindo que este calor seja liberado para a atmosfera. Desta maneira, a cobertura de gelo marinho interfere nos fluxos verticais de calor oceano-atmosfera, a máxima extensão latitudinal da margem de gelo marinho modula o gradiente meridional de temperatura e ambos interferem no saldo de radiação na Terra.

## 2 – OBJETIVO

Com o interesse nos processos de interação oceano-gelo marinho e atmosfera, o presente trabalho teve como objetivo analisar os efeitos da imposição de uma condição máxima de gelo marinho antártico sobre o estado básico da atmosfera austral. Assim, propôs-se responder, na escala sazonal, as seguintes questões: **1** – Por quanto tempo uma condição inicial de máxima concentração de gelo marinho antártico é sentida pelo clima atual? ; **2** – Uma condição de máxima concentração de gelo marinho ocorrida nos últimos 30 anos na Antártica seria capaz de alterar o gradiente meridional de temperatura atmosfera?

## 3 – METODOLOGIA

Foram realizados dois experimentos numéricos com o Modelo Acoplado CM2.1 do GFDL (DELWORTH et al., 2006) os quais foram perturbados com a máxima concentração de gelo marinho da Antártica ocorrida nos últimos 30 anos (1977-2007). Essa condição de máximo foi imposta no modelo acoplado de duas maneiras distintas; como condição inicial e considerando um modelo altamente sofisticado incluindo ambas as componentes termodinâmicas e dinâmicas (**expFULLY**) e como condição de contorno onde o modelo atmosférico foi forçado com gelo marinho e TSM prescritos em um modelo oceânico consideravelmente simplificado (KNUTSON, 2009) composto basicamente pela componente termodinâmica (**expSLAB**). Nesse último, a temperatura em cada ponto de grade é uma variável prevista e é afetada pela troca de calor através das interfaces oceano-atmosfera e oceano-gelo marinho, não havendo comunicação direta entre os pontos de grade oceânicos adjacentes (portanto sem correntes, advecção de temperatura, difusão) e sem nenhuma representação explícita do oceano profundo. Ambos os experimentos foram integrados por dois anos e inicializados a partir de uma rodada controle de 30 anos (**expCLIM**) realizado com campos oceânicos, atmosféricos e de gelo marinho climatológicos.

## 4 – RESULTADOS

A concentração de gelo marinho da Antártica, embora tenha apresentado uma variabilidade sazonal bastante definida em ambos os experimentos, foi significativamente maior no **expSLAB** que no **expFULLY** (Figura 1a). Essa maior persistência da perturbação pode ser explicada pela ausência da componente dinâmica do oceano e do gelo marinho no **expSLAB** e mostra que grande parte da memória do gelo marinho é dependente desta dinâmica. O aumento do campo de concentração de gelo marinho acabou influenciando sua espessura, sendo que durante o primeiro ano de simulação, ambos os experimentos apresentaram um gelo marinho mais espesso (Figura 1b). No segundo ano de integração, tanto a concentração quanto a espessura de gelo marinho no **expFULLY** passaram a apresentar um comportamento climatológico, ao contrário do **expSLAB** onde as anomalias positivas de gelo marinho persistiram até o final da rodada.

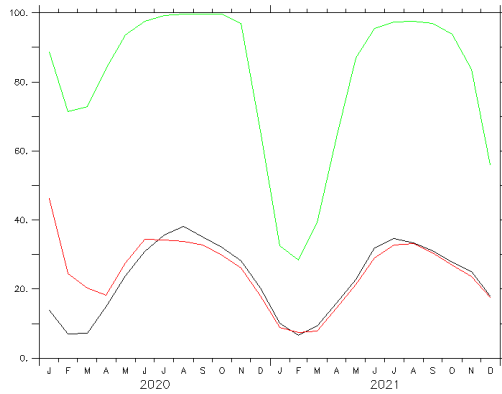


Figura 1a: Série temporal da concentração (%) de gelo marinho da Antártica para os três experimentos. Linha preta: expCLIM; Linha Vermelha: expFULLY; Linha Verde: expSLAB.

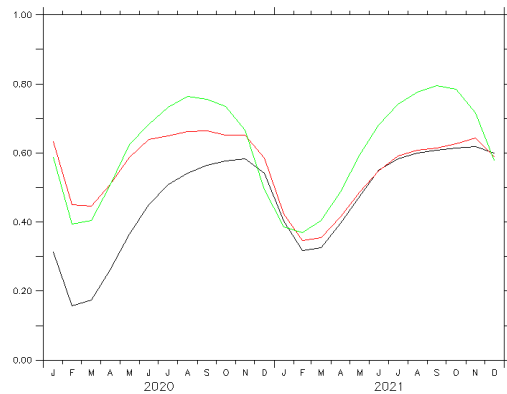


Figura 1b: Série temporal da espessura (m) de gelo marinho da Antártica para os três experimentos: Linha preta: expCLIM; Linha Vermelha: expFULLY; Linha Verde: expSLAB.

A imposição do máximo de gelo em ambos os experimentos refletiu em um resfriamento da atmosfera austral, sendo que no **expSLAB**, devido o maior tempo de persistência da camada de gelo na superfície do oceano, estas anomalias negativas de temperatura alcançaram latitudes mais baixas (Figuras 2a e 2b) e permaneceram por um período mais longo (cerca de 5 meses, até a primavera do segundo ano) que no **expFULLY**.

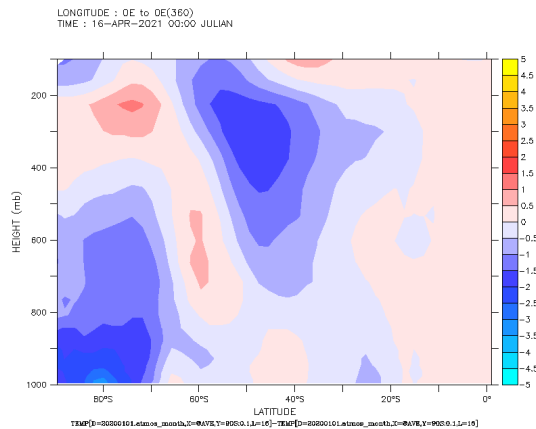


Figura 2a: Média zonal das anomalias de temperatura do ar (°C): expFULLY – expCLIM para Abril.

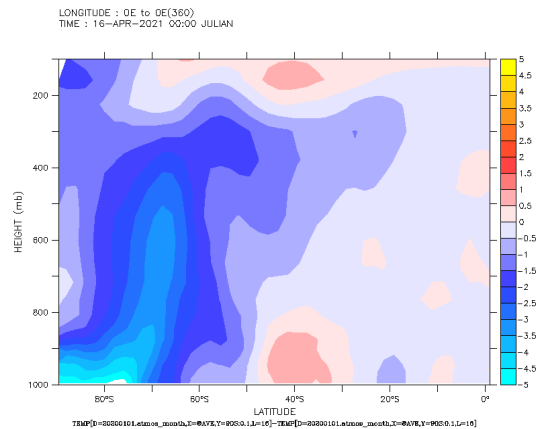


Figura 2b: Média zonal das anomalias de temperatura do ar (°C): expSLAB – expCLIM para Abril.

Em ambos os experimentos perturbados foi observada uma intensificação do Jato Polar comparado ao experimento climatológico (Figuras 3a e 3b), sendo que no **expSLAB** essa intensificação foi ainda maior e acompanhada de um aumento dos ventos de baixos níveis.

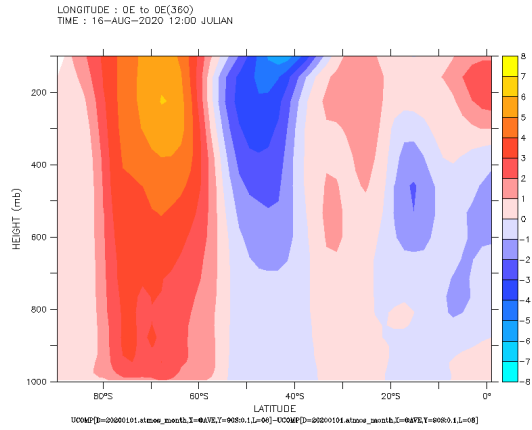


Figura 3a: Média zonal das anomalias da componente zonal do vento ( $\text{ms}^{-1}$ ): **expFULLY** – **expCLIM** para Agosto.

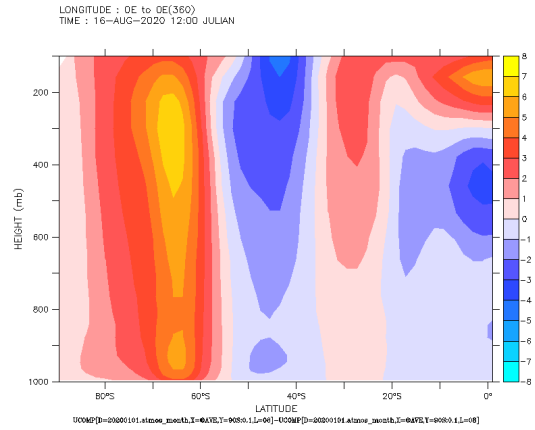


Figura 3b: Média zonal das anomalias da componente zonal do vento ( $\text{ms}^{-1}$ ): **expSLAB** – **expCLIM** para Agosto.

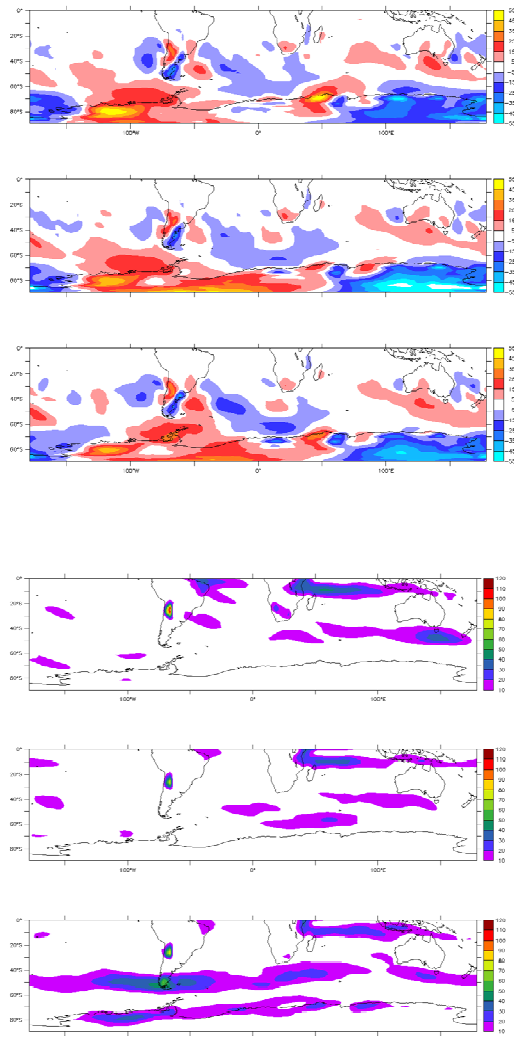


Figura 5: Energia cinética em 850hPa para Julho. Figura Superior: **expCLIM**; Figura do Meio: **expFULLY**; Figura Inferior: **expSLAB**.

A imposição do máximo de gelo marinho antártico desencadeou um aumento do fluxo meridional de calor ( $v'T'$ ) em 850hPa (Figura 4). Foi observado também um aumento do fluxo em latitudes médias ( $\sim 45^\circ\text{S}$  e  $50^\circ\text{S}$ ) no **expSLAB** comparado ao **expFULLY**.

Figura 4: Fluxo de calor em baixos níveis (850hPa) para Janeiro. Figura Superior: **expCLIM**; Figura do Meio: **expFULLY**; Figura Inferior: **expSLAB**.

O aumento do gelo marinho antártico refletiu em um enfraquecimento da energia cinética ( $u'v'$ ) sobre a América do Sul (Figura 5) e o maior tempo de persistência das anomalias positivas de gelo marinho no **expSLAB** favoreceu o aumento da cinética de médias e altas latitudes (Figura 5). Essa maior energética parece estar relacionada ao aumento da componente meridional do vento, como já descrito na figura 4.

## **5 – CONCLUSÕES**

Estudos sobre a memória do sistema climático a alterações na condição de gelo marinho no Hemisfério Sul é uma questão que necessita ser explorada dada a importância das interações gelo marinho-oceano-atmosfera. Este trabalho constitui uma investigação inicial sobre os impactos termodinâmicos e dinâmicos do gelo marinho da Antártica na atmosfera e oceano austral. Por meio do presente estudo pode-se ter uma ideia do tempo de persistência de uma anomalia de gelo marinho antártico e os principais impactos climáticos. A máxima concentração de gelo marinho imposta no modelo acoplado mostrou um tempo de persistência de até 12 meses sendo este sinal foi transferido para o campo de espessura de gelo o qual persistiu ao longo de todo o tempo da simulação. Outros experimentos realizados com o mesmo modelo acoplado CM2.1 mostraram que o tempo de persistência da anomalia de gelo marinho varia espacialmente e temporalmente (PARISE e PEZZI, 2012).

## **6 – REFERÊNCIAS**

DELWORTH, T. L. et al. 2006. GFDL's CM2 global coupled climate models - Part 1: Formulation and simulation characteristics, *Journal of Climate*, 19, 643- 674.

KNUTSON, T., 2003, revised in 2009: FMS Slab Ocean Model Technical Documentation, <http://www.gfdl.noaa.gov/fms-slab-ocean-modeltechnical>, acessado em agosto de 2012.

NSIDC - National Snow and Ice Data Center. All about sea ice. Disponível em: <http://nsidc.org/seaice>. Acesso em: agosto de 2012.

PARISE, C.K e PEZZI, L.P. 2012. Sensitivity of a fully coupled model to an extreme in the thickness and concentration of the Antarctic sea ice. In: XXXII SCAR and Open Science Conference, Portland, OR, EUA.

RAPHAEL, M.N.; HOBBS, W. e WAINER, I. 2011. The effect of Antarctic sea ice on the Southern Hemisphere atmosphere during the southern summer, *Climate Dynamics*, 36, 1403-1417.

WALSH, J.E. 1983. Role of sea ice in climate variability: theories and evidence. *Atmosphere-Ocean*, 21, 229-242.