



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Modelagem do Impacto da Topografia Boreal no Clima Global

Bruno Lopes de Faria¹, Flavio Barbosa Justino²

¹ Professor Mestre - Instituto Federal Norte de Minas Gerais – IFNMG, Pirapora-MG.

² Professor Adjunto - Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa-MG.

Artigo recebido em 08/02/2011 e aceite em 07/08/2011

RESUMO

Foram realizadas simulações climáticas a partir de 2 experimentos de sensibilidade numérica conduzidos com um modelo acoplado de complexidade intermediária, LOVECLIM, estendendo-se para um período de 300 anos. Sendo que, neste experimento foi realizada a redução em 50% da topografia geral do hemisfério norte, um com modelo acoplado (oceano-atmosfera) e outro desacoplado (somente atmosfera). Nos resultados obtidos, foram observadas alterações no padrão de clima global e local, em especial a região da Ásia, relacionadas com aumento de temperatura do ar à superfície e intensidade do vento. Maiores alterações foram observadas em regiões continentais no hemisfério norte. Isto mostra o maior impacto local causado pela forçante topográfica com o a redução da pela metade da topografia boreal.

Palavras-chave: Topografia, Mudanças Climáticas, Modelos Climáticos, Forçante Climática

Modelling the Impact of Topography on Global Climate Boreal

ABSTRACT

Simulations were conducted from two numerical sensitivity experiments conducted with a coupled model with intermediate complexity, LOVECLIM, extending for a period of 300 years. Since this experiment was carried out 50% reduction in the general topography of the northern hemisphere, with a coupled model (ocean-atmosphere) and the other uncoupled (atmosphere only). Their results have been observed changes in the pattern of global and local climate, particularly in Asia, linked to increase of air temperature and wind intensity. The biggest impacts were observed in continental regions in the north hemisphere. This shows the greater local impact caused by topographic forcing

Keywords: Topography, Climate Change, Climate Models, Topographic Forcing

1. Introdução

Nas últimas décadas, mudanças climáticas globais têm despertado as atenções de diversos segmentos da sociedade. O aumento da concentração de gases de efeito estufa resultante da intensificação das atividades antrópicas tem causado significativa alterações no clima. Alguns dos principais efeitos adversos causados e já

percebidos nos dias atuais devido às mudanças climáticas são: aumento no nível do mar, alteração no suprimento de água doce, tempestades de chuvas fortes e mais frequentes, forte e rápido ressecamento do solo devido a períodos secos mais intensos (Marengo, 2007; IPCC, 2007).

Existem diversos fatores que controlam o clima terrestre e regulam as suas variações a curto, médio e longo prazos. Para

* E-mail para correspondência: blfaria@gmail.com
(Faria, B. L.).

o estudo desses fatores a modelagem numérica é uma ferramenta importante. Dentro de um cenário de mudanças climáticas os modelos climáticos agem como um dos principais instrumentos para se avaliar possíveis impactos que alterações em algum dos elementos que compõem o sistema climático da terra (oceano, atmosfera, criosfera e topografia), diminuindo o grau de incertezas relacionadas ao tema.

Embora a validação da eficácia de um modelo ocorra a partir de confirmações de climas passados, o que a maioria faz muito bem, as previsões para o clima futuro, ou cenário, como se costuma se nomeado atualmente, vêm carregadas de margens de incertezas, as quais o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC em Inglês) recentemente dividiu em “graus de incerteza”, classificando-os como “provável” e “muito provável”, em termos de percentagem de probabilidade. Observe-se que grande parte das conclusões do IPCC é baseada em modelagem climática, nos quais os parâmetros de entrada dos modelos são objeto de muito debate, assim como seus resultados.

O clima da Terra é determinado por uma rede de interações entre atmosfera, oceano e continentes envolvendo processos físicos, químicos e biológicos. O equilíbrio do clima depende do balanço de energia radiativa que entra no sistema continente-atmosfera-oceano por meio de radiação ultravioleta emitida pelo Sol e a radiação infravermelha

que é emitida pela Terra, ou seja, o fluxo de energia que entra deve ser igual ao que sai do sistema para que o mesmo permaneça em equilíbrio, esses fluxos de energia são controlados pelas forçantes climáticas internas como atmosfera, oceano e continentes e forçantes externas ao sistema como variações na constante Solar, e na órbita da Terra em torno do Sol e de erupções vulcânicas.

As interações das forçantes climáticas conferem ao sistema atmosférico características específicas para cada região do globo, devido a distribuição não homogênea dos oceanos e continentes e a mudança do posicionamento do planeta em relação ao sol, sempre em um processo dinâmico em busca de equilíbrio. Desta forma regiões com características fisiográficas parecidas podem apresentar particularidades climáticas diferentes, contudo, independente da condição caótica da atmosfera, o clima da Terra poderá ser previsto com antecedência. Mas para tanto deverá ser levado em consideração as interações entre a topografia, os oceanos, a cobertura de gelo e própria atmosfera.

De acordo com Ambrizzi et. al. (2007) para realização destas previsões, os modelos climáticos globais têm sido utilizados como ferramentas para projeções de futuras mudanças do clima, em função de futuros cenários de forçantes climáticas. Contudo, os modelos climáticos não são capazes de prever em que dia ou local acontecerão fenômenos climáticos, os modelos fornecem simulações

adequadas para escalas globais, mas deixam a desejar quando se pretende realizar projeções regionais devido a resolução espacial destes métodos, que por vezes são da ordem de centenas de quilômetros, de forma que, forçantes de mesoescala como topografia, coberturas vegetais, grandes lagos e rios e uma gama de processos físicos com escala espacial inferior à resolução espacial da “grade” do modelo acarretam erros no decorrer da integração, limitando a simulação satisfatória de alguma variação da temperatura ou precipitação.

Segundo Fernandez (2000) devido a dificuldades de simulação das forçantes locais por meio de modelos globais, nos últimos anos os modelos regionais de circulação atmosférica começaram a ser usados se mostrando mais eficientes. Um modelo regional climático é desenvolvido basicamente de modelos de previsão numérica de tempo, que são integrados, modificando os parâmetros de interação dos processos da atmosfera e superfície.

McGregor (1997) realizou uma completa descrição da modelagem regional climática onde são apresentadas as vantagens e as limitações destes modelos. Embora os modelos regionais representem como uma ferramenta muito útil para estudar as mudanças climáticas, poucos trabalhos foram feitos para a América do Sul usando-se tal tipo de modelo.

O Centro de Distribuição de Dados do IPCC nos permite acesso a resultados de

modelos dos principais centros de modelagem do clima. Esses modelos climáticos globais quantificam o comportamento dos compartimentos climáticos (atmosfera, oceanos, biosfera, topografia, etc.) e suas interações, permitindo estimar as variáveis climáticas (temperatura média, máxima, mínima, precipitação, etc.) para os diversos cenários de emissões de gases de efeito estufa estabelecidos pelo IPCC.

A identificação, seleção e aplicação de dados de base e cenário são passos cruciais para a avaliação dos potenciais impactos das mudanças climáticas futuras. A necessidade de fornecer um conjunto coerente de dados que abrangem uma grande diversidade de elementos de cenário diferente pode representar desafios consideráveis para os investigadores.

Desta forma vários pesquisadores têm realizado trabalhos que buscam simular as condições climáticas da Terra em condições adversas das forçantes climáticas como Horel et. al. (1994) que utilizaram o modelo regional MM4 do National Center for Atmospheric Research (NCAR), para investigar os processos que determinam a circulação de grande escala sobre a bacia amazônica, dando ênfase na reprodução do ciclo diurno e os sistemas de escala sinótica e constataram que os resultados não foram satisfatórios em função de problemas na circulação interna do modelo nas proximidades das montanhas e na parametrização quanto à precipitação

excessiva em regiões próximas aos Andes. Os próprios autores constataram que mesmo com parametrizações mais adequadas, as simulações não apresentaram condições reais.

Tanajura (1996) que realizou experimentos, com e sem a presença dos Andes, por meio do modelo ETA/CPTEC do National Centers for Environmental Prediction (NCEP), constatou que a presença dos Andes é fundamental na organização da distribuição de calor latente da Alta Bolívia, enquanto que na sua ausência, não ocorreriam precipitações sobre o sul do continente e não haveria transporte de umidade da Amazônia para as latitudes altas.

Kim (2004) utilizou um modelo climático acoplado oceano - atmosfera - gelo marinho para investigar o papel da redução da concentração de CO₂ atmosférico e da topografia das lâminas de gelo e constatou que o resfriamento da superfície induzido pela redução de CO₂ foi maior no Hemisfério Norte, sendo essa diferença entre os hemisférios mais evidente no experimento que considerou a topografia das lâminas de gelo concluindo desta forma que a topografia das lâminas de gelo resultou em uma grande modificação no padrão da temperatura superficial sobre o continente, a reduzida concentração de CO₂ demonstrou-se importante na distribuição espacial na magnitude da temperatura superficial sobre o oceano.

Estudos com modelos numéricos demonstraram que a topografia teve

influência preponderante no clima do último período glacial se comparada com outras forçantes, tais como o albedo, as forçantes orbitais e o CO₂. Ruddiman & Kutzbach (1991) propuseram que a elevação do platô Tibetano, o Himalaia e da Sierra Nevada, no sul-oeste americano pode ter induzido um resfriamento global nos últimos 40 milhões anos. Raymo & Ruddiman (1992) também sugerem que uma elevação maior destas regiões, aumentou a taxa de meteorização física e química

Diante do exposto acima objetivo geral deste trabalho foi avaliar os impactos da forçante topográfica do hemisfério norte no clima global. Foi proposto um cenário no qual ocorreria a diminuição em 50% da topografia boreal por meio de modelagem climática.

2. Material e Métodos

Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizado o modelo acoplado Loch-Vecode-Ecbilt-CLio-agIsm Model – LOVECLIM.

O componente atmosférico do modelo acoplado LOVECLIM (LOch-Vecode-Ecbilt-CLio-agIsm Model), a saber ECBilt (Opsteegh et al. 1998), é um modelo de 3 níveis na vertical (800, 500 e 200 hPa) com um núcleo adiabático quase-geostrófico atrelado a parametrizações físicas para o ciclo hidrológico e um código simplificado para a radiação. O ECBilt é um modelo espectral que funciona em um truncamento T21 triangular, onde T refere-se ao tipo de

truncamento espectral utilizado, denominado triangular, de 21 ondas na coordenada horizontal. Isto corresponde a uma resolução horizontal aproximada de $5,625^\circ$ de latitude e longitude. O componente oceânico do LOVECLIM é o modelo Clio. Este último é baseado nas equações primitivas (equações de Navier- Stokes sujeitas às aproximações hidrostática e de Boussinesq) e emprega uma superfície livre com parametrizações termodinâmicas / dinâmicas para o componente do gelo marinho. Também são empregadas parametrizações para difusividade vertical, o que constitui em uma simplificação do Esquema de Turbulência de Mellor e Yamada (Mellor e Yamada 1982). O modelo oceânico inclui, ainda, processos de difusão ao longo das isopícnais para capturar o impacto dos vórtices turbulentos de mesoescala (eddies) no transporte. A resolução horizontal do modelo Clio é de

aproximadamente 3° de latitude e longitude, com 20 níveis verticais desigualmente espaçados.

O LOVECLIM possui um módulo de vegetação dinâmica (VECODE) que evolui de acordo com as condições de superfície (por exemplo, temperatura e precipitação). Desta forma, é possível investigar o comportamento da floresta amazônica e outros biomas sob diferentes condições climáticas. A partir de valores médios anuais de diversas variáveis climáticas, o modelo VECODE computa a evolução da vegetação descrita como uma distribuição fracionária de deserto, florestas, e da grama em cada ponto da grade.

Deve-se ter em mente que o LOVECLIM captura as variações climáticas em virtude das mudanças nas condições oceânicas e no gelo marinho, que são de suma importância para cenários climáticos de mudanças globais.

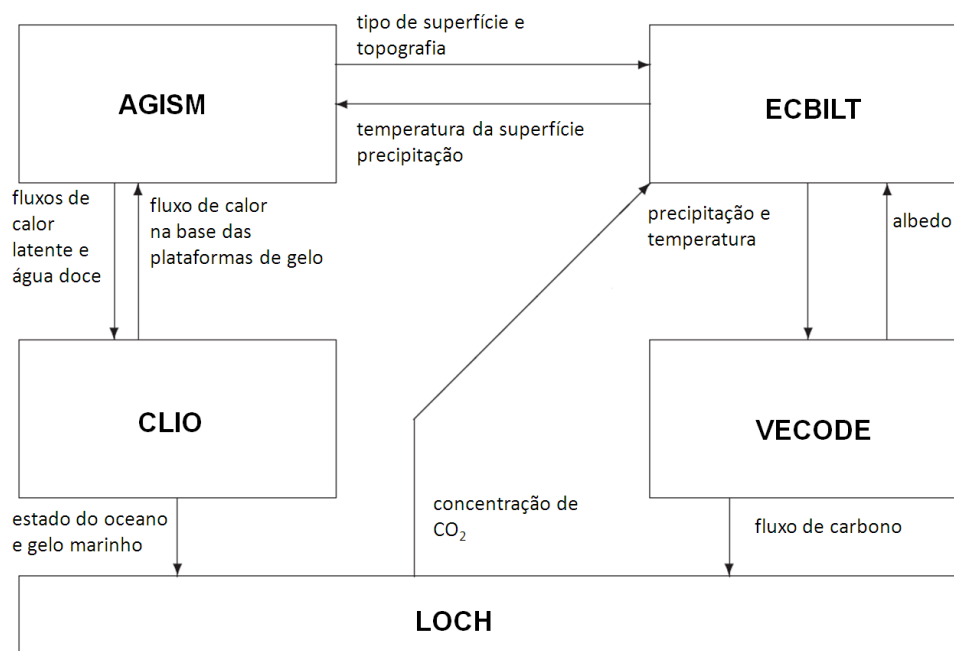


Figura 1. Diagrama ilustrativo da interação entre os diferentes componentes do modelo LOVECLIM. Machado (2009).

3. Resultados e Discussão

Após a análise, com modelo acoplado (interação oceano-atmosfera) da diminuição em 50% da topografia do hemisfério norte, torna-se necessário saber quais os impactos de mudança na circulação atmosférica. Para isso, as anomalias (diferenças) nos padrões atmosféricos, serão analisadas através dos campos de temperatura do ar à superfície e do regime de vento zonal. Além disso, será analisada com o modelo desacoplado (somente atmosfera/ECBILT), ou seja, a atmosfera sem interação com oceano. Sendo possível mensurar o papel do oceano no clima.

3.1 Temperatura do ar à superfície (Ts)

A Figura 2 (a) e (b), LOVECLIM e ECBILT, mostram as anomalias da temperatura do ar a superfície, com topografia reduzida a 50% em relação a simulação

denominada controle (CTR) na qual consta o relevo original.

Note que, na região montanhosa do hemisfério norte, a saber, as Montanhas Rochosas e a região do Himalaia, há um aumento na temperatura local. O resultado mais significativo foi na Ásia, mais precisamente na região do Himalaia, ponto mais alto, com aumento de até 18°C, devido a redução da cobertura de gelo no topo, consequência da redução da altitude na atmosfera, logo diminuição no albedo, contribuindo com a elevação da temperatura. Nas demais áreas do globo, como no hemisfério sul, as predições do modelo não apresentaram alterações significativas. No modelo desacoplado (ECBILT) as anomalias foram menores o que sugere a magnitude da influencia do oceano nas interações oceano-atmosfera preditas pelo modelo.

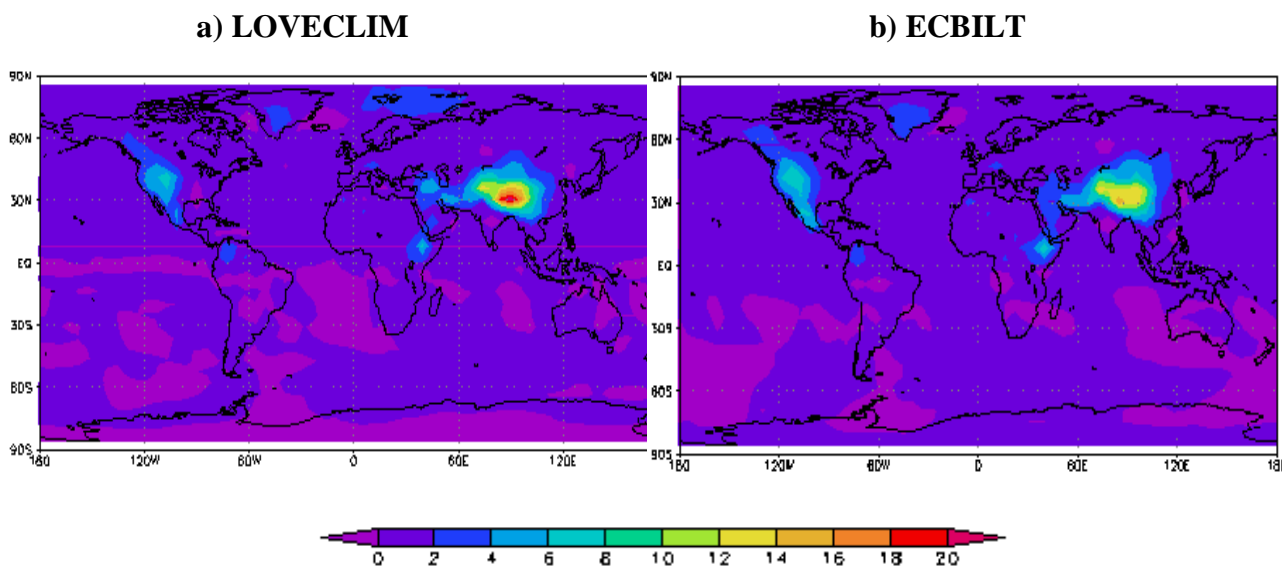


Figura 2. Média anual da Temperatura do ar à superfície (°C). a) anomalia de temperatura (acoplado-LOVECLIM) b) anomalia de temperatura (desacoplado-ECBILT).

3.2 Vento zonal (u)

Com a redução pela metade da topografia provavelmente haverá alteração no movimento das massas de ar. Sendo o vento o principal elemento responsável pela troca de calor entre a atmosfera e o oceano. O campo de vento em estudo (zonal) está diretamente ligado a distribuição meridional de calor. Além disso, as diferenças de temperatura entre as regiões polares e o equador são responsáveis pelo estabelecimento dos ventos de oeste em médias latitudes, enquanto os centros de alta pressão semi-estacionários sobre os oceanos determinam o comportamento dos ventos nas regiões tropicais, que são predominantemente de leste.

A Figura 3 (a) e (b), mostra a distribuição do vento zonal média anual em 500 hPa, A importância de se analisar o vento em 500 hPa por estar na média troposfera, quase sempre ocorre a ciclogênese e valores meteorológico extremos.

Observa-se que o padrão de distribuição da anomalia é bem evidente no hemisfério norte e é bastante similar ao mostrado para a simulação da Ts na figura anterior. Nota-se que existem anomalias relacionadas com a corrente de jato subtropical no Hemisfério Norte e monções na Ásia. As anomalias positivas indicam um aumento (intensificação) na velocidade do vento de oeste também é acompanhada pela redução nos ventos nos pólos, anomalia negativa refletindo na desintensificação dos ventos, logo mantendo o equilíbrio nos trópicos. No modelo desacoplado (ECBILT) observa-se valores de anomalia positiva em torno da faixa de 30° norte, chegando ao extremo na região das cordilheiras do Himalaia, o que sugere a ausência do papel do oceano no vento zonal, devido a circulação de monção é essencialmente determinada pela diferente capacidade térmica dos oceanos e continente.

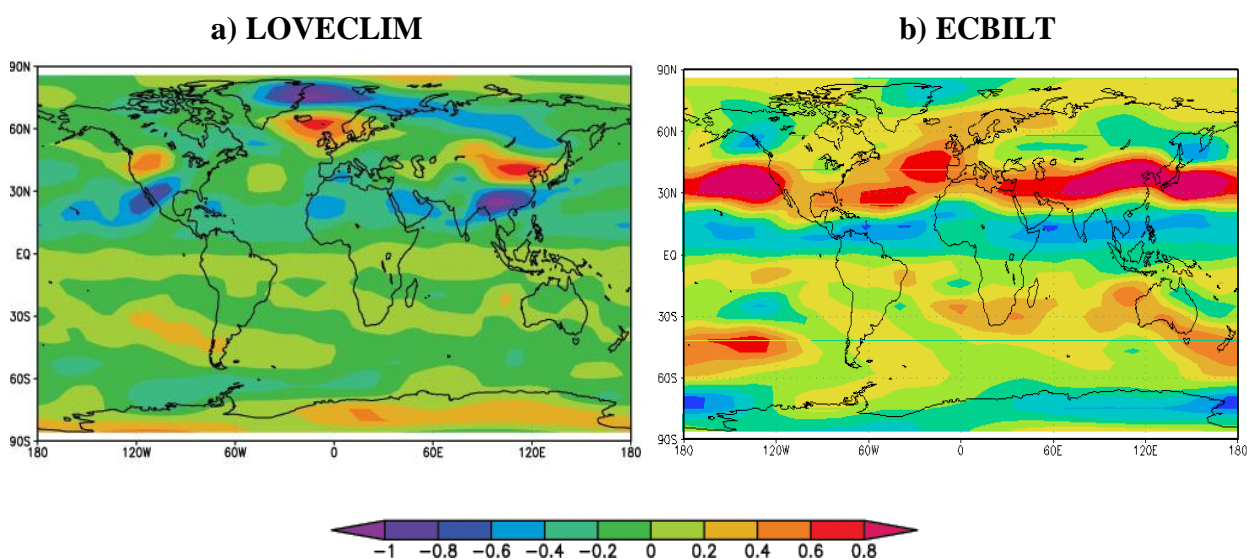


Figura 3. Vento zonal média anual em 500 hPa (m/s). a) anomalia do vento (acoplado-LOVECLIM) b) anomalia do vento (desacoplado-ECBILT).

4. Conclusão

Por meio deste trabalho foi possível entender, de maneira geral a resposta da forçante topográfica do hemisfério norte em relação a alguns aspectos do clima global. Verificou-se neste trabalho temperatura do ar à superfície e vento zonal. Estes demonstram com magnitude significativa maiores efeitos locais de clima em comparação a efeitos globais com base nas previsões do modelo.

Os impactos no clima da redução da topografia sobre temperatura do ar à superfície, são de ordem local, em destaque a região do Himalaia, devido as maiores altitudes, com aumento de até 18°C nas previsões do modelo, sugerindo efeitos de feedback por albedo com a redução da cobertura de gelo no topo, consequência da redução da altitude na atmosfera. O clima global não é afetado de maneira significativa.

Com a redução pela metade da topografia haverá alteração principalmente no movimento das massas de ar. Sendo o vento o principal elemento responsável pela troca de calor entre a atmosfera e o oceano uma mudança no vento implicará em variações globais. A forte intensificação na velocidade do vento em destaque ventos de oeste somente é observada no modelo desacoplado principalmente sobre áreas no hemisfério norte, devido à retirada de cadeia de montanhas. Já na simulação com interação oceano-atmosfera houve nítida redução desses ventos ocasionada pela menor variação da temperatura meridional devido ao equilíbrio

causado pelas interações com o oceano, apresentadas nas previsões do LOVECLIM.

5. Agradecimentos

Ao Professor Flávio Justino, ao CNPq, à Universidade Federal de Viçosa e à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, pelo auxílio financeiro e fornecimento de material e infraestrutura que permitiram a execução deste trabalho.

6. Referências

Fernandez, J. P. R. (2007). Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 3. Ministério do Meio Ambiente – MMA. São Paulo, 112 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2007). Climate Change: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Fernandez, J. P. R. ; Morais, B. C. ; Franchito, S. H. ; Rao, V. B. (2000). Estudo climático preliminar sobre a América do Sul usando o RegCM2. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000, Rio de Janeiro. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro.

Horel, J. D.; Pechmann, J. B.; Hahmann, A. N.; Gleisler, J. E. (1994). Simulations of the

Amazon basin circulation with a regional model. *Journal of Climate*, v. 7, n. 1, p. 56-71.

Justino, F., *et al.* (2007). Impacto da concentração do dióxido de carbono atmosférico no gelo marinho antártico. *Revista Oecologia Brasiliensis.*, Vol. 11 (1): 69-77.

Kim, S. (June 2004). The effect of atmospheric CO₂ and ice sheet topography on LGM climate. *Climate Dynamics*, v. 22, n. 6-7, p. 639–651.

Machado, J. P. (2009). Resposta das

circulações oceânica e atmosférica associada ao enfraquecimento da circulação termohalina global. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Brasil.

Marengo, J. A. (2007). Cenários de Mudanças Climáticas para o Brasil em 2100. *Ciência e Ambiente*, v. 34, p. 100-125.

Tanajura, C. A. S. (1996). Modeling and analysis of the South American summer climate, 1996. Ph.D. diss. University of Maryland, College Park Maryland.