

Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: Simulações Climáticas do IPCC para a região do
Centro de Lançamento de Alcântara
Bolsista: Melissa Dias da Silva Oliveira
Orientador(a): Mariane Mendes Coutinho
Período a que se refere o relatório: Agosto de 2016 a Julho de 2017

Resumo

O objetivo do projeto é fazer um estudo avaliativo de diferentes modelos que disponibilizaram dados ao IPCC para as variáveis meteorológicas temperatura, precipitação e vento, de forma a verificar aqueles que melhor simulam o comportamento dessas variáveis para a região do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), situado na costa norte do nordeste brasileiro. Até o momento atual do estudo foram analisados os resultados do modelo britânico HadGEM2-ES (*Hadley Global Environment Model 2 - Earth System*) e de dois diferentes modelos australianos, o ACCESS1.0 e o ACCESS1.3 (*Australian Community Climate and Earth-System Simulator 1.0 e 1.3*, respectivamente). Por meio da comparação dos resultados dos três modelos com os dados observacionais Era-Interim e GPCP, para as variáveis temperatura à superfície e precipitação, respectivamente, foi observado que o ACCESS1.3 tem mais erros que os outros dois modelos. De um modo geral, os modelos HadGEM2-ES e ACCESS1.0 apresentaram resultados similares aos dos dados de base observacional para as médias sazonais de seus ensembles. Através do cálculo das diferenças entre cada modelo e os dados de base observacional, concluiu-se que o modelo dentre os três que possuiu a melhor destreza para a temperatura é o ACCESS1.0. No entanto, esse comportamento não é tão regular para a precipitação, para a qual o modelo ACCESS1.0 tem grandes subestimativas no período mais chuvoso. A escolha entre os modelos HadGEM2-ES e ACCESS1.0 deve se basear numa análise mais completa de suas simulações, particularmente incluindo a variável vento que é bastante relevante para os lançamentos no CLA.



1. Introdução

A região de Alcântara situada no estado do Maranhão possui predomínio do clima tropical úmido que é descrito por influências atmosféricas atuantes no local, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os ventos alísios, a Linha de Instabilidade da Costa Amazônica e os contrastes de temperatura entre continente/mar, que favorecem a ocorrência de brisas marítimas, entre vários outros fenômenos de frequência normal e/ou esporádicos (Pereira et al, 2002).

A variação sazonal da temperatura média mensal na região é pequena, sendo que o mês de novembro (março) apresenta temperatura média mensal maior (menor) do que a temperatura de outros meses, com 28,1°C (26,7°C). O regime de precipitação é caracterizado por alternância de estações seca e chuvosa: a estação chuvosa (seca) ocorre entre os meses de janeiro e junho (julho e dezembro), e os máximos (mínimos) de precipitação ocorrem nos meses de março e abril (setembro e novembro) (Nogueira,2010).

No caso dos ventos, como são provenientes do oceano e possuem perfil inicialmente em equilíbrio com a superfície lisa, ao sofrerem uma mudança devido a alteração brusca de rugosidade superficial há a modificação de seu perfil e um novo equilíbrio é estabelecido de forma gradual. Nesta interação ocorre o deslocamento vertical do nível zero da superfície devido à falésia e a vegetação arbustiva do local. Como a rampa de lançamento está numa localização próxima a costa litorânea, os foguetes sofrem a influência de intensa turbulência ao ascenderem verticalmente (Roballo et al,2008).

A região de Alcântara, em função de sua localização privilegiada próximo a linha do Equador, a 02° 24' S de latitude e a 44° 24' O de longitude, é uma área estratégica para exploração espacial onde está instalada uma importante base brasileira de lançamentos espaciais, o denominado Centro de Lançamento de Alcântara (CLA, Faria et al, 2014).

Um fator importante para o êxito na execução de lançamentos espaciais é o conhecimento do comportamento climático presente e futuro na região, incluindo a variabilidade anual de

variáveis meteorológicas como temperatura, precipitação e vento, que influenciam fortemente a região e os lançamentos. Projeções futuras para variáveis meteorológicas sob cenários de mudanças climáticas podem ser obtidas através de modelos climáticos. Contudo, há uma série de diferentes modelos climáticos disponíveis, de modo que é importante investigar a confiabilidade desses modelos para a região do CLA.

A base de dados do mais recente (quinto) relatório (*Assessment Report*) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, o IPCC-AR5, disponibiliza resultados de vários modelos climáticos, considerados o “estado da arte” na modelagem de mudanças climáticas. Para cada modelo há uma grande quantidade de projeções futuras obtidas a partir de condições iniciais distintas e sob diferentes cenários futuros de forçante radiativa. Uma indicação de confiabilidade para as projeções futuras desses modelos pode ser obtida pela avaliação dos resultados de simulações do clima passado fornecidas por experimentos denominados “históricos”.

O objetivo deste projeto é identificar os modelos que melhor simulam as condições climáticas para a região onde se localiza o CLA, tendo como base os resultados das simulações históricas de modelos participantes do IPCC-AR5. As condições climáticas simuladas pelos modelos e as indicadas por bases de dados observacionais serão comparadas visando avaliar a habilidade em simular o clima da região em que se encontra o CLA, de modo a indicar os modelos com melhor desempenho para as variáveis investigadas na região do CLA.

2. Materiais e métodos

O início do projeto deu-se com o aprendizado via online de alguns conceitos e informações sobre o sistema operacional Linux, com a finalidade de interagir e compreender a utilização de comandos básicos importantes para a parte computacional da execução do projeto (UNIX, 2001). Para a fundamentação científica, foram estudados os capítulos 9 e 11 do IPCC-AR5, bem como os questionamentos frequentes e suas respectivas respostas (“FAQs”) também contidos no IPCC-AR5 (IPCC, 2013).



Em seguida, houve o contato e a familiarização com o software “*The Grid Analysis and Display System*” (GrADS; Santos, 2014) versão 2.0.1.oga.1 (*Open Grads*). Esse software foi, então, utilizado como ferramenta para a comparação de resultados dos modelos HadGEM2-ES, ACCESS1-0 e ACCESS1-3 com reanálise ou dados observacionais. Assim, foram calculadas as médias para as estações do ano, tanto para o ensemble dos modelos HadGEM2-ES (4 membros), ACCESS1.0 (3 membros) e ACCESS1.3 (3 membros) quanto para as bases observacionais (descritas a seguir), da temperatura do ar em 1,5 m e da precipitação. Para a temperatura do ar em 1,5 m a comparação dos resultados dos três modelos utilizados foram feitas com os dados das reanálises Era-Interim, NCEP2 e Merra e com a série de dados CRU, mas neste relatório serão apresentados apenas os resultados para o Era-Interim. Da mesma forma, para a precipitação foram utilizados os dados do GPCP, GPCC, CMAP e CRU, mas serão apresentadas apenas as comparações com o GPCP (*Global Precipitation Climatology Project*). Em todas as comparações, os dados de base observacional (com maior resolução) foram reajustados para as grades dos modelos. Foi também iniciado o estudo do vento em 850 hPa e 250 hPa, calculando-se a média para as estações do ano do ensemble dos 3 modelos para as componentes zonal e meridional desta variável. Os dados usados neste estudo são do período que se inicia no ano de 1979 e termina no ano de 2005, sendo que estes foram obtidos do Earth System Grid Federation (ESGF).

Os scripts foram instruídos a plotar as figuras das médias trimestrais de dezembro-janeiro-fevereiro (DJF), março-abril-maio (MAM), junho-julho-agosto (JJA) e setembro-outubro-novembro (SON) para cada uma das variáveis citadas acima. As coordenadas utilizadas para a representação da região do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) e suas vizinhanças foram: latitude de 10°S a 0° e da longitude de 50°O a 40°O.

É importante ressaltar que os modelos ACCESS1.0 e ACCESS1.3 são modelos diferentes, pois as componentes de superfície e atmosfera têm origem e formulações distintas e apenas as componentes oceânica e de gelo marinho são essencialmente as mesmas nos dois modelos.

3. Resultados

As figuras a seguir são a representação dos resultados obtidos através do software GrADS para o período de 1979 a 2005. A temperatura mostrada na Fig.1 indica uma pequena variação para as médias trimestrais de temperatura ao longo do ano, tanto para os modelos (Fig. 1: a, b, c) quanto para a reanálise (Fig. 1: d), sendo SON o trimestre mais quente do ano. Essa pequena amplitude está de acordo com o esperado para essa localização próximo à linha do Equador, que recebe uma incidência de radiação com menor variação ao longo do ano em comparação com áreas localizadas em maiores latitudes.

Comparando-se a média dos membros dos modelos (Fig. 1: a, b, c) com os dados de base observacional (Fig. 1: d) pode-se notar que os modelos HadGEM-ES e ACCESS1.0 fornecem valores mais similares aos do ERA-Interim do que o modelo ACCESS1.3, que tende a superestimar a temperatura sobre o continente no domínio considerado.

Para uma visualização mais clara das diferenças, a Fig. 2 mostra a diferença entre os valores de temperatura dados por cada modelo e os valores fornecidos pelo ERA-Interim. Nota-se que em DJF e SON o comportamento dos erros em relação à reanálise é similar entre os modelos HadGEM2-ES e ACCESS1.0 em relação às áreas de superestimativa no lado oeste e subestimativa no lado leste do domínio. Já para MMA e JJA, o modelo HadGEM2-ES subestima a temperatura sobre o domínio considerado enquanto que o modelo ACCESS1.0 segue o mesmo comportamento de DJF e SON, i.e., superestimativa no lado oeste e subestimativa no lado leste do domínio. A partir dessa Fig. 2 pode-se concluir que os modelos HadGEM-ES e ACCESS1-0 apresentam uma maior destreza em suas simulações sobre o domínio considerado do que o modelo ACCESS1-3, que superestima os valores em até mais de 5° C sobre alguma áreas do domínio nos trimestres mais secos. Conclui-se, também, que, em geral, o modelo ACCESS1.0 é, entre os três modelos analisados, o que possui melhor destreza na simulação da temperatura no domínio de estudo.

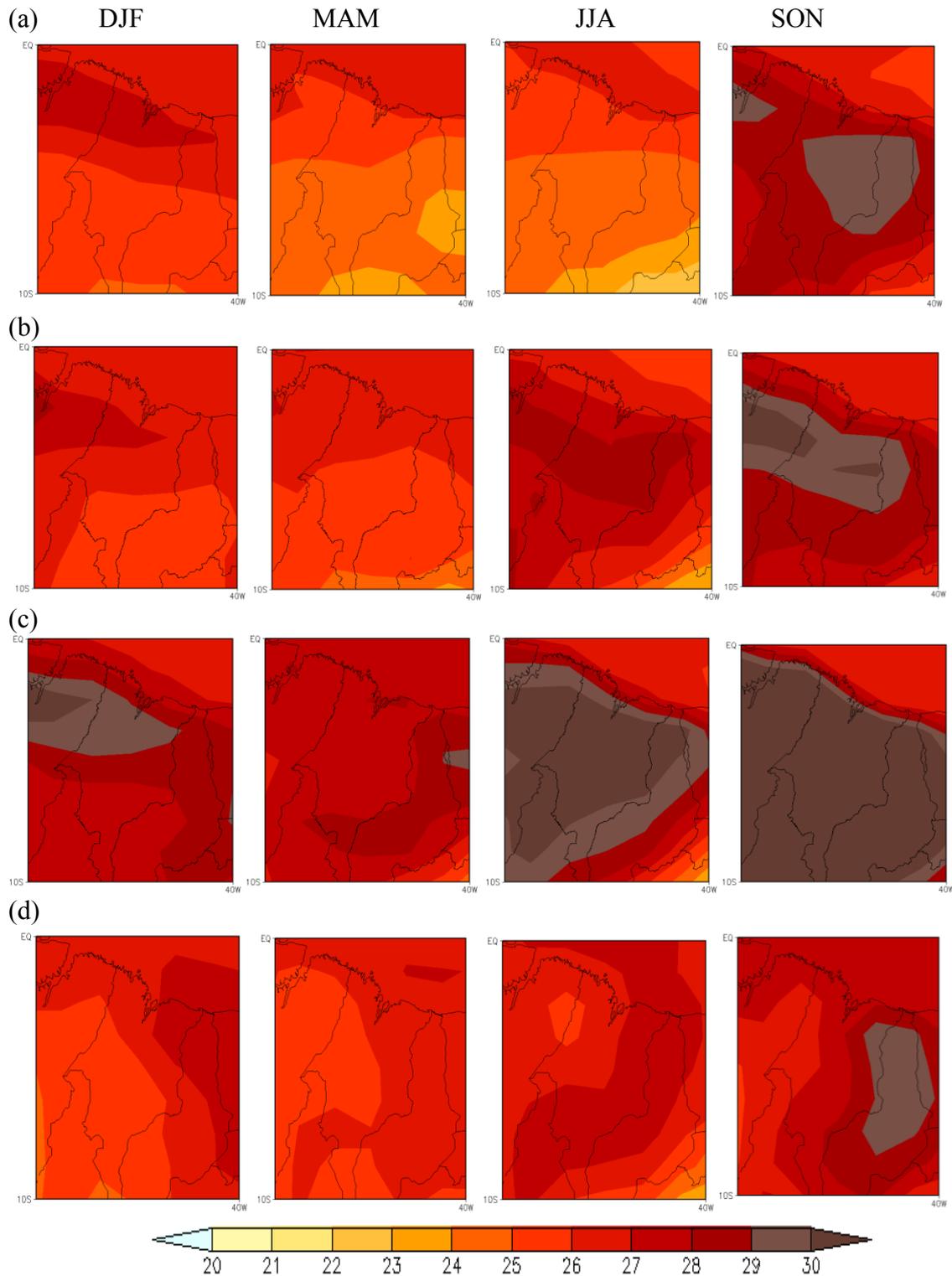


Figura 1- Médias trimestrais em DJF, MAM, JJA e SON no período de DEZ/1979 a NOV/2005 para a temperatura do ar (°C) em 1,5 m das médias dos ensembles dos modelos: (a) HadGEM2-ES (4 membros), (b) ACCESS1-0 (3 membros) e (c) ACCESS1-3 (3 membros) e da reanálise: (d) ERA-Interim. Coordenadas: latitude de 10°S a 0° e longitude de 50°O a 40°O.

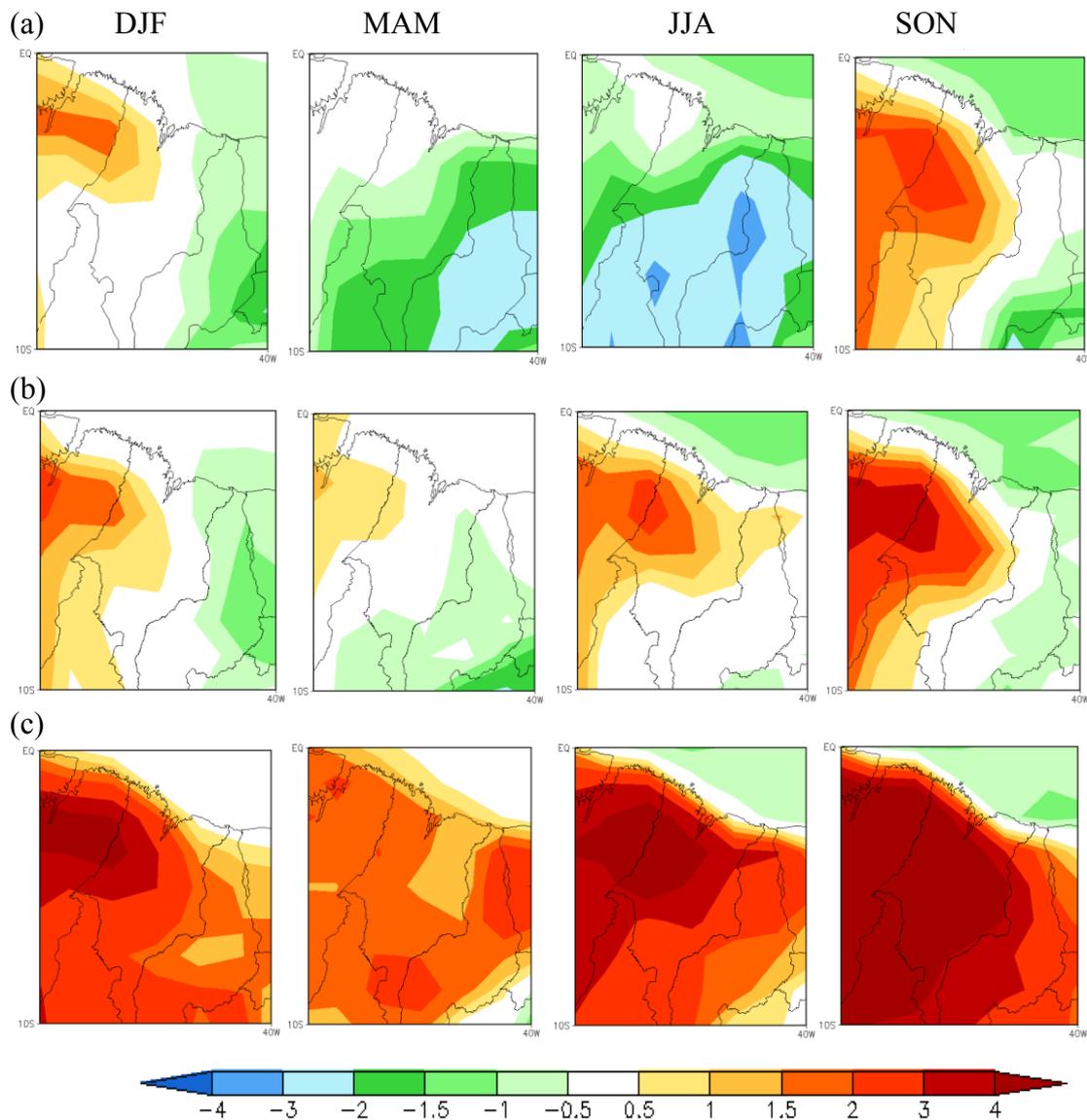


Figura 2- Diferenças em relação aos dados do ERA-Interim para temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) em 1,5 m, (para as médias trimestrais de DJF, MAM, JJA e SON no período de DEZ/1979 a NOV/2005), para a média dos ensembles dos modelos: (a) HadGEM2-ES (4 membros), (b) ACCESS1-0 (3 membros), (c) ACCESS1-3 (3membros). Coordenadas: latitude de 10°S a 0° e longitude de 50°O a 40°O .

A precipitação mostrada na Fig. 3 indica que os modelos conseguem simular o ciclo de precipitação ao longo do ano, com JJA e SON como os trimestres mais secos e DJF e MAM como os mais chuvosos. Nota-se, também, que o modelo ACCESS1.3 tende a subestimar a precipitação sobre o domínio em todos os trimestres (Fig. 3c c.f. Fig. 3d).

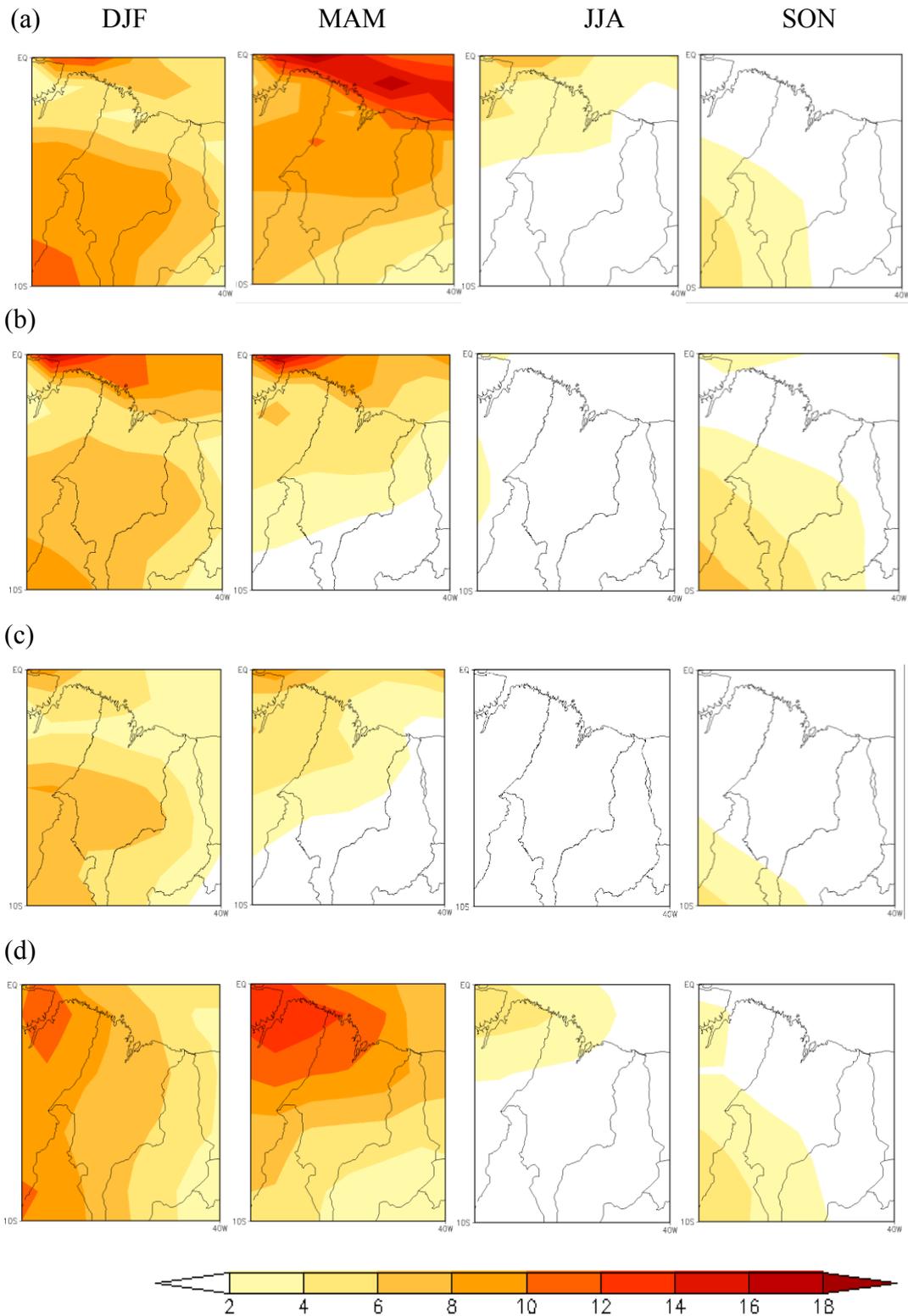


Figura 3- O mesmo que a Fig. 1 só que para a variável precipitação (mm/dia) e a série observacional GPCP (em d).

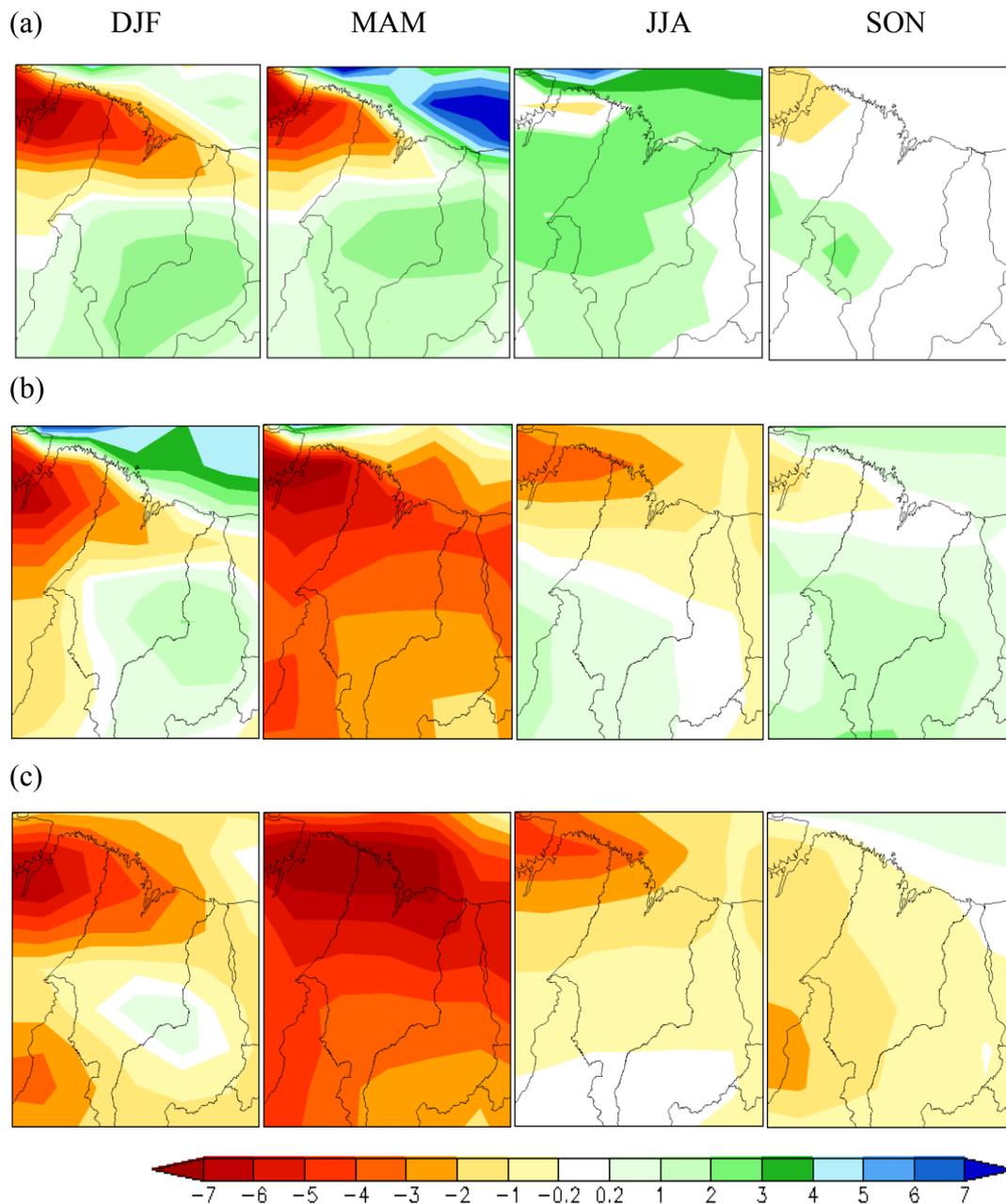


Figura 4- O mesmo que a Fig. 3 só que para a variável precipitação (mm/dia) em relação à série observacional GPCP.

Analisando-se as diferenças entre os resultados dos modelos e os dados do GPCP na Fig. 4, nota-se que a precipitação simulada pelos três modelos para DJF e MAM é subestimada sobre o nordeste do Pará e o norte dos estados do Maranhão e Piauí, numa área que inclui o CLA, Especificamente sobre o CLA, a subestimativa da precipitação é menor para o modelo ACCESS1.0 em DJF e para o modelo HadGEM2-ES no trimestre mais chuvoso MAM.

Nesse trimestre mais chuvoso, a subestimativa da precipitação pelos modelos ACCESS1.0 e ACCESS 1.3 estende-se por toda a área continental do domínio (Fig. 4: b,c), enquanto que o modelo HadGEM2-ES apresenta erros menores para a área continental nesse trimestre (Fig. 4a). Em JJA, os modelos ACCESS1.0 e ACCESS1.3 tendem a subestimar enquanto que o modelo HadGEM2-ES tende a superestimar a precipitação sobre o continente, com erros de até 4, 5 e 4 mm/dia, respectivamente, em relação aos valores fornecidos pelo GPCP. Para o trimestre SON, nota-se claramente que o modelo HadGEM2-ES é o que apresenta menores erros (Fig. 4a), sendo também o que melhor consegue simular a baixa precipitação localizada sobre o sudoeste do domínio (Fig. 3).

Em resumo, pode-se concluir que os modelos ACCESS1.0 e HadGEM2-ES simulam melhor a precipitação sobre o domínio do que o modelo ACCESS1.3. No entanto, entre os modelos ACCESS1.0 e HadGEM2-ES há diferenças de comportamento sobre o domínio dependendo da área e do trimestre considerado, sendo que, em geral, o modelo HadGEM2-ES simula melhor a precipitação para MAM e SON sobre a área continental do domínio, enquanto que o modelo ACCESS1.0 tem menores magnitudes de erro nas vizinhanças do CLA para DJF e JJA.

4. Próximas Etapas

Os próximos passos do projeto seriam a comparação do vento para os três modelos utilizados com dados de base observacional e a obtenção de resultados de outros modelos disponíveis na base de dados do IPCC para continuar a investigação em busca dos modelos que fornecem as melhores simulações para a área de interesse (CLA).

5. Conclusões

Os resultados analisados através do software GrADS indicaram que as médias dos ensembles do HadGEM2-ES e ACCESS1.0 para a temperatura em 1,5 m e a precipitação fornecem melhores simulações para a região de estudo do que a média do ensemble do modelo ACCESS1.3, que apresenta mais erros.



Para a temperatura em 1,5m sobre o domínio considerado, o modelo ACCESS1.0 parece ser uma melhor escolha, enquanto que para a precipitação esse modelo subestima bastante no trimestre mais chuvoso, no qual a simulação dessa variável pode ser particularmente importante. Uma escolha entre esses dois modelos poderia ser mais bem fundamentada acrescentando-se a análise da variável vento, que também é de grande importância para os lançamentos no CLA.

6. Divulgação dos Resultados

Os resultados desta pesquisa estão sendo submetidos para divulgação no Simpósio Internacional de Climatologia que será promovido pela Sociedade Brasileira de Meteorologia em setembro de 2017.

Referências

PEREIRA, E. I. et al. **Atlas Climatológico do Centro de Lançamento de Alcântara**. Instituto de Aeronáutica e Espaço. São José dos Campos, 2002.

NOGUEIRA, J. H. A. et al. **Sensibilidade da Precipitação Simulada na Região do Centro de Lançamento de Alcântara a Esquemas de Convecção Explícita Estudos de Caso**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2010.

ROBALLO, S. T. et al. **Escoamento Atmosférico no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA): Parte I- Aspectos Observacionais**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.23,n.4 510-519,2008.

FARIA, R. R. G. et al. **Importância do Centro de Lançamento de Alcântara para o Brasil**. Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Social. Universidade de Taubaté. Taubaté, 2014.

UNIX Tutorial for Beginners, 2001. Disponível em: <<http://www.ee.surrey.ac.uk/Teaching/Unix>>. Acesso em: 31 de outubro de 2016.



IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, Fifth Assessment Report, 2013.
Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1>>. Acesso em: 31 de outubro de 2016.

SANTOS J. G. M. **Introdução ao Grid Analysis and Display System (GrADS)**, 2014.
Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3G5LD6B>>. Acesso em: 24 de outubro de 2016.

ESGF - Earth System Grid Federation - Lawrence Livermore National Laboratory.
Livermore, Califórnia. Disponível em: <<http://pcmdi.llnl.gov/projects/esgf-llnl>>.