



Relatório Parcial

Título do projeto de pesquisa: Projeções Climáticas sob cenários futuros para a região do Centro de Lançamento de Alcântara

Bolsista: Bruna Andreлина Silva

Orientador (a): Mariane Mendes Coutinho

Período a que se refere o relatório: Agosto de 2017 a julho de 2018

Resumo

Com o objetivo de investigar as possíveis mudanças climáticas na região onde se localiza a segunda base de lançamento de foguetes da Força Aérea Brasileira, o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), foram analisadas as projeções de temperatura do ar próximo à superfície, precipitação, magnitude do vento em 250hPa e 850hPa, respeitando a resolução de cada Modelo Climático Global (MCG) e numa fase posterior, investigar as projeções com aplicação da técnica de regionalização, ao modelo RegCM4, conhecida como: *downscaling* dinâmico. Os modelos utilizados neste estudo fazem parte da 5ª fase do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (*Coupled Model Intercomparison Project - CMIP5*) e foram explorados em cada cenário de forçante climática disponível (RCP2.6; RCP4.5; RCP6.0; e RCP8.5). O estudo das condições climáticas futuras desta região é de suma importância, pois se trata de uma localidade utilizada para o lançamento de foguetes. A metodologia envolvida neste estudo se resume em detalhar as projeções sazonais futuras (2081 - 2100) com base nos modelos que melhor simulam o clima na região, num período considerado entre os anos de 1981 a 2000. Para tanto, foi feito o uso de softwares estatísticos e gráficos que permitiram a plotagem de figuras com médias sazonais e a construção de séries temporais, bem como análises estatísticas. As projeções do modelo NorESM1-M, MIROC5, IPSL-CM5A-LR e o GFDL-ESM2M foram capazes de descrever com maior acurácia a sazonalidade da precipitação, temperatura do ar, magnitude do vento em 850hPa e magnitude do vento em 250hPa, respectivamente. Porém, o modelo CanESM2 apresentou estatísticas mais satisfatórias, na média e, portanto, foi escolhido para a realização do *Downscaling* dinâmico. Os resultados apontaram diminuição generalizada das chuvas a nordeste do domínio durante, em todos os quatro cenários de emissões, nas proximidades do CLA. O

verão e o outono austrais são as estações mais afetadas. Em relação à temperatura, as projeções retratam aumento para todas as estações e para todos os cenários de emissões de gases de efeito estufa, com maiores acréscimos apontando para o sentido noroeste e em conformidade com o cenário RCP8.5. Os ventos em altos e baixos níveis não acusaram diferenças relevantes entre os cenários de emissões; em geral, o vento aumentará cerca de 4 m/s, a norte do domínio em 250 hPa, no verão e outono. Já nos meses MAM e JJA haverá decréscimo de até 1 m/s. Na baixa troposfera (850 hPa), a região do CLA sofrerá mudanças de 1 a 3 m/s em todas as estações. A técnica de *Downscaling* dinâmico foi satisfatória, pois representou características espaciais similares com as projeções do CanESM2; isso certamente ocorreu devido às influências e forçamentos de escala local que pôde ser levada em consideração após a redução de escala. Em geral, a precipitação e temperatura simulada foram maiores e oposto ocorreu para os ventos em 250 e 850 hPa.

1. Introdução

O clima é um fator limitante às atividades humanas e sofre alterações naturais com o passar dos anos. Todavia, a intensa atividade humana e consequente emissões de gases de efeito estufa vêm acelerando o processo de aquecimento do planeta, causando inúmeras perturbações no sistema climático (KRAEMER et al, 2002) [5]. Estas perturbações provocam mudanças a curto, médio e longo prazo, como por exemplo: aumento do nível médio do mar, extinção de espécies, riscos à saúde, migração ou extinção de culturas, variabilidade e aumento da temperatura média do globo (SANTOS, 2016) [9]. O Brasil, em particular, apresenta grande extensão territorial, com diversificados tipos de relevo e vegetação, e sofre atuação de vários sistemas meteorológicos de escala sinótica e meso-escala. Assim, pode ser dividido em regiões com climas distintos que, considerando-se as mudanças projetadas nos padrões de precipitação e temperatura, poderão sofrer alterações de cunho local, ameaçadoras. O Nordeste, segundo Nadai (2009) [6], é a região mais vulnerável ao aquecimento global e, portanto, é de suma importância uma análise detalhada e ampla das variáveis que ditam o clima e as atividades desta região a qual se localiza o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). O CLA está localizado no estado do Maranhão, próximo à linha do Equador (latitude: 2°18' S e longitude: 44°24' O), numa região favorável à operação de veículos espaciais (CLA, s/d) [2].



Atualmente, os modelos climáticos (MC) são as principais ferramentas disponíveis para investigar a resposta do sistema climático a diferentes forçamentos, para fazer simulações do clima em escalas de tempo que vão da sazonal à decadal e para fazer projeções de futuras alterações climáticas (BERNARDINO, 2015) [1]. Posto isso, o objetivo deste projeto é investigar possíveis mudanças climáticas futuras sobre a região do CLA com base nos resultados de modelos climáticos que disponibilizaram dados ao mais recente (quinto) relatório (*Assessment Report*) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC-AR5). Este relatório abordou três etapas. A primeira consistiu numa análise quantitativa, na qual foi possível classificar os melhores modelos para a região baseado nas simulações do período histórico e parâmetros estatísticos; a segunda etapa contemplou as análises diretas das projeções dos modelos classificados na primeira etapa; já na terceira e última fase deste proposto projeto, foi utilizada a técnica de regionalização conhecida como “*downscaling* dinâmico”, com o objetivo de detalhar, para uma maior resolução sobre a região do CLA, as informações fornecidas pelos modelos climáticos globais com melhor desempenho em simular o clima passado sobre a região. Esta, nada mais é que a utilização de dados oriundos dos modelos climáticos globais (MCG) como condição de fronteira para modelos climáticos regionais (MCR) e que atualmente é uma técnica de atual consenso entre a comunidade científica e consiste em aninhar o modelo global ao regional (Mendes e Marengo, 2009) [13]. O aninhamento de modelos globais à modelos regionais permite a incorporação de características regionais como topografia, vegetação, solo e diferenças continente-oceano não contidas nos modelos climáticos globais, tornando-os capazes de responder às forçantes de efeitos locais e de sub-escala dos modelos climáticos globais (Giorgi e Maranucci, 1991). O PBMC (2013) [11], em estudos climáticos históricos e futuros, é uma das mais adequadas ferramentas.

O modelo climático regional utilizado neste estudo foi o RegCM descrito por Grell et al. (1994) como hidrostático, compressível, por possuir coordenada vertical sigma-pressão e detalhar uma área limitada. O RegCM4, versão utilizada neste estudo, corresponde a quarta versão do RegCM, originalmente desenvolvido pelo *National Center for Atmospheric Research* - NCAR (GIORGI, 1990) [12]. A física deste MCR utiliza o *Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme* (BATS, DICKINSON et al., 1993). As projeções climáticas futuras do IPCC-AR5 foram geradas por modelos climáticos de diferentes centros e universidades do

mundo sob quatro cenários de forçantes climáticas: RCP2.6; RCP4.5; RCP6.0; RCP8.5 posto que, cada um destes cenários representa a forçante radiativa medida em W/m^2 projetada até o final do século XXI (IPCC, 2014) [4].

2. Materiais e Métodos

Os modelos acoplados globais do IPCC-AR5 utilizados foram selecionados levando-se em consideração o objetivo de realizar o *downscaling* dinâmico para a região do CLA numa terceira etapa deste projeto, conforme comentado na seção 1. Já que a regionalização será realizada através do modelo climático regional RegCM4 (*Regional Climate Model System - Version 4*), que é amplamente utilizado mundialmente para estudos climáticos, é interessante utilizar dados de modelos globais que estejam disponíveis no formato adequado para a execução do RegCM4. Dentre esses modelos, cujos dados podem ser acessados em <http://climadods.ictp.it/regcm4/>, os já examinados neste projeto estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Modelos do CMIP5 analisados neste estudo com suas respectivas instituições e resolução.

Nº	Modelo	INSTITUIÇÃO, país	Lat x Lon (Resolução)
1	CanESM2	Centre for Climate Modelling and Analysis - CCCMA, Canadá	2,791 x 2,812
2	CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques / Centre Europeen de Recherche et Formation Avancees en Calcul Scientifique - CNRM-CERFACS, França	1,401 x 1,406
3	CSIRO-Mk3.6	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization/Queensland Climate Change Centre of Excellence - CSIRO-QCCCE, Austrália	1,865 x 1,875
4	EC-EARTH	EC-EARTH consortium, Europa	1,1215 x 1,125
5	GFDL-ESM2M	Geophysical Fluid dynamycs laboratory - NOAA-GFDL, USA	2,022 x 2,5
6	HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre - MOHC, Inglaterra	1,875 x 1,25
7	IPSL-CM5A-LR	Institute Pierre-Simon laplace - IPSL, França	1,895 x 3,75
8	MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology - MIROC, Japão	1,406 x 1,389
9	MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology - MPI-M, Alemanha	1,865 x 1,875
10	NorESM1-M	Norwegian Climate Centre - NCC, Noruega	2,5 x 1,89

Como critério para selecionar o modelo mais confiável para cada variável, aplicou-se parâmetros estatísticos utilizados em estudos de caráter climatológico como: o desvio padrão médio da diferença (sigma), correlação (R) e a raiz quadrada média do erro (RQME), nos resultados apresentados no estudo “Simulações Climáticas do IPCC para a região do Centro de Lançamento de Alcântara”, realizado com bolsa PIBIC em paralelo a esta pesquisa. Os dados observados de temperatura, vento meridional e vento zonal são reanálises do Era Interim e os dados de precipitação são do *Global Precipitation Climatology Project - GPCP*. Neste relatório optou-se por exibir as mudanças projetadas cada variável de acordo com os resultados da Tabela 2, que mostra o modelo que simulou valores mais próximos aos da série de base observacional utilizada para cada variável, considerando-se apenas os modelos da Tabela 1). Tais mudanças aludem as diferenças entre os resultados obtidos pelas projeções sob cada um dos quatro cenários utilizados no IPCC-AR5 (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5, vide seção 1) no período 2081-2100 e o período final de igual duração do experimento de simulação histórica, 1981-2000. Assim, correspondem ao acréscimo ou redução em graus Celsius, milímetros por dia ou metros por segundo da temperatura, precipitação ou magnitude do vento (velocidade), respectivamente.

Para obter as séries temporais, os dados de cada modelo foram recortados com a finalidade de manter apenas o período de interesse (1981-2100), que se trata de todo o período do estudo. Logo após, coube ao software *Climate Data Operators - CDO* (Santos, 2014) [10] realizar as médias anuais e sazonais sem alterar a resolução de cada modelo. As figuras foram elaboradas utilizando-se o software *The Grid Analysis and Display System – GrADS* (Reboita, 2017) [7], com domínio entre as latitudes 10°S e 0° e as longitudes 50°O e 40°O. Dados de altura geopotencial, umidade relativa, temperatura do ar, vento meridional e zonal e temperatura da superfície do mar foram obtidos para a aplicação do *Downscaling*. A escala a que o modelo foi reduzido é de 25 km com a parametrização para convecção *Grell*, dentre as três disponíveis no RegCM4, pois em estudo anterior Silva e Silva (2012) perceberam que a previsão com a parametrização cúmulos *Grell* foi mais precisa para o Nordeste.

3. Resultados

3.1. Fase 1: Análise estatística

Circunstancialmente, houve, para cada variável, um modelo de melhor desempenho; como pode-se perceber na Tabela 1 as projeções do modelo NorESM1-M, MIROC5, IPSL-CM5A-

LR e o GFDL-ESM2M foram capazes de descrever com maior acurácia a sazonalidade da precipitação, temperatura do ar, magnitude do vento em 850hPa e magnitude do vento em 250hPa, respectivamente. Porém, a fim de diminuir o tempo computacional sem lançar mão de bons resultados, houve a necessidade de escolher um único modelo para a aplicação da regionalização. Este, foi o modelo canadense CanESM2, pois apresentou desempenho moderado para os quatro campos, na média; sendo assim, houve comum consenso e, portanto, foi utilizado como condição de contorno para a técnica de regionalização. É válido ressaltar o mal desempenho do coeficiente de correlação entre os MCG's. O RegCM4 foi iniciado com dados prognósticos () com variação temporal de 6 horas, considerando o cenário mais pessimista do IPCC, o RCP8.5.

Tabela 2 – Desempenho dos modelos baseados nas estatísticas apresentadas na seção 2 para o período histórico (1979-2005).

	Precipitação			Temperatura			Magnitude o vento em 850hPa			Magnitude o vento em 250hPa		
	σ	R	RQME	σ	R	RQME	σ	R	RQME	σ	R	RQME
CanESM2	1.03	0.53	0.95	0.26	-0.41	0.32	0.91	-0.42	1.34	1.78	0.41	2.93
CNRM-CM5	2.63	-0.83	2.31	0.23	-0.06	0.65	1.70	0.97	2.27	1.15	0.23	2.05
CSIRO-Mk3	4.39	-1.00	6.10	1.13	-0.79	1.33	2.36	-0.90	2.57	3.56	0.25	8.20
EC-EARTH	1.42	-0.38	1.24	0.71	0.39	2.24	2.26	0.79	2.72	2.56	-0.79	2.23
GFDL-ESM2M	2.27	-0.91	3.33	0.51	0.60	0.46	1.44	-0.21	1.45	0.60	-0.53	1.39
HadGEM2-ES	2.68	0.92	2.89	0.22	0.04	0.50	0.81	0.53	0.80	1.49	-0.42	2.60
IPSL-CM5A-LR	1.55	-0.57	2.41	0.56	-0.90	1.41	0.36	-0.91	0.89	3.09	0.14	3.68
MIROC5	1.93	-0.07	2.06	0.24	-0.21	0.25	0.82	-0.21	0.93	1.11	0.23	1.50
MPI-ESM-MR	2.19	-0.95	3.19	0.23	0.51	0.72	0.53	0.99	1.12	2.19	-0.36	2.24
NorESM1-M	0.86	-0.38	0.77	0.52	0.72	1.26	0.95	-0.56	0.99	1.80	0.12	2.97
Ensemble	3.21	-0.99	4.58	0.13	-0.36	0.61	0.90	-0.71	4.23	1.51	-0.70	1.55

3.2. Fase 2: Mudanças projetadas

A Figura 1 expõe as mudanças projetadas para o final do século XXI; estas foram geradas extraíndo a média sazonal histórica (1981-2000) da média sazonal projetada (2081-2100) e, não foram disponibilizados dados referente ao cenário RCP6.0 para o modelo CanESM2 o que impossibilita as análises para esta forçante.

De modo geral, todas as estações e cenários projetados mostraram diminuição da precipitação em todo o domínio do estudo; em especial, um ponto próximo ao CLA, que exibe aumento desta mesma variável na ordem de até 2 mm/dia, durante o trimestre MAM. Neste mesmo

trimestre, a leste do CLA, há diminuição significativa da precipitação (acima de 2 mm/dia). No verão austral, o aumento da precipitação fica concentrado no estado do Piauí, enquanto que no outono a diminuição da precipitação se mostra homogênea em todo o domínio. Houve pouca inconformabilidade em relação aos cenários de emissões.

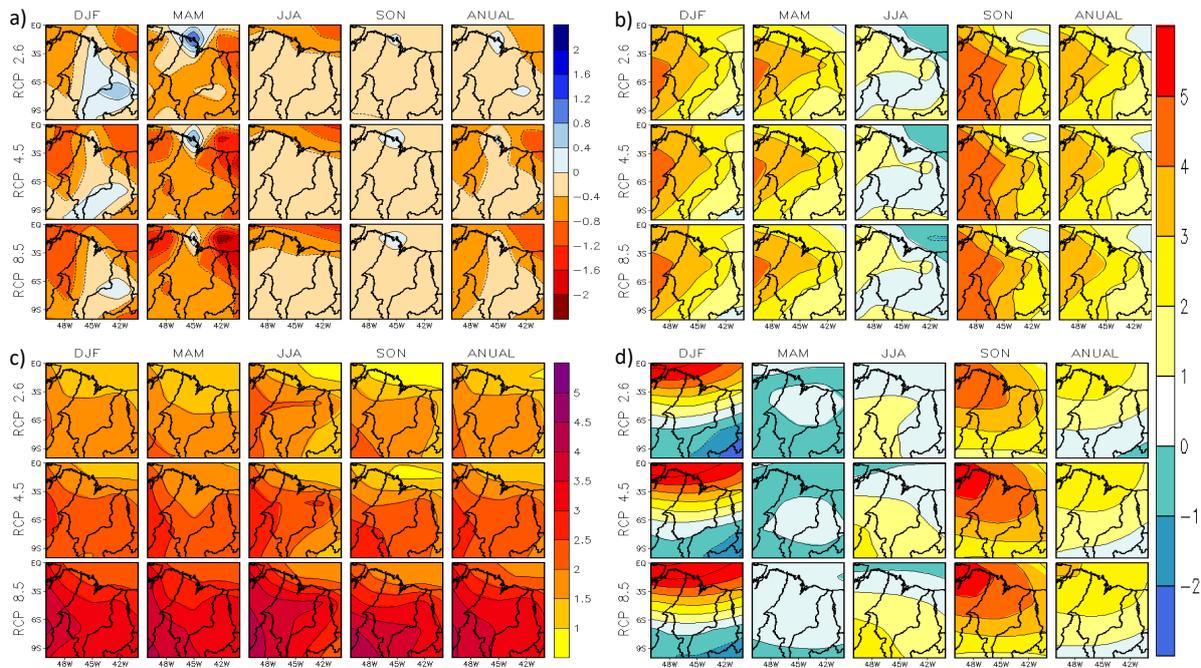


Figura 1 - Projeção da mudança na média sazonal de a) precipitação (mm/dia), b) vento em 850 hPa (m/s), c) temperatura do ar (°C) e d) vento em 250 hPa (m/s) para 2081-2100, com relação ao período histórico de 1981-2000, relativo ao modelo CanESM2 - *Ensemble r1i1p1*.

As projeções de temperatura mostraram aumento em todas as estações e em todos os cenários de emissões de gases de efeito estufa, com os acréscimos, em geral, aumentando com o aumento da forçante radiativa representada pelo cenário. Desta vez, a homogeneidade se deu entre as estações e o aumento é maior no sentido sudoeste, ou seja, em direção ao interior do país; estes aumentos chegam a atingir 5°C. Todavia, em Alcântara, os acréscimos são de 1,5°C, 2°C e 3°C para o RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5, nesta ordem.

Com respeito a velocidade do vento em 850 hPa, análogo a temperatura do ar, as projeções se mostram bem similares entre as estações e os incrementos na intensidade se mostram maiores em direção a oeste do país. Apenas durante o inverno, houve diminuição de cerca de 1 m/s a nordeste do domínio. Já no outono, a intensidade do vento alcança 5 m/s a mais do que a

média histórica. Destaca-se aqui, a semelhança entre os dois primeiros trimestres do ano (DJF e MAM), em que a mudança na intensidade do vento não ultrapassa 3 m/s sobre o CLA.

Já quanto a intensidade do vento em altos níveis (250 hPa), mais uma vez, os cenários se assemelham; no verão, o aumento se dá no sentido norte, no outono a intensidade diminuí cerca de 1 m/s quase todo o domínio, em JJA o aumento não excede 1 m/s sobre Alcântara e no trimestre SON, este aumento é de até 5 m/s, no mesmo ponto (CLA).

3.2.1. Séries temporais

Extraíu-se a média anual, de 1981 a 2100, a série temporal correspondente ao ponto onde se localiza o CLA: 2.33° de latitude e 44,41° de longitude e obteve-se a Figura 2.

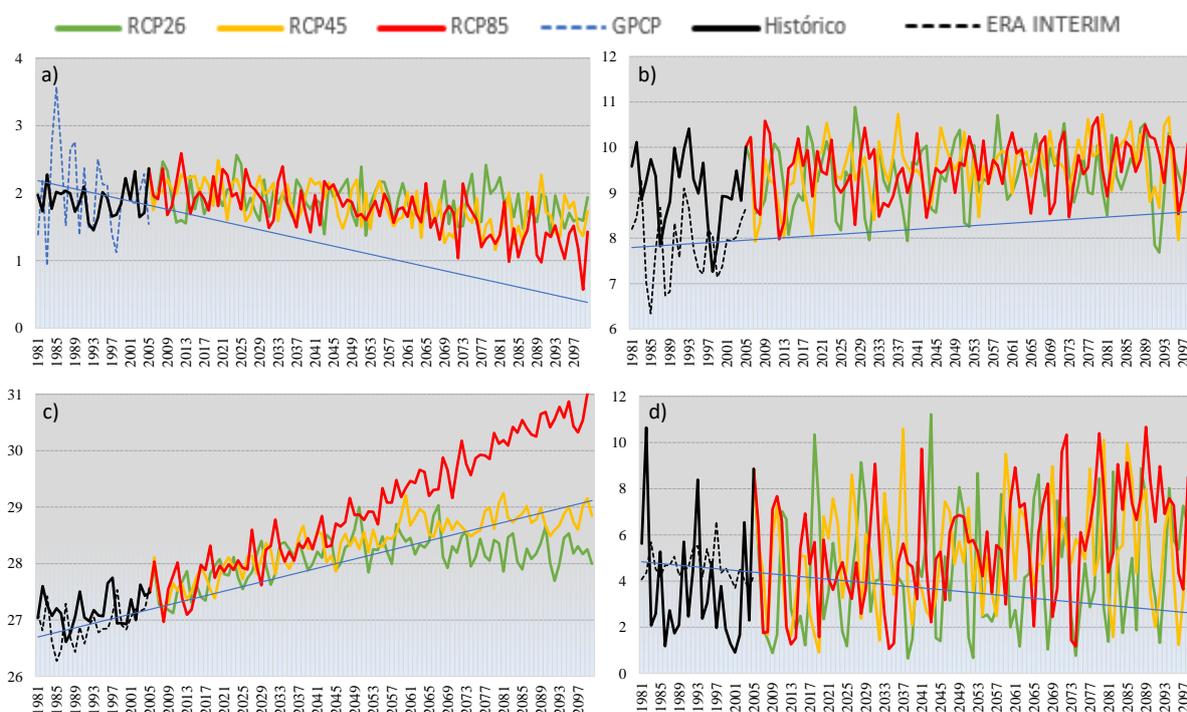


Figura 2 - Série temporal da a) precipitação (mm/dia), b) vento em 850 hPa (m/s), c) temperatura do ar (°C) e d) vento em 250 hPa (m/s) para 2081-2100, extraído da latitude 2.33° e longitude 44,41° relativo a todo o período, 1981 a 2100 (modelo CanESM2 - *Ensemble r1i1p1*).

É perceptível o desacordo entre as observações do GPCP e o dado histórico do modelo CanESM2 para a precipitação; há ainda notável oscilação quando se observa a intensidade do

vento em 250 hPa. Já para a temperatura do ar e vento em 850 hPa. O perfil da série é correlato, porém o modelo tende a superestimar estas variáveis. É bastante complexa a análise do vento em baixos e altos níveis examinando apenas a série temporal; o que se percebe é a tendência de aumento e diminuição do vento em 850 hPa e 250 hPa, respectivamente, mostrada pela série observada (Era Interim).

Tanto a precipitação quanto a temperatura do ar não expõem muita diferença entre os cenários até o meio do século. As diferenças começam a ficar perceptíveis a partir de 2050. Sobre o CLA, os cenários mostram diminuição da precipitação de até 1 mm/dia (RCP8.5) e temperatura de até 31°C (RCP8.5), nesta mesma localidade.

3.3. Fase 3: *Downcaling* dinâmico

Os padrões do *Downcaling* dinâmico estão expostos na Figura 3; nela, encontram-se as médias sazonais projetadas pelo modelo global CanESM2, a simulação gerada pelo RegCM4 e o viés, que foi calculado extraindo-se a média sazonal simulada (pós interpolação para a resolução do CanESM2) da média sazonal projetada, para o final do século XXI.

De modo geral, a técnica de regionalização representou satisfatoriamente a variação espacial e temporal. A precipitação simulada pelo RegCM4, em especial, é maior no período chuvoso (MAM) em que o viés chega a ser próximo de 6 mm/dia negativo, próximo ao CLA. A estação mais aproximada ao CanESM2 é a primavera (Figura 3a). Quanto à temperatura, no trimestre MAM foi subestimada em cerca de 2°C a leste do domínio e a oeste no trimestre DJF; nos outros trimestres a temperatura é maior se comparada ao modelo global. Observando-se o viés, pode-se verificar que em magnitude, esse incremento chega a ser maior que 2°C como mostra a Figura 3c.

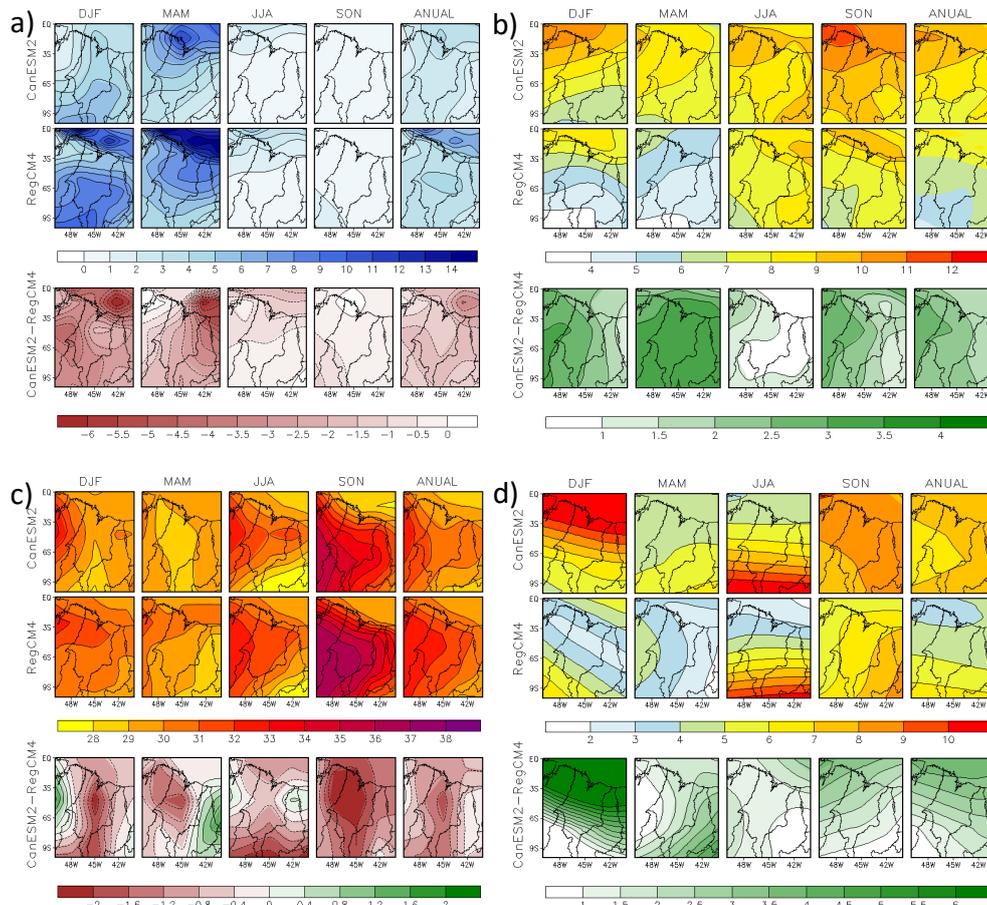


Figura 3 - Projeção da média sazonal de a) precipitação (mm/dia), b) vento em 850 hPa (m/s), c) temperatura do ar (°C) e d) vento em 250 hPa (m/s) para 2081-2100, simulação do RegCM4 com as condições de contorno do CanESM2 e o viés (CanESM2-RegCM4).

Regiões e condições de calmaria são mais adequadas para que haja o lançamento de foguetes e os resultados mostrados pela simulação do RegCM4 para a velocidade do vento denotaram valores mais tênues do que a projeção do CanESM2. O inverno foi a estação mais similar com viés baixo (1 m/s), como exibe a figura 3b e 3d. Em baixos níveis o maior viés foi para os meses MAM e em altos níveis foi para o trimestre DJF, em especial na parte norte do domínio, com valores de até 6 m/s.

4. Conclusão

As projeções e discussões referentes a temperatura precipitação, intensidade do vento em 850 hPa e 250 hPa denotaram resultados coerentes com a literatura, de modo geral. Destaca-se o

aumento da temperatura sobre a região do CLA e entorno, bem como a diminuição da precipitação. Com relação ao vento em baixos e altos níveis, é necessária uma avaliação da direção dos vetores destas variáveis. As simulações geradas pelo RegCM4 relativo ao cenário RCP8.5 mostraram variação espacial similar às projeções do modelo global CanESM2. As maiores diferenças puderam ser percebidas pelo viés e, de modo geral, houve uma superestimativa do modelo regional com relação a precipitação em todas as estações; para a temperatura, houve subestimativa no setor leste do domínio para o outono, a oeste no verão e superestimativa para os outros trimestres. Já quanto à magnitude do vento em 850hPa e 250hPa, o RegCM4 exprimiu médias sazonais menores do que às projetadas pelo CanESM2, o que de fato é mais adequado para que haja condições mais propícias à lançamento de foguetes. Todavia, aumento de temperatura acompanhada da diminuição da precipitação nesta região, já seria suficiente para acelerar os fluxos turbulentos de evaporação de massas de água, causando sérias consequências para a região, como aumento de eventos de queimada e estiagem.

5. Próximas etapas

Objetiva-se, a partir da renovação deste projeto, aplicar a técnica de *Downscaling* dinâmico com uma resolução mais acurada, sugere-se 10 km, para os cenários RCP2.6, RCP4.5 e RCP6.0. Esta técnica deverá ser aplicada pós interpolação dos dados dos MCG's para 2.5° além de teste de significância. Isso permitirá visualizar uma mesma informação dentro do domínio do estudo. Espera-se que os resultados sejam ainda mais satisfatórios

6. Agradecimentos

Registra-se aqui os melhores agradecimentos ao Instituto de Aeronáutica e Espaço - IAE pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica e ao CNPq pelo apoio financeiro que muito tem auxiliado a realizar nossas pesquisas de caráter climático. Agradeço ainda, a Dra. Mariane Coutinho pela riqueza na orientação e a bolsista Melissa Dias pela eficiente colaboração neste trabalho e a imensa ajuda e esclarecimentos prestados acerca de dúvidas, pelo aluno Vitor Hugo Marrafon da Universidade Federal de Itajubá.



Referências

- [1] BERNARDINO, Mariana; SANTO, Fátima Espirito. Identificação de metodologias para a definição de cenários climáticos no contexto das alterações climáticas no sector do turismo.
- [2] CLA. Centro de Lançamento de Alcântara. Disponível em <http://www2.fab.mil.br/cla/index.php/vantagens2>.
- [3] GUIMARÃES, O. S. et al. Projeções de Mudanças Climáticas sobre o Nordeste Brasileiro dos Modelos do CMIP5 e do CORDEX. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 3, 337-365, 2016.
- [4] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate Change 2013: The physical science basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the IPCC, Stockholm, September, 2014. 2216p.
- [5] KRAEMER, Tânia Henke et al. Modelo econômico de controle e avaliação de impactos ambientais: MECAIA. 2002.
- [6] NADAI, Fernando A. et al. Avaliação dos cenários futuros na região nordeste do Brasil utilizando modelos climáticos globais: tendências de temperatura. In: Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 3. 2009, Campinas. Anais... Campinas: ITAL: IAC; Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. 1 CD-ROM.
- [7] REBOITA, M. S. Utilização do Software GrADS em Ciências Atmosféricas. Computação Aplicada às Ciências Atmosféricas. 27 de setembro de 2017. Notas de Aula. Universidade Federal de Itajubá.
- [8] SALES, D.C.; COSTA, A.A.; SILVA, E.M.; VASCONCELOS JÚNIOR, F.C.; CAVALCANTE, A.M.B.; MEDEIROS, S.S.; MARIN, A.M.P.; GUIMARÃES, S.O.; ARAUJO JUNIOR, L.M.; PEREIRA, J.M.R. Projeções de mudanças na precipitação e



temperatura no Nordeste Brasileiro utilizando a técnica de downscaling dinâmico. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 30, n. 4, p. 435-456, 2015.

[9] SANTOS, Filipe Duarte. Alterações Globais: Os desafios e os riscos presentes e futuros. FUNDAÇÃO FRANCISCO MANUEL DOS SANTOS, 2016.

[10] SANTOS J. G. M. Introdução ao Grid Analysis and Display System (GrADS), 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3G5LD6B>>. Acesso em: 18 de outubro de 2017.

[11] PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo – Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. PBMC, Rio de Janeiro, v. 1, 2013. 24 p.

[12] GIORGI, F.; MARANUCCI, M. R. Validation of a regional atmospheric model over Europe: Sensivity of wintertime and summertime simulations tom selected physics parameterizations and lower boundary conditions. Quarterly Royal Journal of Meteorological Society, Londres, v.117, p.1171-1207. 1991.

[13] MENDES, DAVID; MARENGO, JOSE A. Métodos Meteorológicos de Downscaling com Modelos de Redes Neurais Artificiais: Projeto América do Sul. v. 100, n. 3-4, p. 413-421,2010