

Avaliação das projeções para a sazonalidade da precipitação dos modelos do IPCC-AR4 para o cenário A1B sobre o Nordeste brasileiro

Cleiton da Silva Silveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)
cleitonsilveira16@yahoo.com.br
Francisco de Assis de Souza Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

ABSTRACT

The projections of rainfall provided by global models in the fourth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) for the A1B scenario are assessed for the Brazilian Northeast as the changes in seasonality. The assessment consists of the calculation of precipitation anomalies in all models for the periods from 2010 to 2039, from 2040 to 2069 and from 2070 to 2099 in relation to the 20C3M scenario simulations during the period from 1901 to 1999. The models agree that there will be no abrupt changes in the percentage contribution in the amount of monthly rainfall annually, with anomalies reaching a maximum of 7% in the rainy season and 2% in the dry season. The average of the models in the three periods shows a slight intensification in the pre-season and in the rainy season. The BCCR_BCM2_0 and CNRM_CM3 models indicate an increase in rainfall in the months December-January-February. On the other hand, the MIROC3_2_MEDRES and UKMO_HADCM3 models indicate significant reductions in virtually all year.

Keywords: IPCC-AR4, SERES A1B and precipitation.

1. INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro (NEB) apresenta clima semiárido com intensa variabilidade temporal e espacial de chuvas (Molion e Bernardo, 2002; Albuquerque et. al, 2009). Essa complexidade torna a região vulnerável as condições de tempo e clima, que são associadas a significativos impactos sociais e econômicos em diversos setores, conforme descritos em, por exemplo, Souza Filho e Moura (2006). Desta forma, torna-se relevante para o desenvolvimento de políticas públicas a identificação das alterações na ocorrência do clima nesta região.

A demanda por energia tem crescido muito nos últimos anos (Hinrichs e Kleinbach, 2003), que por sua vez tem sido obtida principalmente a partir de combustíveis fósseis. Essa utilização intensa dos materiais energéticos fósseis aliados à agricultura extensiva, dentre outros fatores, têm resultado num acréscimo mensurável da concentração de gases estufas na atmosfera (IPCC, 2007(a)).

Desde os meados do século XVIII há um evidente aumento gradual da temperatura global (Hinrichs e Kleinbach, 2003), algo que pode ser causado pela flutuação natural desta grandeza. Tais flutuações têm ocorrido naturalmente durante milhões de anos ou, por vezes, mais bruscamente, em décadas ou sazonalmente. Essas flutuações podem estar associadas, por exemplo, aos padrões de variação nos Oceanos Pacífico e Atlântico (Grimm et al., 2000, Kane, 1992, Nobre e Shukla, 1996), como a variabilidade interanual associada ao El Niño Oscilação Sul (ENSO), ou à variabilidade decadal do Pacífico. Porém, é mais provável que a alteração da temperatura planetária das últimas décadas seja provocada pelas alterações na composição química da atmosfera, devido basicamente a emissão de gases estufas da atividade humana (IPCC, 2007(a)).

Esse aquecimento planetário das últimas décadas, e as modificações nos campos de diversas variáveis meteorológicas, incluindo a precipitação, é associado a ocorrências de Mudanças Climáticas (Marengo e Valverde, 2007; Marengo e Soares, 2005). Estas têm sido alvo de discussões e pesquisas científicas em todo mundo com vistas ao entendimento de sua

ocorrência (IPCC, 2007(a); Nobre, 2005), assim como a identificação e a avaliação dos possíveis impactos ambientais, sociais e econômicos (IPCC, 2007(b)) e a elaboração de medidas que minimizem as consequências adversas das mesmas.

Desde 1988, quando foi criado IPCC, cientistas vinculados aos principais centros de pesquisa em clima reúnem-se para publicar relatórios sobre os possíveis cenários de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera e os impactos nas diversas variáveis climáticas. Até o momento, foram publicados quatro relatórios: em 1990 em Sundsvall (Suécia), 1995 em Roma (Itália), 2001 em Acra (Gana) e 2007 em Paris (França).

O quarto relatório fornecido pelo IPCC, divulgado em fevereiro de 2007, confirma a projeção de aumento da temperatura média da atmosfera. Embora exista uma discrepância em torno dos valores absolutos dos modelos do IPCC para esse aumento na temperatura, todos concordam que haverá aumento na temperatura média global (IPCC, 2007(a)).

Alguns autores avaliaram as tendências da precipitação em algumas regiões, por exemplo, em Vera et al. (2006) foram utilizados 6 modelos globais para os cenários A1B do IPCC, e identificaram as discrepâncias na posição e intensidade das ZCAS, o que se reflete diretamente na quantidade de chuva sobre as bacias da Amazônia e da Prata. Para cenários futuros (2070-2099) os resultados mostraram o aumento da chuva de verão sobre o norte dos Andes e sudeste da AS, e a diminuição desta ao longo do sul dos Andes chilenos e argentinos em todas as estações. Além disso, Mello et.al(2008), estimou a tendência de variação da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Rio Paracatu, considerando dois cenários de mudanças climáticas do IPCC, A2 e B2, utilizando as simulações do modelo de circulação geral do *Hadley Centre* (HadCM3). Verificou que havia tendência de aumento na disponibilidade hídrica para o cenário A2 variando de 31% a 131% até 2099. Para o cenário B2, não foi verificada nenhuma tendência significativa.

O objetivo deste trabalho é estimar e avaliar as anomalias na sazonalidade da precipitação para o Nordeste Setentrional brasileiro para o cenário A1B.

2.METODOLOGIA

2.2.Região de Estudo

Utilizou-se uma grade de 0° a 10°S de latitude e 33°W a 44°W de longitude sobre o Nordeste Setentrional Brasileiro assim como uma porção do Oceano Atlântico, conforme mostra a Figura 1.

O nordeste brasileiro possui um ciclo anual bem definido, onde predominam duas estações distintas: a estação de chuva e a estação seca. A estação de chuva concentra-se entre dezembro e julho, e subdivide-se em pré-estação chuvosa (dezembro e janeiro) e os principais sistemas causadores de chuva são: a proximidade das frentes frias e os vórtices ciclônicos de ar superior. A quadra chuvosa compreende os meses de fevereiro, março, abril e maio e tem a zona de convergência intertropical-ZCIT como principal sistema causador de chuva seguido de sistemas secundários tais como: linhas de instabilidade, complexos convectivos de mesoescala e efeitos de brisas. Os meses de junho e julho são considerados pós-estação chuvosa e os sistemas causadores de chuva são as ondas de leste e os complexos convectivos de mesoescala. No segundo semestre a ocorrência de chuva é pequena, há um predomínio de altas pressões atmosféricas e uma quase total ausência de fenômenos atmosféricos causadores de chuva, por isso chamamos de estação seca. O Nordeste setentrional apresenta grande variabilidade de chuvas com regiões com precipitação de 500mm/ano e outras com mais de 1400mm/ano, Souza Filho (2003).

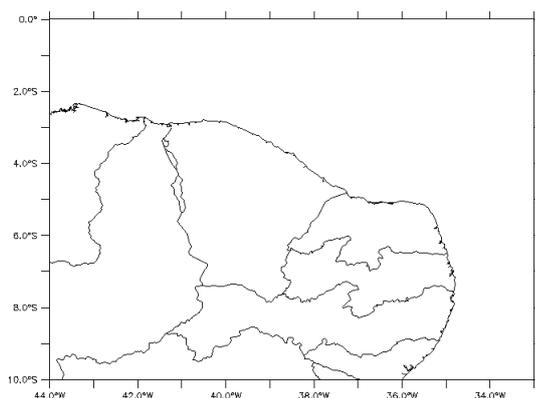


Figura 1- Região de estudo, Nordeste Setentrional brasileiro e parte do Oceano Atlântico.

2.2. Modelos do IPCC

Os dados provenientes do IPCC são resultados de simulações de modelos globais de alguns centros de pesquisa que contribuíram para esse relatório (conforme Tabela 1), forçadas pelas concentrações observadas de gases de efeito estufa durante o século XX (simulações 20C3M) e cenários para os séculos XXI e XXII.

Tabela 1- Modelos de circulação geral do IPCC.

Designação do Modelo	Instituição ou Agência; País
BCC-CM1	<i>Beijing Climate Center; China</i>
BCCR-BCM2	<i>Bjerknes Centre for Climate Research, Universidade de Bergen; Noruega</i>
CCCMA-CGCM3 1-T47	<i>Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis; Canadá</i>
CCCMA-CGCM3 1-T63	<i>Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis; Canadá</i>
CNRM-CM3	<i>Centre National de Recherches Meteorologiques, Meteo France; França</i>
CONS-ECHO-G	<i>Meteorological Institute of the University of Bonn (Alemanha), Institute of KMA (Correia do Sul), and Model, and Data Group</i>
CSIRO-MK3	<i>CSIRO; Austrália</i>
CSIRO-MK3.5	<i>CSIRO; Austrália</i>
GFDL-CM2.0	<i>Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA; Estados Unidos</i>
GFDL-CM2.1	<i>Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA; Estados Unidos</i>
INM-CM3.0	<i>Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Science; Rússia</i>
INGV-SXG2005	<i>National Institute of Geophysics and Volcanology; Itália</i>
IPSL-CM4	<i>Institut Pierre Simon Laplace (IPSL); França</i>
LASG-FGOALS-G1.0	<i>LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, P.O. Box 9804, Beijing 100029; China</i>
MPIM-ECHAM5	<i>Max Planck Institute for Meteorology; Alemanha</i>
MRI-CGCM2.3.2	<i>Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency; Japão</i>
NASA-GISS-AOM	<i>Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos</i>
NASA-GISS-EH	<i>Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos</i>

NASA-GISS-ER	<i>Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos</i>
NCAR-CCSM3	<i>National Center for Atmospheric Research (NCAR); Estados Unidos</i>
NCAR-PCM	<i>National Center for Atmospheric Research (NCAR), NSF, DOE, NASA, e NOAA; Estados Unidos</i>
NIES-MIROC3.2-HI	<i>CCSR/ NIES/ FRCGC; Japão</i>
NIES-MIROC3.2-MED	<i>CCSR/ NIES/ FRCGC; Japão</i>
UKMO-HADCM3	<i>Hadley Centre for Climatic Prediction and Research, Met Office; Reino Unido</i>
UKMO-HADGEM1	<i>Hadley Centre for Climatic Prediction and Research, Met Office; Reino Unido</i>

2.2.1 Cenário A1B do IPCC

O cenário A1 destaca um rápido crescimento econômico na primeira metade do século XXI associado com um declínio na segunda metade e a inserção de novas tecnologias (IPCC,2007(a)). A família A1 se divide em três grupos:

- A1F: aprimoramento da tecnologia com ênfase nos combustíveis fósseis;
- A1T: evolução da tecnologia a base de combustíveis não fósseis;
- A1B: sugere um equilíbrio entre as diversas fontes de energia.

Este último sugere um pico das emissões de gases estufa na metade do século XXI, seguido por uma tendência de redução na segunda metade do século XXI.

2.3. Cálculo das anomalias

Para o cálculo das anomalias sazonais são consideradas as projeções fornecidas pelos modelos globais do IPCC para o cenário A1B nos períodos de 2010 a 2039, 2040 a 2069, 2070 a 2099 e 2100 a 2199. Em seguida é feita uma comparação relativa à representação dos modelos para o cenário 20C3M (este cenário indica como os modelos do IPCC representam os padrões de variação do século XX) no período de 1901 a 1999.

A primeira análise corresponde identificação das anomalias da contribuição da precipitação mensal nos totais anuais. A princípio é feita a climatologia dos modelos do IPCC-AR4 para o cenário 20C3M e em seguida comparada com os quatro períodos selecionados do cenário A1B. O cálculo desta anomalia é dado por:

Para o cálculo das anomalias é calculado a climatologia dos respectivos cenários e períodos e em seguida é calculado a diferença entre contribuição percentual mensal em relação às chuvas anuais dos cenários A1B e a mesma medida para o cenário 20C3M, indicada conforme a equação 1:

$$A_{CM}^i = \frac{100 \cdot P_{A1B}^i}{\sum_{i=1}^{12} P_{A1B}^i} - \frac{100 \cdot P_{20C3M}^i}{\sum_{i=1}^{12} P_{20C3M}^i} \quad (1)$$

Onde i são meses, P_{A1B}^i a precipitação do cenário A1B para o mês i , P_{20C3M}^i a precipitação do cenário 20C3M para o mês i e A_{CM}^i a anomalia da contribuição percentual mensal. Critério esse também usado para fazer a avaliação das variações ou mudanças nas estações do ano (divisão por trimestre).

Foram analisados também o aumento absoluto (em mm) e percentual mensal na climatologia do cenário A1B em relação à climatologia do cenário 20C3M, dado pelas equações 2 e 3, respectivamente:

$$A^i = P_{A1B}^i - P_{20C3M}^i \quad (2)$$

$$A_{\%}^i = \left(\frac{P_{A1B}^i - P_{20C3M}^i}{P_{20C3M}^i} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Além disso, também foi calculado o aumento na média anual, dado pela diferença entre a média anual do cenário A1B e média anual do cenário 20C3M, conforme equação 4:

$$A_{\text{anual}} = P_{A1B}^a - P_{20C3M}^a \quad (4)$$

Onde P_{A1B}^a é média da precipitação anual para o cenário A1B e P_{20C3M}^a é a média da precipitação anual para o cenário 20C3M.

2.4. Ensemble médio (EM) e Ensemble médio ponderado (EM_p)

A forma mais simplificada de obter informações de um conjunto de modelos é o ensemble médio, que consiste em calcular a média das previsões ou projeções considerando-se que todos os membros possuam a mesma probabilidade de representarem o estado futuro da atmosfera. Neste caso, estimou-se a anomalia através da média das anomalias de todos os modelos.

O ensemble médio é dado por:

$$EM = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^{m=N} F_m \quad (5)$$

onde m é o modelo, N é o número de membros do conjunto e F_m são as previsões ou projeções de cada membro (neste caso a anomalia de cada modelo do IPCC).

O ensemble médio em geral fornece uma previsão melhor que a de cada elemento (Tracton e Kalnay, 1993), já que alguns erros nas previsões individuais devem se cancelar na média, desde que o conjunto represente adequadamente a incerteza associada à condição inicial.

Contudo, o ensemble médio tem a desvantagem que as previsões geradas por alguns membros apresentam erro maior em relação aos outros membros e isto pode levar a média a resultados mais distantes da do estado real futuro da atmosfera. Uma maneira de minimizar este problema é utilizar pesos diferentes para cada membro do ensemble.

No caso específico dos modelos do IPCC, é atribuído maior peso aquele que representou de maneira mais adequada os padrões de variação sazonal do século XX, conforme Silveira et.al (2011), sendo chamado de ensemble médio ponderado (EM_p). Silveira et. al(2011) avaliou a sazonalidade dos modelos do IPCC para o cenário 20C3M e propôs um variável de avaliação (AVAL) que varia entre 0 e 1 de acordo com o desempenho do modelo na representação do século XX. Estes valores indicam, respectivamente, o pior entre os modelos avaliados e o melhor deles. O ensemble médio ponderado ou média ponderada dos modelos é dado pela equação 6:

$$EM_p = \frac{\sum_{m=1}^{m=N} (AVAL_m) \cdot F_m}{\sum_{m=1}^{m=N} (AVAL_m)} \quad (6)$$

3.RESULTADOS

Na figura 2 são mostradas as anomalias da contribuição percentual da chuva mensal em relação a média anual, para os períodos de 2010 a 2039, 2040 a 2069 e 2070 a 2099. Os modelos concordam que não haverá mudanças tão bruscas na contribuição percentual da chuva de cada mês no valor anual, com as anomalias atingindo no máximo 7% na estação chuvosa e 2% na estação seca. Apesar disso, há uma razoável dispersão dos modelos nos meses da estação chuvosa na região, de dezembro a julho, mostrando certa incerteza para a sazonalidade da precipitação. Há também uma intensificação dos comportamentos mais marcantes da maioria dos modelos IPCC na projeção de 2070 a 2099.

A média dos modelos do IPCC não indica mudanças significativas na contribuição percentual dos meses para a região estudada. Porém, no período de 2040 a 2069 mostram um sensível aumento na contribuição do mês de maio e uma redução no mês de junho. Já no período de 2070 a 2099 a média indica um aumento na contribuição dos meses de dezembro a abril.

Os modelos BCCR_BCM2_0, CNRM_CM3, IPSL_CM4, MIUB_ECHO_G e MRI_CGCM2_3_2A apontam para um possível aumento da contribuição percentual das chuvas em novembro-dezembro-janeiro, associados a comportamentos distintos nos demais meses. O modelo IPSL_CM4 especificamente aponta para uma redução da contribuição do trimestre fevereiro-março-abril, sugerindo um maior incremento de contribuição da pré-estação nas chuvas anuais.

Enquanto os modelos MIROC_MEDRES3_2 e UKMO_HADGEM1 apontam para um possível aumento da contribuição dos meses de março-abril-maio, associados a reduções na pré-estação.

Os modelos GISS_MODEL_E_H e MPI_ECHAM5 apontam para uma maior contribuição dos meses de janeiro-fevereiro-março. Este último apresenta redução considerável em novembro-dezembro.

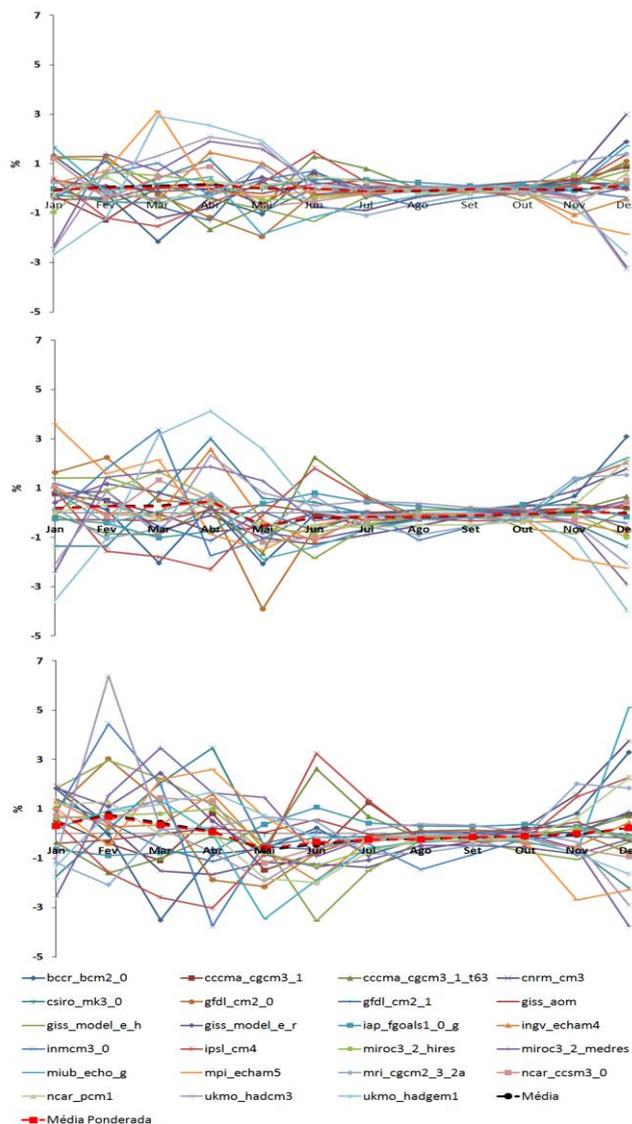


Figura 2 – Anomalia da contribuição percentual de chuvas mensais na média anual para os períodos: (a)2010 a 2039; (b)2040 a 2069 e (c) 2070-2099. Para o cálculo das anomalias foi considerado o período de 1901 a 1999.

Na figura 3 são mostradas as anomalias da precipitação da climatologia dos modelos do IPCC para os períodos de 2010 a 2039, 2040 a 2069 e 2070 a 2099. A maioria dos modelos do IPCC não indica mudanças significativas no primeiro período, com grande parte dos modelos com variações entre -20 mm e 20 mm. A média dos modelos do IPCC nos três períodos aponta para uma leve intensificação da pré-estação e da quadra chuvosa.

Os modelos BCCR_BCM2_0 e CNRM_CM3 apontam para aumento das precipitações nos meses de dezembro-janeiro-fevereiro. Enquanto o modelo MIROC3_2_MEDRES e UKMO_HADCM3 indicam reduções significativas na precipitação em praticamente todo o ano.

Já o modelo IPSL_CM4 indica aumento em praticamente todos os meses, chegando a 50 mm em todos os meses da estação chuvosa no período de 2070 a 2099. Enquanto o modelo GFDL_CM2_0 indica reduções no principal trimestre da estação chuvosa, março-abril-maio.

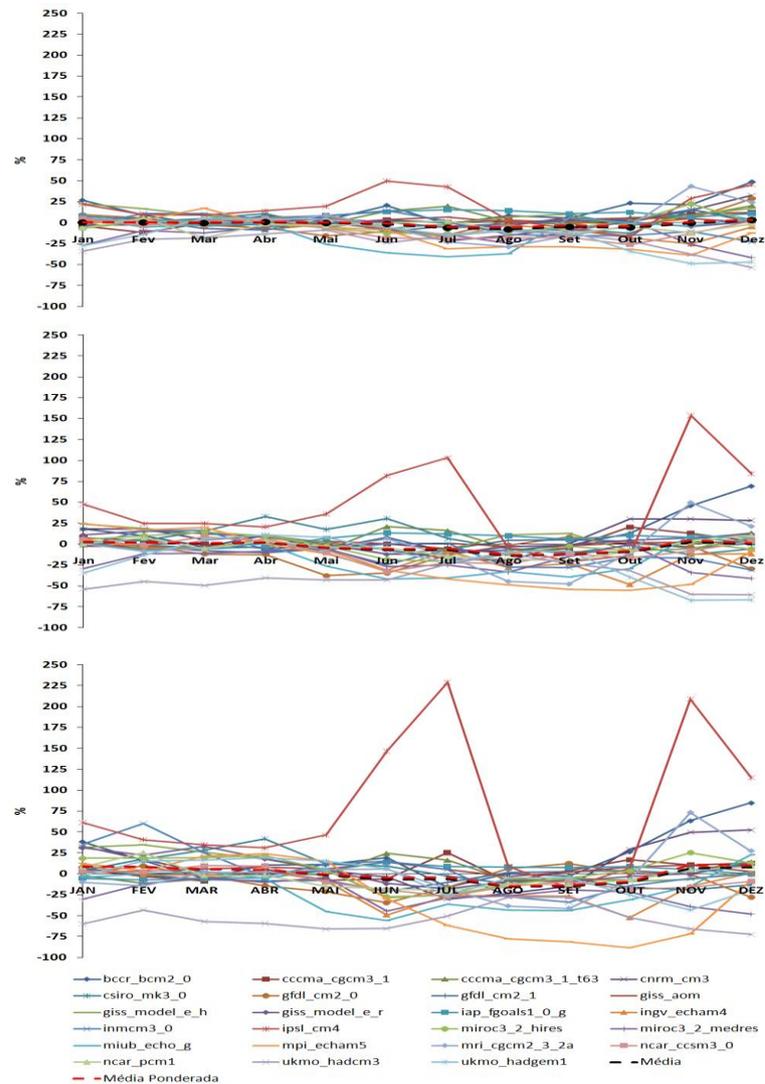


Figura 3- Anomalia das precipitações mensais para os períodos: (a)2010 a 2039; (b)2040 a 2069 e (c) 2070-2099. Para o cálculo das anomalias foi considerado o período de 1901 a 1999.

Na figura 4 a anomalia da precipitação do cenário A1B em relação ao cenário 20c3m em milímetros. Alguns modelos apresentam anomalias bem suaves no período de 2010 a 2039 e mudanças mais significativas nos outros períodos, indicando que mudanças climáticas podem acontecer em um horizonte superior a 30 anos. Por exemplo, os modelos CSIRO_MK3_0 e GISS_MODEL_E_R indicam pequenas flutuações no período de 2010 a 2039, enquanto nos demais períodos avaliados do século XXI apresentam maiores médias mensais no trimestre fevereiro-março-abril. Já o modelo GISS_MODEL_E_H também apresenta uma intensificação das chuvas nos meses de dezembro a abril, nos dois últimos períodos do século XXI.

O modelo mri_cgcm2_3_2a apresenta apenas pequenas flutuações, com um pequeno aumento das chuvas em novembro e dezembro. Enquanto o MPI_ECHAM5 indica redução nesses meses e aumentos principalmente em fevereiro e março.

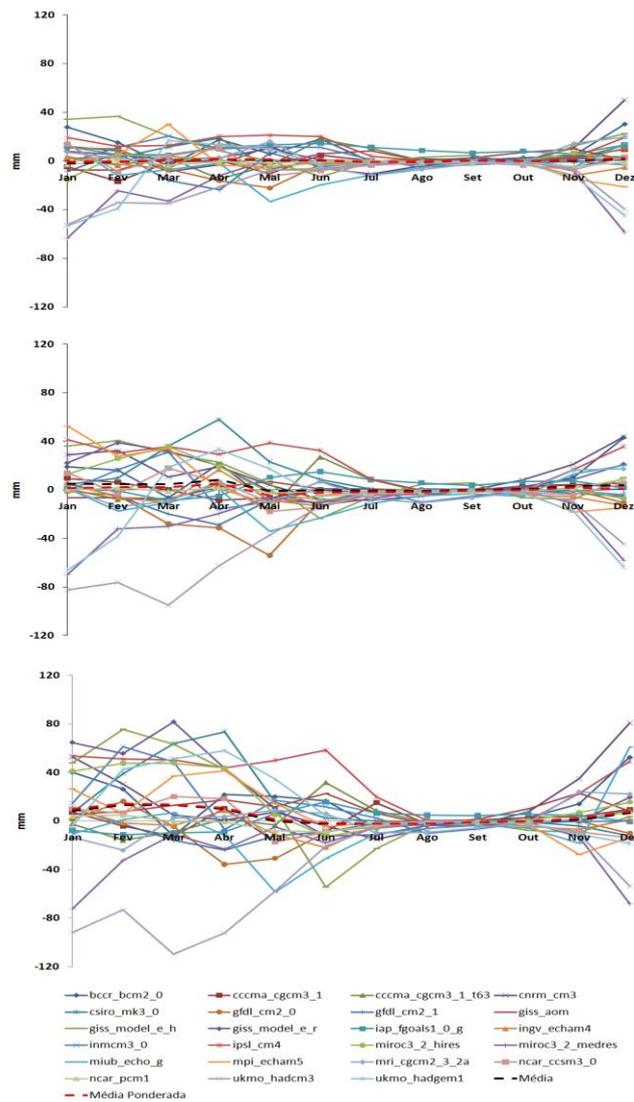


Figura 4- Anomalia das precipitações mensais para os períodos: (a)2010 a 2039; (b)2040 a 2069 e (c) 2070-2099. Para o cálculo das anomalias foi considerado o período de 1901 a 1999.

Na figura 5 são mostradas as anomalias na média anual dos modelos do IPCC do cenário A1B em relação ao cenário 20C3M. Os modelos apresentam divergência quanto a possível anomalia da média anual dos três períodos do século XXI, essa dispersão fica mais evidente no período de 2070 a 2099 onde o modelo IPSL_CM4 aponta para um aumento superior a 50% enquanto o modelo ukmo_hadcm3 indicou uma redução de aproximadamente 58%.

A média e a média ponderada dos modelos indicam uma redução de aproximadamente 1% nos dois primeiros períodos analisados, enquanto no período de 2070 a 2099 sugerem um aumento de aproximadamente 4%.

O modelo MRI_CGCM_2_3_2a aponta para uma anomalia de aproximadamente 3% na média anual entre 2010 e 2039, enquanto no período de 2040 a 2069 indica redução de 1% e aumento de 0,34% no terceiro período do século.

Os modelos BCCR_BCM_2_0, CNRM_CM3, CSIRO_MK3_0, GISS_MODEL_E_H, GISS_MODEL_E_R e IPSL_CM4 indicam aumento percentual da precipitação anual nos três períodos do século XXI. Enquanto os modelos GFDL_CM2_0, GFDL_CM2_1, INGV_ECHAM4, MIROC3_2_MEDRES, MIUB_ECHO_G e UKMO_HADCM3 indicam redução da média anual nos três períodos.

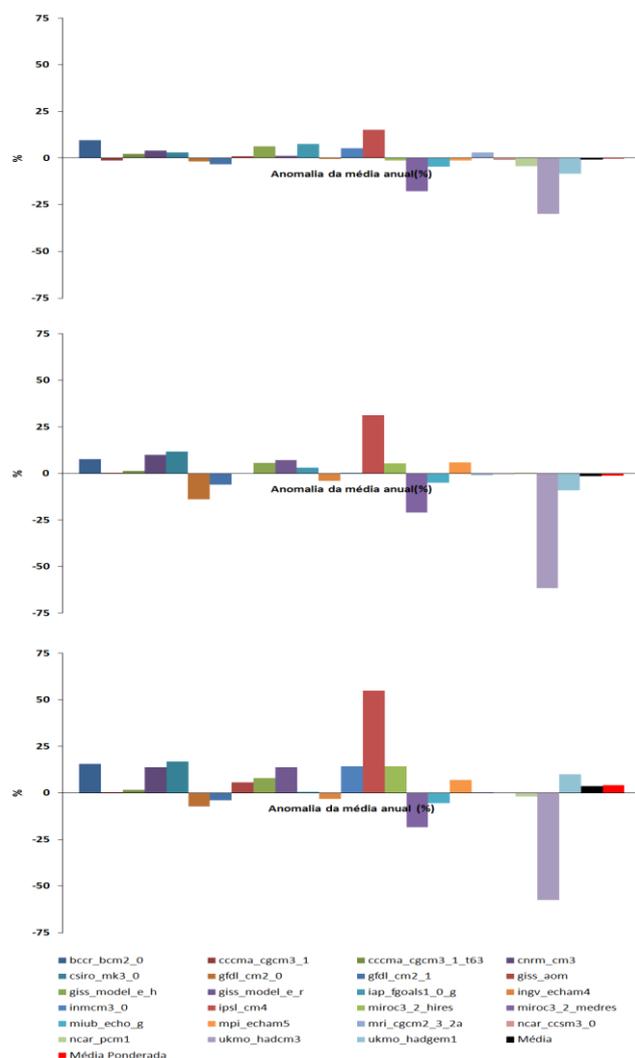


Figura 5 – Aumento na média anual do cenário A1B em relação ao cenário 20C3M: (a)2010-2039;(b)2040-2069 e (c) 2070-2099.

Na figura 6 são mostrados os padrões de anomalia para o período de 2100 a 2199 pelos modelos do IPCC/AR4 em relação ao período de 1901 a 1999.

A média e a média ponderada dos modelos indicam um aumento inferior a 1% da contribuição percentual anual nos meses de dezembro-janeiro-fevereiro-março associados a aumentos percentuais superiores a 5% nesses meses, em torno de 15 mm/mês nesses meses.

O modelo IPSL_CM4 indica aumento na precipitação em praticamente todos os meses do ano, principalmente nos meses da pré-estação (até 50 mm/mês) e pós-estação(até 60mm/mês) chuvosa onde as anomalias atingem valores superiores a 100%, isto implicou em uma anomalia na média anual de aproximadamente 55% . Este modelo indicou uma redução da contribuição da estação chuvosa e um aumento na contribuição percentual da pré-estação e pós-estação de até 3,5%.

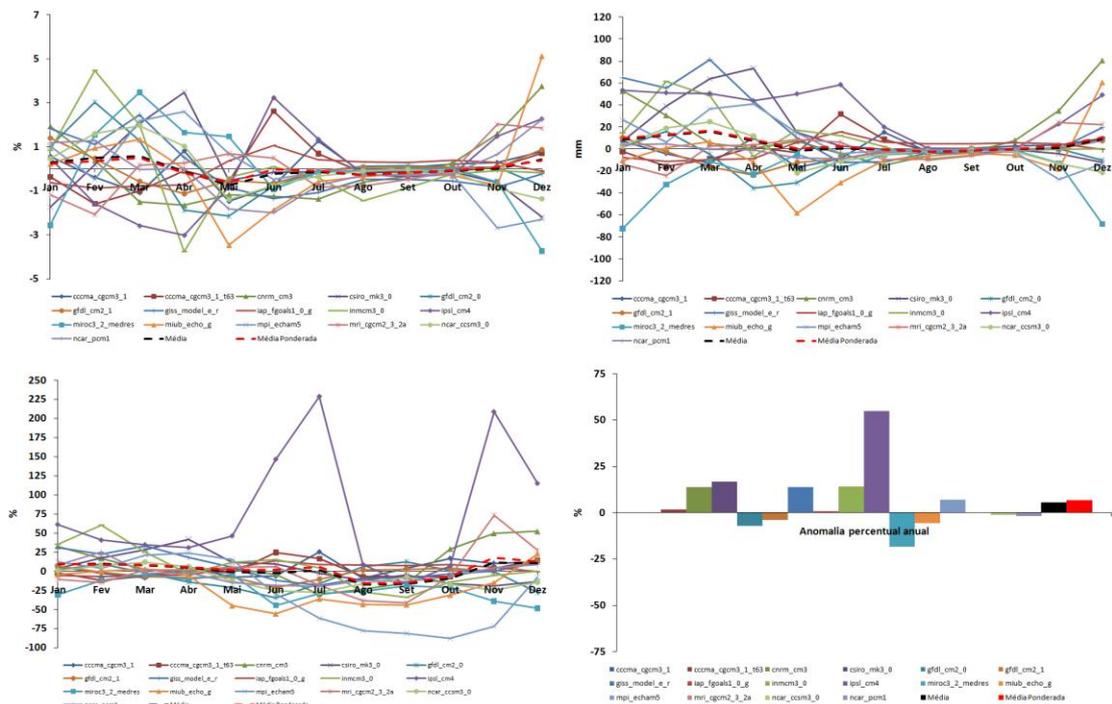


Figura 6 – Anomalia do Cenário A1B em relação ao cenário 20C3M no período de 2100 a 2199: (a) – Anomalia da contribuição percentual de chuvas mensais na média anual para os períodos; (b) - Anomalia das precipitações mensais (%);(c) Anomalia das precipitações mensais(mm);(d) Aumento na média anual do cenário A1B em relação ao cenário 20C3M.

A figura 7 mostra a anomalia percentual do trimestre DJF para o cenário A1B de 2010 a 2039 em relação ao cenário 20C3M no período de 1901 a 1999. A média e média ponderada dos modelos apresentaram projeções com anomalias inferiores a 20% em praticamente todo o domínio avaliado, estimando, portanto, que não haveria mudanças significativas no trimestre DJF durante o período de 2010 a 2039.

Os modelos BCCR_BCM2_0, CSIRO_MK3_0 e IPSL_CM4 apresentam uma intensificação do trimestre DJF superior a 30% em praticamente todo o domínio avaliado. Enquanto os modelos CCCMA_CGCM3_1_T63, GFDL_CM2_0 e MRI_CGCM2_3_2A indicam uma redução superior a 30% em praticamente todo o domínio avaliado.

O modelo MIROC3_2_HIRES estima uma redução superior a 50% da precipitação sobre o leste do NEB, aliado a um aumento superior a 150% na região litorânea do Piauí e Maranhão. Outros modelos apresentaram comportamento semelhante a este, apesar de menos evidente, por exemplo, o NCAR_CCSM3_0, o INMCM3_0 e o NCAR_PCM1.

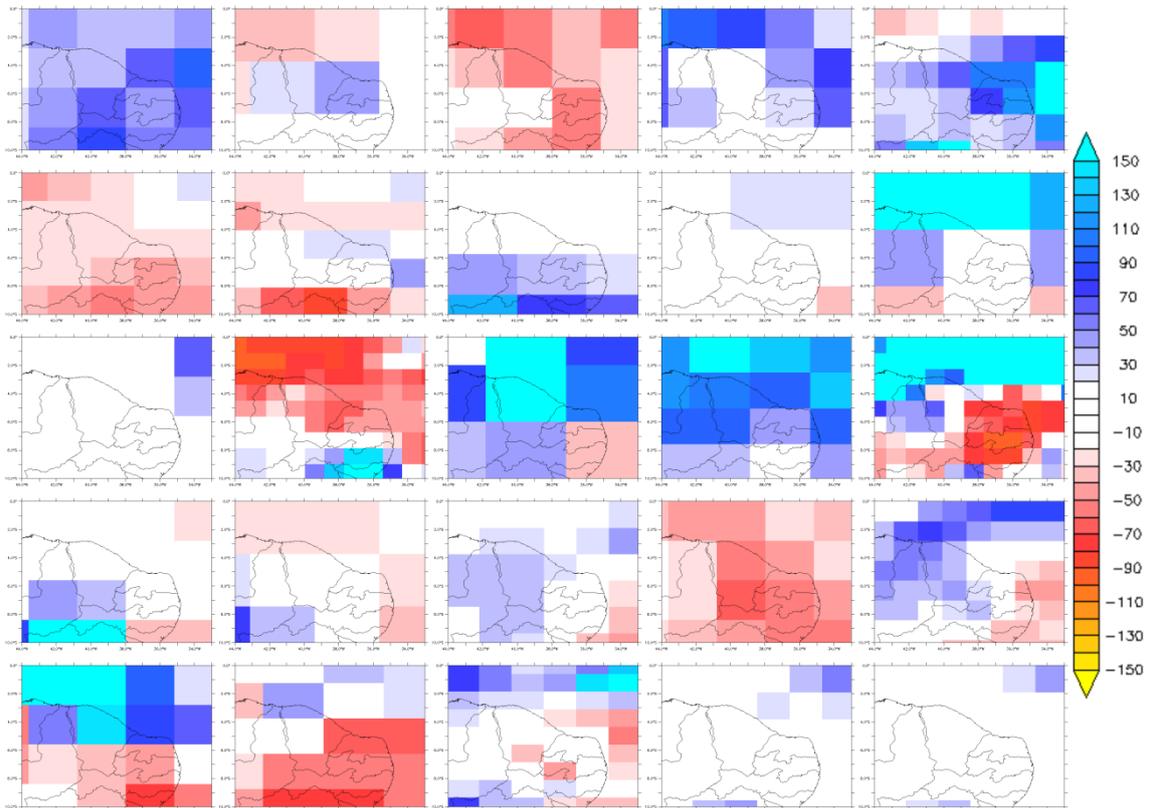


Figura 7 – Anomalia percentual do trimestre DJF para o cenário A1B de 2010 a 2039 em relação ao cenário 20C3M no período de 1901 a 1999. Modelos do IPCC na seguinte sequência da esquerda para a direita e de cima para baixo: BCCR_BCM2_0, CCCMA_CGCM3_1, CCCMA_CGCM3_1_T63, CNRM_CM3, CSIRO_MK3_0, GFDL_CM2_0, GFDL_CM2_1, GISS_AOM, GISS_MODEL_E_H, GISS_MODEL_E_R, IAP_FGOALS1_0_G, INGV_ECHAM4, INMCM3_0, IPSL_CM4, MIROC3_2_HIRES, MIROC3_2_MEDRES, MIUB_ECHO_G, MPI_ECHAM5, MRI_CGCM2_3_2A, NCAR_CCSM3_0, NCAR_PCM1, UKMO_HADCM3 e UKMO_HADGEM1, média e média ponderada.

A figura 8 mostra a anomalia percentual do trimestre MAM para o cenário A1B de 2010 a 2039 em relação ao cenário 20C3M no período de 1901 a 1999. A média e a média ponderada apresentaram novamente anomalias inferiores a 20% no trimestre que representa maior contribuição nos totais anuais na região Nordeste do Brasil.

Os modelos INGV_ECHAM4, INMCM3_0, MIROC3_2_HIRES e MIUB_ECHO_G destacam-se por indicarem um aumento superior a 50% em várias regiões do domínio no trimestre MAM. Assim como o modelo BCCR_BCM2_0, apesar de menos intenso, propõe um aumento superior a 20%, principalmente na região mais ao sul do domínio.

Enquanto o modelo UKMO_HADCM3 propõe reduções significativas superiores a 80% em todo o domínio avaliado, indicando drásticas mudanças no regime de chuvas da região Nordeste Setentrional.

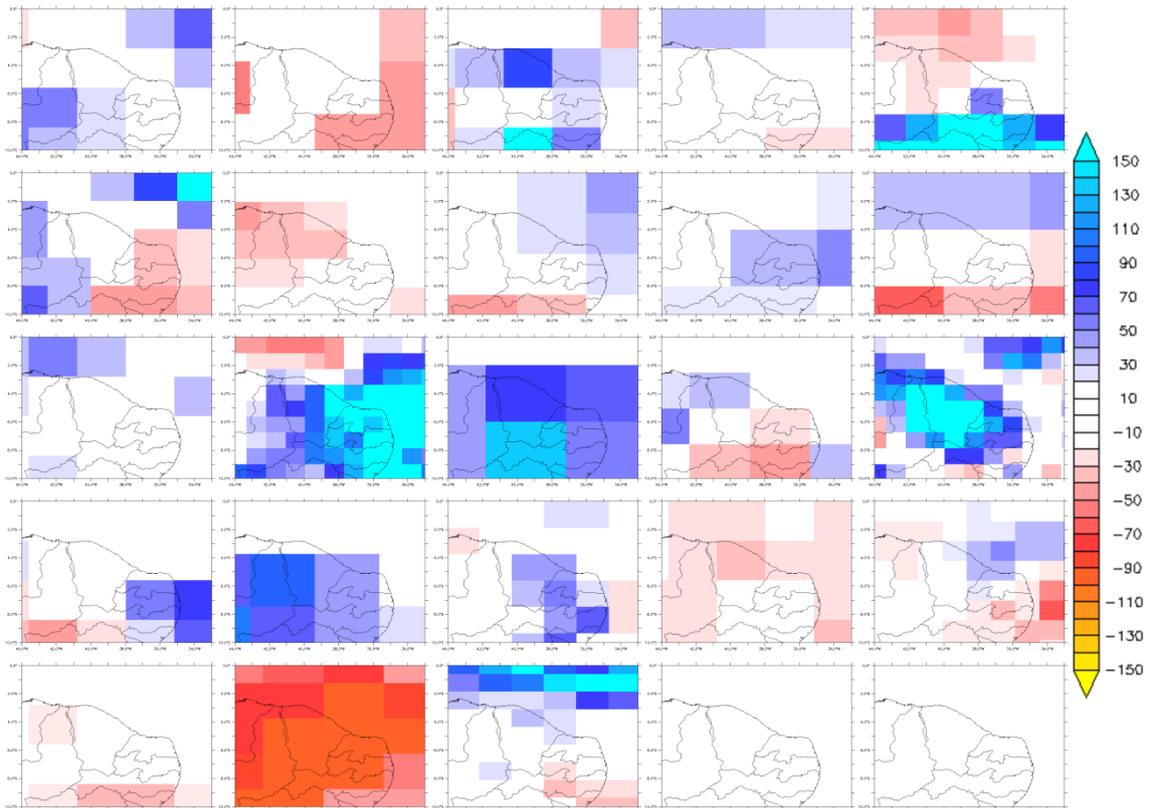


Figura 8 – Anomalia percentual do trimestre MAM para o cenário A1B de 2010 a 2039 em relação ao cenário 20C3M no período de 1901 a 1999. Modelos do IPCC na seguinte sequência da esquerda para a direita e de cima para baixo: BCCR_BCM2_0, CCCMA_CGCM3_1, CCCMA_CGCM3_1_T63, CNRM_CM3, CSIRO_MK3_0, GFDL_CM2_0, GFDL_CM2_1, GISS_AOM, GISS_MODEL_E_H, GISS_MODEL_E_R, IAP_FGOALS1_0_G, INGV_ECHAM4, INMCM3_0, IPSL_CM4, MIROC3_2_HIRES, MIROC3_2_MEDRES, MIUB_ECHO_G, MPI_ECHAM5, MRI_CGCM2_3_2A, NCAR_CCSM3_0, NCAR_PCM1, UKMO_HADCM3 e UKMO_HADGEM1, média e média ponderada.

A figura 9 mostra a anomalia percentual do trimestre JJA para o cenário A1B de 2010 a 2039 em relação ao cenário 20C3M no período de 1901 a 1999. A média e a média ponderada apresentaram um aumento superior a 100% em várias regiões do domínio, indicando uma intensificação da pós-estação chuvosa na região nordeste do Brasil. Comportamento esse é seguido pelos modelos BCCR_BCM2_0 CSIRO_MK3_0 IPSL_CM4 MIUB_ECHO_G

Os modelos NCAR_PCM1, MIROC3_2_MEDRES, GFDL_CM2_1, INGV_ECHAM4 reduções em varias regiões do domínio. O NCAR_PCM1, em especial aponta para reduções mais significativas até superiores a 100%.

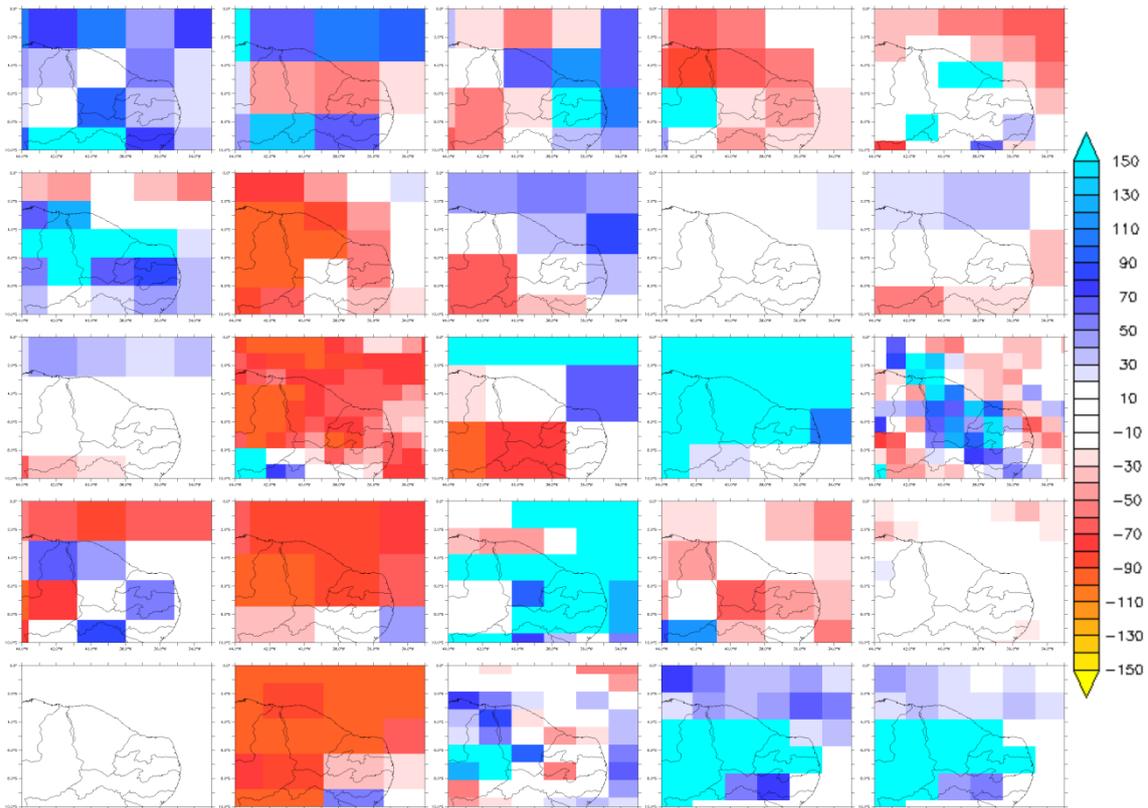


Figura 9 – Anomalia percentual do trimestre JJA para o cenário A1B de 2010 a 2039 em relação ao cenário 20C3M no período de 1901 a 1999. Modelos do IPCC na seguinte seqüência da esquerda para a direita e de cima para baixo: BCCR_BCM2_0, CCCMA_CGCM3_1, CCCMA_CGCM3_1_T63, CNRM_CM3, CSIRO_MK3_0, GFDL_CM2_0, GFDL_CM2_1, GISS_AOM, GISS_MODEL_E_H, GISS_MODEL_E_R, IAP_FGOALS1_0_G, INGV_ECHAM4, INMCM3_0, IPSL_CM4, MIROC3_2_HIRES, MIROC3_2_MEDRES, MIUB_ECHO_G, MPI_ECHAM5, MRI_CGCM2_3_2A, NCAR_CCSM3_0, NCAR_PCM1, UKMO_HADCM3 e UKMO_HADGEM1, média e média ponderada.

A figura 9 mostra a anomalia percentual do trimestre SON para o cenário A1B de 2010 a 2039 em relação ao cenário 20C3M no período de 1901 a 1999. A média e a média ponderada apresentaram um aumento superior a 100% em várias regiões do domínio, comportamento esse seguido pela maioria dos modelos. Apenas os modelos MRI_CGCM2_3_2^a e NCAR_CCSM3_0 apresentam variações inferiores a 20%.

O modelo MIROC3_2_MEDRES indica um aumento percentual na região litorânea da Bahia ao Rio Grande do Norte superior até 150%, associado a redução na maioria da região continental do domínio superior a 90%. Este comportamento é muito semelhante ao do modelo INGV_ECHAM4.

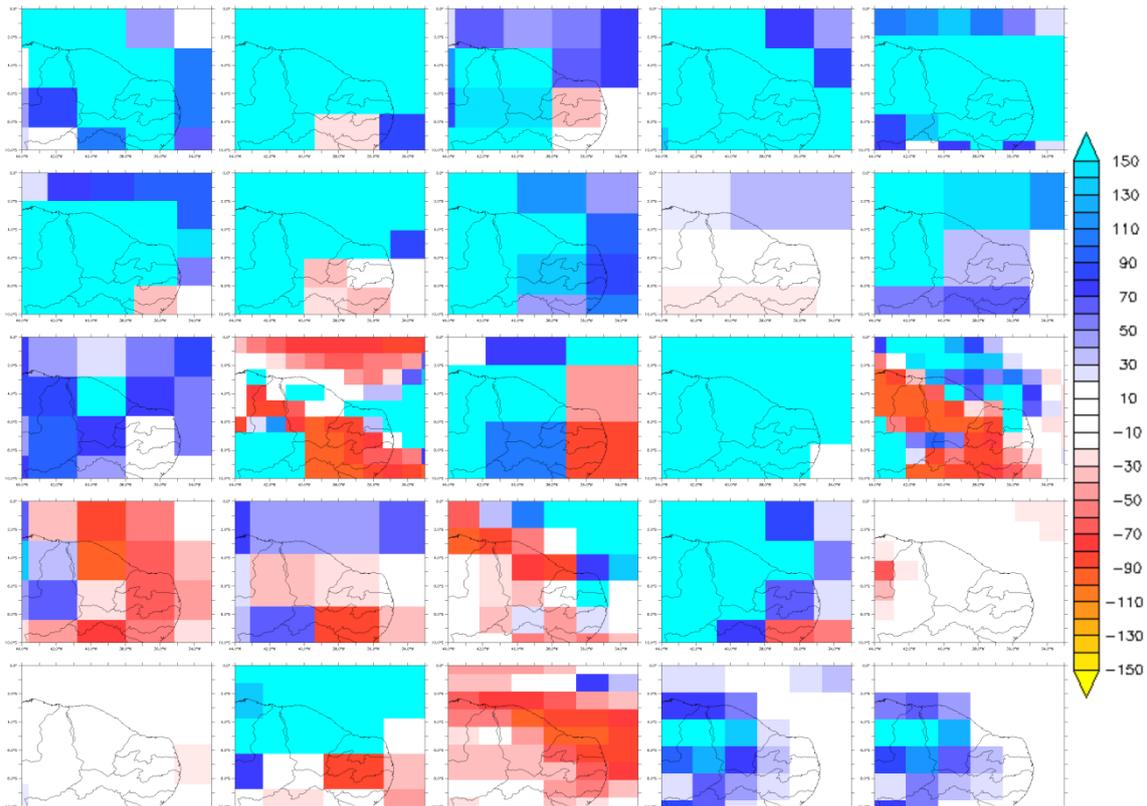


Figura 10 – Anomalia percentual do trimestre SON para o cenário A1B de 2010 a 2039 em relação ao cenário 20C3M no período de 1901 a 1999. Modelos do IPCC na seguinte sequência da esquerda para a direita e de cima para baixo: BCCR_BCM2_0, CCCMA CGCM3_1, CCCMA CGCM3_1_T63, CNRM_CM3, CSIRO_MK3_0, GFDL_CM2_0, GFDL_CM2_1, GISS_AOM, GISS_MODEL_E_H, GISS_MODEL_E_R, IAP_FGOALS1_0_G, INGV_ECHAM4, INMCM3_0, IPSL_CM4, MIROC3_2_HIRES, MIROC3_2_MEDRES, MIUB_ECHO_G, MPI_ECHAM5, MRI_CGCM2_3_2A, NCAR_CCSM3_0, NCAR_PCM1, UKMO_HADCM3 e UKMO_HADGEM1, média e média ponderada.

4.CONCLUSÕES

Os modelos do IPCC concordam que as mudanças na contribuição percentual mensal em relação média anual serão pequenas, com valores máximos de 7% na estação chuvosa e 2% na estação seca. Porém, discordam quanto o aumento ou redução da quantidade média de precipitação mensal, com modelos indicando desde grandes decréscimos na quadra-chuvosa até acréscimos de 60 mm/mês nos meses de janeiro-fevereiro-março.

No período de 2010 a 2039 os modelos do IPCC indicam sensíveis mudanças, sugerindo que as alterações na climatologia sofridas nesse período devam ser apenas na pré-estação, onde os modelos mais divergem quanto a precipitação mensal.

A média e média dos modelos do IPCC nos períodos analisados aponta para uma leve intensificação da pré-estação e da quadra chuvosa

Os modelos BCCR_BCM2_0, CNRM_CM3, IPSL_CM4, MIUB_ECHO_G e MRI_CGCM2_3_2A apontam para um possível aumento da contribuição percentual das chuvas em novembro-dezembro-janeiro.

Especificamente o IPSL_CM4, indica um aumento substancial da precipitação mensal em praticamente todos os meses da estação chuvosa. Enquanto o modelo MIROC3_2_MEDRES e UKMO_HADCM3 indicam reduções significativas na precipitação em praticamente todo o ano.

Os modelos do IPCC divergem quanto o futuro da precipitação no Nordeste brasileiro, principalmente no período de 2070 a 2099, esse espalhamento pode estar associado a própria incertezas proveniente dos fenômenos meteorológicos que envolvem essa variável (a atmosfera é um sistema caótico, Lorenz, 1963 e 1965) e/ou má representação dos fenômenos micro e meso-escala que precisam ser resolvidos numa grade de melhor resolução.

5. REFERÊNCIAS

- DUURSMA, E. **River flow and temperature profile trends; consequences for water resources**. A. de Man, P.E. van Oeveren, S. Montjin, Heineken, N. V. Company. Amsterdam 2002.
- GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E.; DOYLE, M. E. **Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events**. Journal of Climate, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000.
- HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin. **Energia e o meio ambiente**. São Paulo: Thomson, 2003.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2007: The physical science basis. Cambridge, 18 p. 2007a.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press: Cambridge, 23 p, 2007b.
- KANE, R. P. **El Niño and La Niña events and rainfall in NE and South Brazil**. Rev. Bras. Geofísica, v.10,p. 49-59, 1992.
- LORENZ, E. N. Deterministic non-periodic flow. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.20, n.2, p. 130-141, 1963.
- LORENZ, E. N A study of the predictability of a 28 –Variable Atmospheric Model. **Tellus**, v.17, n.3, p.321-333, 1965.
- MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. **Impacto das mudanças climáticas no Brasil e Possíveis Cenários** Climáticos: Síntese do Terceiro Relatório do IPCC de 2001. CPTEC-INPE, p. 29 2005.
- MARENGO J.A., VALVERDE, MARIA C. **Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4**. Revista Multiciência Campinas Ed. No. 8 Maio 2007.
- MELLO, E. L.; OLIVEIRA, F. A.; PRUSKI, F. F.; FIGUEIREDO, J. C. **EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARACATU**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.28, n.4, p.635-644, 2008.
- MOLION, L. C. B; BERNARDO, S. O. **Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro**. Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro (RJ), v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.
- NOBRE, P.; SHUKLA J. **Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America**. Journal of Climate, v.9 n. 19, p. 2664-2479, 1996.
- NOBRE C. A. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança no clima**. In: Brasil, Presidência da Republica. Núcleo de Assuntos Estratégicos. Mudança do clima: Negociações Internacionais sobre a Mudança do Clima. Brasília. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da Republica. Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica. V. 1 parte 2, p. 147-216, 2005.
- OLIVEIRA, L. J. C. **Mudanças climáticas e seus impactos nas produtividades das culturas do feijão e do milho no Estado de Minas Gerais**. 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- SILVEIRA, C.S; SOUZA FILHO, F. A. ; COSTA, A. A.; COUTINHO, M.M.; LÁZARO, Y.M.C; SALES, D. C.. **SAZONALIDADE DA PRECIPITAÇÃO SOBRE O NORDESTE SETENTRIONAL BRASILEIRO NAS SIMULAÇÕES DO IPCC-AR4**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, em revisão.

TRACTON;M.S;KALNAY,E. **Operational Ensemble Prediction at the National Meteorological Center: Pratical Aspects.** Weather and Forecasting,v.8,n.3,p.379-398,Sep.1993.