

ANÁLISE DAS PROJEÇÕES DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DO IPCC-AR5 PARA OS CENÁRIOS RCP4.5 e RCP8.5 PARA O SÉCULO XXI PARA A AMAZÔNIA

Luiz Martins de Araújo Júnior^{1,}, Cleiton da Silva Silveira¹, Francisco de Assis de Souza Filho², Sullyandro Oliveira Guimarães³, Victor Costa Porto⁴*

Resumo – Este trabalho tem como objetivo avaliar as tendências das projeções de precipitação anual e temperatura média anual sobre a região Amazônica para cenários de concentração de gases de efeitos estufa RCP8.5 e RCP4.5 do *Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)*. Os métodos de análise utilizados foram o teste de Man-Kendall-Sen e a análise de ondeletas (Wavelet). Os resultados mostraram que para precipitação não há um consenso entre os modelos de circulação geral e para temperatura notou-se a convergência das projeções para um aquecimento regional, sendo este mais intenso no cenário RCP8.5. Identificou-se ainda, por meio das transformadas de ondeletas, o possível aumento da frequência de ocorrência de eventos extremos.

Palavras-Chave: Projeções, Análise de tendência e Amazônia.

ANALYSIS OF PROJECTIONS OF PRECIPITATION AND TEMPERATURE OF THE IPCC-AR5 FOR RCP4.5 AND RCP8.5 SCENARIOS FOR THE XXI CENTURY OVER AMAZON

Abstract – This work aims to assess the trends of the projections of precipitation and temperature over Amazon's region for scenarios of concentration of greenhouse gases RCP8.5 e RCP4.5 of Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5). The methods used for analysis were Man-Kendall-Sen's test and wavelet analysis. The results shown that for precipitation, there isn't consensus among the general circulation models and for temperature was noted the convergence of projections for regional warming, which is more intense in scenarios RCP8.5. It was also found by wavelet transformed, possible increase in the frequency of occurrence of extreme events.

Key-words: Projections, Analysis of trends and Amazon.

¹ Doutorando em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará, Av. Mister Hall, S/N, Campus do Pici, bloco 713, Fortaleza, CE, CEP:60.455-760, e-mail: lu.m.a.junior@gmail.com.

² Professor Titular do Curso de Doutorado em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.

³ Mestrando em Ciências Físicas Aplicadas pela Universidade Estadual do Ceará.

⁴ Graduando em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.

* Autor Correspondente

1 INTRODUÇÃO

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) é o principal órgão científico internacional para as avaliações das alterações climáticas, e foi criado pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUA) e pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) em 1988, para fornecer visões científicas claras sobre o estado atual do conhecimento das mudanças climáticas e seus possíveis impactos sócio-econômicos e ambientais (IPCC).

O IPCC emite relatórios aprovados pelos governos, reconhecendo a autoridade do seu poder científico. Até o momento, 4 relatórios foram lançados e o 5º está em desenvolvimento. Espera-se que algumas das questões científicas que surgiram durante a preparação do quarto relatório do IPCC possam ser respondidas com base no conjunto de dados do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5), ao subsidiar a publicação do Quinto Relatório (AR5, prevista para publicação no final de 2013).

Para facilitar a cooperação entre a modelagem do clima e a avaliação de impactos o IPCC criou cenários de projeções visando melhorar a interrelação entre vulnerabilidade, adaptação e desenvolvimento sustentável. Esses cenários, em geral, diferem em concentração de gases de efeito estufa (GEE) e ciclagem do carbono (Taylor et al., 2008), o que leva a alteração do clima em escala global.

O clima nas Américas é bem diversificado e com padrões distintos sejam no regime de ventos, chuvas, eventos extremos ou outras variáveis climáticas. Regiões como a Amazônia e o Nordeste do Brasil (NEB) são exemplos de locais que sofrem mais com mudanças climáticas de eventos extremos por serem regiões com maior sensibilidade climática.

Segundo Albuquerque et al. (2009), a região Amazônica (AMA) apresenta clima com intensa variabilidade temporal e espacial de chuvas, devido à atuação de diversos sistemas. Essa complexidade torna a região vulnerável às condições climática, que são associadas a impactos sociais e econômicos significativos em diversos setores. Desta forma, torna-se relevante para o desenvolvimento de políticas públicas a identificação das alterações na ocorrência do clima nesta região e os possíveis impactos no regime de chuvas.

Para melhor estudar fenômenos ainda não muito claros (como os diferentes regimes de precipitação e aquecimento ou resfriamento regional) precisa-se avaliar o desempenho de modelos climáticos, no caso os modelos de circulação geral (MCG) que fazem parte do CMIP5, para verificar se os mesmos estão concordando com a variabilidade característica regional, e se apontam mudanças dramáticas ou mostram incertezas.

Nesse contexto, o objetivo principal do presente estudo é analisar as projeções de precipitação e temperatura dos modelos do CMIP5 sobre a região da Amazônia para cenários de concentração de GEE, e assim verificar as mudanças que apontam na região, no intuito de melhorar o embasamento para os tomadores de decisões.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados provenientes do CMIP5 são resultados de simulações de modelos globais de alguns centros de pesquisa que contribuem para confecção dos relatórios do IPCC, forçadas pelas concentrações observadas de gases de efeito estufa durante o século XX. Serão utilizados os modelos indicados na Tabela 1.

Tabela 1 – Modelos do CMIP5 utilizados.

| Modelos | Instituição |
|----------------------|--|
| bcc-csm1-1 | <i>Beijing Climate Center, China Meteorological Administration</i> |
| BNU-ESM | <i>College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University</i> |
| CanESM2 | <i>Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis</i> |
| CCSM4 | <i>National Center for Atmospheric Research</i> |
| CESM1-BGC | <i>Community Earth System Model Contributors</i> |
| CESM1-CAM5 | <i>Community Earth System Model Contributors</i> |
| CMCC-CM | <i>Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici</i> |
| CSIRO-Mk3-6-0 | <i>Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in collaboration with Queensland Climate Change Centre of Excellence</i> |
| FGOALS-s2 | <i>LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences</i> |
| GFDL-CM3 | <i>NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory</i> |
| GFDL-ESM2G | <i>NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory</i> |
| GFDL-ESM2M | <i>NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory</i> |
| HadGEM2-AO | <i>National Institute of Meteorological Research/Korea Meteorological Administration</i> |
| HadGEM2-CC | <i>Met Office Hadley Centre</i> |
| IPSL-CM5A-LR | <i>Institut Pierre-Simon Laplace</i> |
| IPSL-CM5A-MR | <i>Institut Pierre-Simon Laplace</i> |
| IPSL-CM5B-LR | <i>Institut Pierre-Simon Laplace</i> |
| MIROC5 | <i>Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology</i> |
| MIROC-ESM | <i>Max Planck Institute for Meteorology</i> |
| MRI-CGCM3 | <i>Meteorological Research Institute</i> |
| NorESM1-M | <i>Norwegian Climate Centre</i> |

Como parte da fase preparatória para o desenvolvimento dos novos cenários para o AR5, foram criados os chamados RCPs (*Representative Concentration Pathways*), que servirão como entrada para modelagem climática e química atmosférica. Os RCPs recebem seus nomes a partir dos níveis das forçantes radiativas. Assim, RCP-X implica em um cenário no qual a forçante radiativa de estabilização ou de pico ou ao final do século XXI corresponde a $X \text{ W.m}^{-2}$. Na figura 1 é mostrado o comportamento dos principais cenários do IPCC-AR5: RCP8.5, RCP6, RCP4.5 e RCP3-PD. Neste trabalho será usado os cenários RCP4.5 e RCP8.5 para análise das projeções do século XXI.

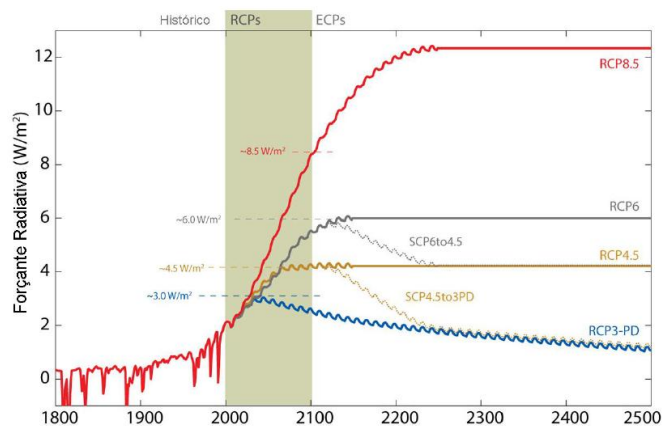


Figura 1 - Cenários do IPCC-AR5 e forçante radiativa antropogênica.
Fonte: <http://www.pik-potsdam.de/~mmalte/rcps/>

Para realização da análise considerou-se uma região de 3,5°N a 12°S de latitude e 75,5°W a 49°W de longitude sobre a AMA.

Afim de averiguar a tendência dos MCG, calculou-se a inclinação da reta para o teste de Man-Kendall-Sen, conforme Burn e Elnur. (2002), considerando as projeções fornecidas para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 no período de 2010 a 2099 e a representação dos modelos para o século XX no período de 1950 a 1999, sendo esse cenário conhecido como HISTORICAL.

Conforme Hamed (2009), o teste de tendência de *Man-Kendall* é um dos mais aceitos na análise de tendências de séries históricas de variáveis como vazões, precipitação e temperatura, que não possuem uma distribuição normal.

Em seguida, foram utilizadas as transformadas de *wavelet*, no intuito de melhor avaliar a tendência dos modelos que mais se destacaram no teste de *Man-Kendall*, através da análise das bandas de baixa e alta frequência, um melhor compreensão das ondeletas pode ser obtida em Bolzan (2004). A banda de alta frequência, em geral, mostra os padrões climáticos mais bem definidos na região em estudo, e a banda de baixa frequência ou resíduo está associada a mudanças no clima.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Tendências de precipitação e temperatura para o teste de Man-Kendall-Sen

A Tabela 02 apresenta as declividades da tendência de precipitação e temperatura para o teste de Man-Kendall-Sen em mm/década e °C/década, respectivamente, para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 na região AMA para os 21 modelos em estudo, a estimativa é feita para 2010 a 2098 e a classificação dos modelos é a proposta por Silveira *et al.* (2011).

Para o cenário RCP4.5, 6 modelos apresentam tendências negativas, 3 positivas e 12 não indicaram tendência para a precipitação no século XXI. Enquanto para o cenário RCP8.5, 7 modelos mostram tendência negativa, 1 positiva e 13 não apresentam. O modelo CESM1-CAM5 é

o mais pessimista, indicando uma redução da pluviometria de 14,1 e 23,1 mm/década, para os cenários RCP4.5 e 8.5, respectivamente. Enquanto o IPSL-CM5A-MR apresenta para o cenário RCP4.5 a situação mais otimista para essa região, com um aumento do índice pluviométrico em 22,5 mm/década.

Para temperatura, GFDL-ESM2M é o modelo com as inclinações mais baixas, para a região AMA, sendo a tendência de crescimento de apenas 0,22 °C/década no cenário RCP4.5 e 0,65 °C/década no cenário RCP8.5, sendo esse o modelo mais otimista. O modelo CESM1-CAM5 é o mais pessimista para o cenário RCP4.5, com uma tendência de crescimento da temperatura de 1,44 °C/década. Já o modelo HadGEM2-AO, é o mais pessimista para o cenário RCP8.5, com estimativa de aumento de 3,43 °C/década.

Tabela 02 – Declividade da tendência de precipitação e temperatura para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 do IPCC-AR5 para o teste de *Man Kendall-Sen*, estimativa para 2010 a 2098 na região Amazônica (AMA).

| Modelos do IPCC-AR5 | Inclinação | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|--------|----------------------------|--------|
| | Precipitação (mm/década) | | Temperatura (°C/década) | |
| | rcp4.5 | rcp8.5 | rcp4.5 | rcp8.5 |
| bcc-csm1-1_r1i1p1 | - | - | 0,36 | 1,26 |
| BNU-ESM_r1i1p1 | - | 9,6 | 0,59 | 1,57 |
| CanESM2_r1i1p1 | -14,1 | -23,1 | 0,68 | 1,41 |
| CCSM4_r1i1p1 | -8,4 | -9 | 0,67 | 1,82 |
| CESM1-BGC_r1i1p1 | - | - | 0,59 | 1,78 |
| CESM1-CAM5_r1i1p1 | -15 | -35,7 | 1,44 | 3,18 |
| CMCC-CM_r1i1p1 | 12 | - | 1,00 | 2,37 |
| CSIRO-Mk3-6-0_r1i1p1 | -6 | - | 0,52 | 1,30 |
| FGOALS-s2_r1i1p1 | - | - | 0,39 | 2,08 |
| GFDL-CM3_r1i1p1 | -11,4 | - | 0,94 | 1,80 |
| GFDL-ESM2G_r1i1p1 | - | - | 0,38 | 1,07 |
| GFDL-ESM2M_r1i1p1 | - | - | 0,22 | 0,65 |
| HadGEM2-AO_r1i1p1 | - | -27,9 | 1,40 | 3,43 |
| HadGEM2-CC_r1i1p1 | -12,6 | -35,4 | 1,16 | 3,22 |
| IPSL-CM5A-LR_r1i1p1 | 15,6 | - | 0,93 | 2,38 |
| IPSL-CM5A-MR_r1i1p1 | 22,5 | - | 0,84 | 2,28 |
| IPSL-CM5B-LR_r1i1p1 | - | - | 0,49 | 1,44 |
| MIROC5_r1i1p1 | - | - | 0,36 | 0,78 |
| MIROC-ESM_r1i1p1 | - | - | 0,78 | 1,83 |
| MRI-CGCM3_r1i1p1 | - | -15,9 | 1,07 | 2,66 |
| NorESM1-M_r1i1p1 | - | -14,4 | 0,81 | 2,07 |

- Não há tendência significativa.

Para a classificação mostrada neste trabalho foram excluídos aqueles modelos que não possuem rodadas para pelo menos um dos cenários avaliados para o século XXI.

3.2 Avaliação das transformadas de Wavelets

Nas Figuras 02 e 03 são apresentados a banda de 1 a 33 anos e o ruído da transformada de wavelets para precipitação e temperatura, respectivamente, para região em estudo. Para precipitação são mostradas para os modelos IPSL-CM5A-MR e CESM1-CAM5. Para temperatura, o GFDL-ESM2M e o HadGEM2-AO. Os modelos analisados se referem à situação mais otimista e mais pessimista em ambas as variáveis.

A análise das ondeletas para precipitação, Figura 02, mostrou para todos os cenários do modelo IPSL-CM5A-MR uma mudança de fase da banda de mais baixa frequência já na primeira metade do século XXI, logo após 2030. Para o cenário RCP4.5, o período mais chuvoso da banda de mais baixa frequência pode ser a causa da tendência positiva mostrada para o teste de Man-Kendall-Sen. Para o cenário RCP8.5, o estado de quase equilíbrio apresentado pelo resíduo, logo após 2030, não indica tendência significativa. Combinando as bandas de baixa e alta frequência do cenário RCP8.5 é possível apontar alguns anos de extremos secos para o período de estado de quase equilíbrio, que provavelmente são compensados pelos anos chuvosos o que leva a normalidade da banda mais baixa para esse período.

Para o modelo CESM1-CAM5, também houve uma mudança de fase do resíduo para os cenários de projeções, após 2030, assim como houve para o IPSL-CM5A-MR. Essa mudança é responsável pela tendência negativa mostrada para o teste de Man-Kendall-Sen em ambos os cenários. A amplitude maior da banda de baixa frequência para o cenário RCP8.5, explica a causa da tendência de redução pluviométrica ser mais negativa do que para o cenário RCP4.5. Analisando as bandas de alta frequência, nota-se maiores amplitudes de variação para o cenário RCP8.5, logo após 2030, indicando uma possível maior frequência de ocorrência de eventos extremos de anos bastante secos e chuvosos.

Para temperatura, Figura 03, as ondeletas mostram para o cenário RCP4.5 uma pequena alteração de fase do resíduo do modelo GFDL-ESM2M na segunda metade do século XXI, enquanto para o cenário RCP8.5 essa inversão da fase é mais acentuada. Essa diferença de amplitude de fase corrobora com os valores de inclinação da reta de tendência, em que o cenário RCP8.5 possui um maior declive em comparação com o RCP4.5. Comparando o resíduo e a banda de alta frequência, em ambos os cenários, nota-se que as bandas altas não possuem picos muito destacado, indicando um leve aumento da frequência de ocorrência de temperaturas extremas, principalmente no final do século XXI. Nesse contexto, o GFDL-ESM2M é considerado um modelo otimista.

O HadGEM2-AO, considerado um modelo pessimista, mostra alterações bruscas de fase da banda de baixa frequência para ambos os cenários de projeção, sendo essa alteração mais precoce e menos intensa no cenário RCP4.5 do que no cenário RCP8.5, em que ocorre de maneira mais lenta e mais intensa. Isso concorda com os valores de inclinação da reta de tendência anteriormente apresentada, em que o cenário de maior amplitude é o que tem pior índice de aumento da temperatura para o período em estudo. Observando-se as bandas de alta frequência, nota-se para segunda metade do século XXI tanto um aumento da variação da temperatura como um crescimento abrupto da tendência na última década do século, implicando na elevação da média de temperatura e consequentemente na frequência de ocorrência de eventos extremos e no grau de intensidade do fenômeno climático.

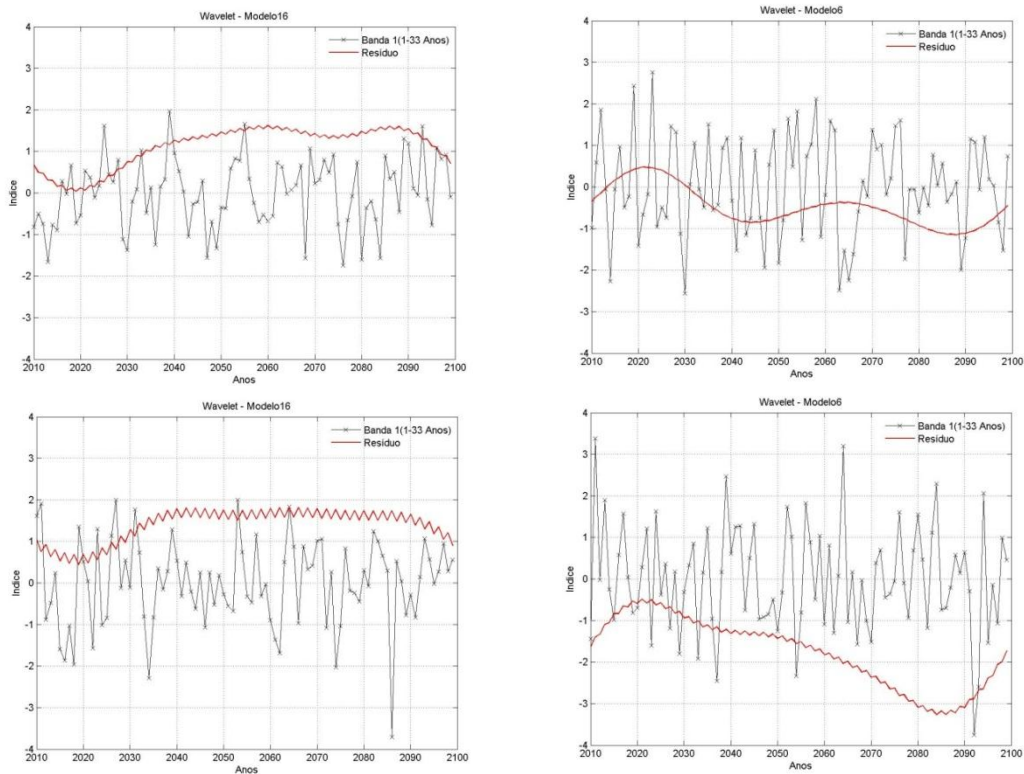


Figura 02 - Banda de 1 a 33 e baixa frequência da transformada de Wavelets: a esquerda o modelo IPSL-CM5A-MR para os cenários RCP4.5 e 8.5 de cima para baixo, respectivamente; e a direita o modelo CESM1-CAM5 para o cenário RCP4.5 e 8.5 de cima para baixo, respectivamente.

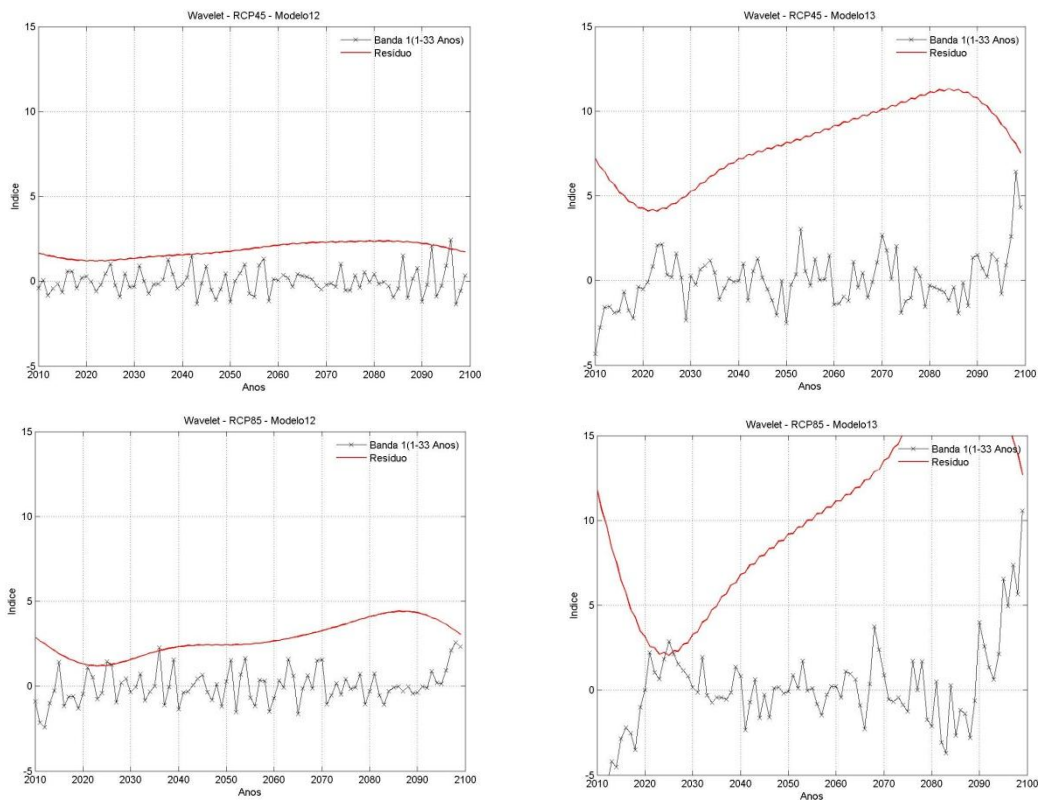


Figura 03 - Banda de 1 a 33 e baixa frequência da transformada de Wavelets: a esquerda o modelo GFDL-ESM2M para os cenários RCP4.5 e 8.5 de cima para baixo, respectivamente; e a direita o modelo HadGEM2-AO para o cenário RCP4.5 e 8.5 de cima para baixo, respectivamente.

4 CONCLUSÕES

Os modelos do IPCC discordam entre si, ao se tratar de precipitação, as projeções não conseguem chegar a um fator comum, isso provavelmente está associado incertezas inerentes aos fenômenos meteorológicos relacionados a essa variável, para a região em estudo. Com relação à temperatura, os modelos apesar das suas discrepâncias conseguem convergir para um fator comum, em que independente do cenário de projeção observa-se o a elevação da temperatura para o século XXI.

Considerando a precipitação, nota-se que a maioria dos modelos não possui tendência significativa, o que dificulta ainda uma estimativa de projeção robusta para essa variável, impossibilitando aos tomadores de decisões o desenvolvimento de estratégias de adaptação ou mitigação dos impactos causados a sociedade associados a essa variável meteorológica.

Entretanto, apesar da divergência das projeções tanto para variável precipitação como para temperatura, através da avaliação das transformadas de wavelet, conclui-se que o aumento da frequência de ocorrência de eventos extremos é certo. O que possibilita a tomada de medidas emergenciais pela sociedade afim de minorar os efeitos severos destas variáveis meteorológicas.

REFERÊNCIAS

- ALBURQUERQUE, I.F. et al. (2009). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo. Oficina de Textos p. 280.
- BOLZAN, M. J. A. (2004). Análise da transformada em ondeletas aplicada em sinal geofísico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Volume 26 N° 1, 37-41.
- BURN, D. H., ELNUR, M. A. H. (2002). Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology* 255, 107-122.
- HAMED, K. H. (2009) Exact distribution of the Mann-Kendall trend test statistic for persistent data. *Journal of Hydrology* 365, 86-94.
- SILVEIRA, C. S., SOUZA FILHO, F. A, LÁZARRO, Y. M. (2011). Avaliação de desempenho dos modelos de mudança climático do IPCC-AR4 quanto a sazonalidade e os padrões de variabilidade interanual da precipitação sobre a Nordeste do Brasil, bacia da Prata e Amazônia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, (em submissão).