ANÁLISE DE TENDÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO DOS MODELOS DO IPCC-AR4 NO NORDESTE SETENTRIONAL BRASILEIRO PARA O CENÁRIO A1B NO SÉCULO XXI

Cleiton da Silva Silveira[1]; Francisco de Assis de Souza Filho[2]; Bruno Costa Castro Alves[3]; Yvonne Magdalena Campos Lázaro[4]

RESUMO --- Os modelos globais do quarto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC-AR4) são avaliados para o Nordeste Setentrional do Brasil quanto à tendência da precipitação para o período de 2010 a 2999 do cenário A1B. As precipitações anuais do cenário A1B são normalizadas, com base nos parâmetros do cenário 20C3M. Em seguida é feita uma avaliação de tendências usando métodos clássicos (média e mediana móvel de 10 anos, regressão linear, LOWESS e Mann-Kendall-Sen) e a análise de ondeletas (*Wavelet*). Dos modelos avaliados: 12 não indicaram tendência, 11 indicaram tendência positiva e apenas 2 modelos indicaram tendência de redução das precipitações segundo o teste Man-Kendall-Sen. Os modelos CSIRO_MK_3_0 e GISS_AOM indicam uma tendência positiva, enquanto o modelo UKMO_HADCM3 indica uma tendência de redução de chuvas, possuindo a maior inclinação de redução para o teste de Man-Kendall-Sen. Enquanto o modelo IPSL_CM4 indica a maior tendência de aumento do século XXI.

ABSTRACT --- The global models of the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report (IPCC-AR4) are evaluated for the North East of Brazil regarding the trend of precipitation for the period 2010 to 2999 scenario A1B. Annual precipitation scenario A1B are normalized, based on the parameters of the scenario 20C3M. Next is an assessment of trends using classical methods (mean and median 10 years mobile, linear regression, Lowess and Mann-Kendall-Sen) and wavelets analysis. Of the models evaluated: 12 indicated no trend, 11 showed increasing trend of rainfall and only two models indicated a trend of decreased rainfall according to the Man-Kendall test-Sen. The models CSIRO_MK_3_0 and GISS_AOM indicate a positive trend, while the model UKMO_HADCM3 indicates a trend of reduction in rainfall, having the highest slope for the reduction of Man-Kendall test-Sen. While the model IPSL_CM4 indicates higher upward trend of the XXI century.

Palavras-chave: IPCC-AR4, Nordeste do Brasil e tendência das precipitações.

[1] Doutorando em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará, Av.Mister Hall,S/N, Campus do Pici, bloco 714, Fortaleza,CE, CEP:60.455-760, e-mail: cleitonsilveira16@yahoo.com.br
[2] Professor Titular do Curso de Doutorado em Engenharia Hidraúlica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.
[3] Mestrando em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.
[4] Mestranda em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.

1. Introdução

O Nordeste do Brasil apresenta clima semiárido com grande variabilidade temporal e espacial de chuvas (MOLION e BERNARDO, 2002). Pequenas flutuações, associadas às condições climáticas, provocam significativos impactos sociais e econômicos sobre a região, descritos por Souza Filho e Moura (2006). Desta forma, identificar padrões ou tendências de mudanças climáticas é de relevante importância, já que impacta os recursos hídricos, agricultura e outras áreas.

A análise de tendências em séries temporais de precipitações é de extrema importância para a gestão dos recursos hídricos. Entretanto, considerando a não estacionariedade das séries históricas, é importante verificar a variabilidade climática interanual e decadal para que assim sejam identificados como as mudanças climáticas podem modular estes padrões de variação.

Diversos autores avaliaram a tendência na precipitação observada no NEB durante o século XX. Por exemplo, Haylock et al. (2006) fizeram uma análise da precipitação sobre a América do Sul, e observaram uma tendência de aumento do total anual de chuva sobre o NEB. O estudo realizado por Santos e Britto (2007), utilizando índices de extremos climáticos e correlacionando-os com as anomalias de TSM, também mostra tendência de aumento da precipitação total anual nos estados da Paraíba e Rio Grande de Norte. Santos et al. (2009) mostraram tendências de aumento de precipitação para o estado do Ceará. Segundo o estudo do Programa *WAVES* (GAISER et.al, 2003), para as regiões do Piauí e Ceará haverá redução de precipitação para o século XXI.

Estudos sobre variabilidade e mudanças no clima para o NEB usando os modelos do IPCC-AR4 observaram que variações em chuvas apresentam maiores sinais de ciclos interdecadais do que tendências de aumento ou redução de precipitações (Marengo, 2007).

A distinção de sinais de mudanças climáticas e padrões de variabilidade observada são muito importantes para análise de tendência de uma série, para tanto a estatística usada deve ser capaz de fazer tal diferenciação.

As técnicas estatísticas mais utilizadas para a análise de tendência de séries hidrológicas são o teste de Mann-Kendall com o método de Sem (Press et al., 1989) e o de Regressão Linear, como afirmam Alexandre et al. (2010).

O teste de Mann Kendall tem sido usado amplamente em estudos de tendência hidrológicas (Marengo et al., 1995; Dias de Paiva e Clarke, 1995; Chiew et al., 1993; Lettenmaier et al., 1994, Marengo et al., 1998), porém este não é sensível aos padrões de variabilidade da série. Devido a isso, o uso dessa métrica é questionável sem um tratamento estatístico complementar.

Alves et. al (2011) sugere o uso da transformada de *wavelets* para identificar os padrões de variação das vazões observada para os principais reservatórios que compõem o setor elétrico brasileiro e identificar as possíveis tendências para o século XXI.

O objetivo deste trabalho é avaliar a tendência das precipitações dos modelos IPCC-AR4 para o cenário A1B usando métricas tradicionais de tendência (regressão linear, média móvel, mediana móvel, *Lowess*, *Mann Kendall*) e transformada de wavelets.

2. Metodologia

2.1. Região de Estudo

Utilizou-se uma grade que vai de 0 a 10ºS de latitude e 33ºO a 44 ºO de longitude, cobrindo boa parte do Nordeste 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 (Molion et.al, 2002). A estação de chuva concentra-se entre dezembro, 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.

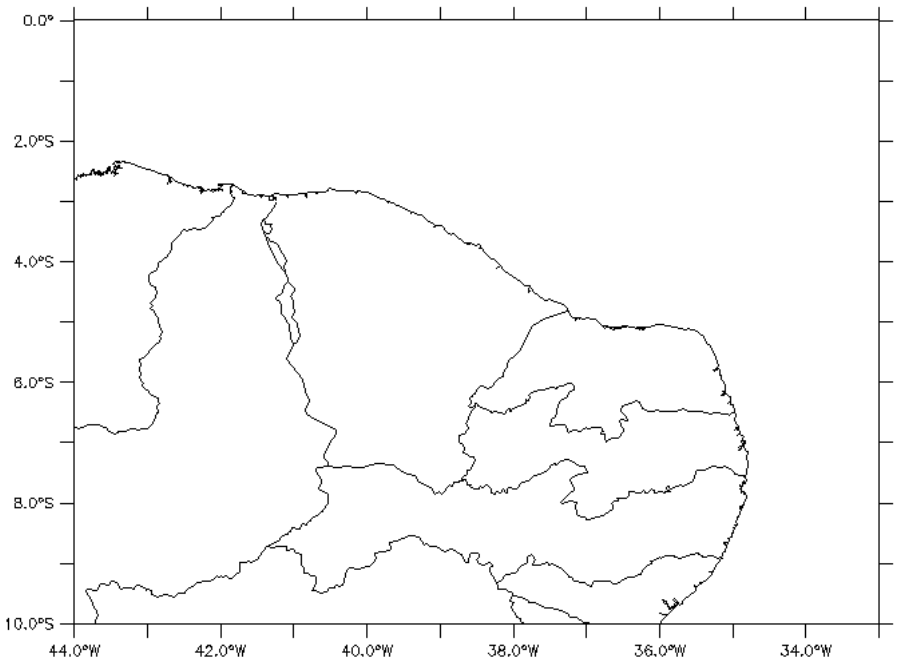

Figura 1- Região de estudo, parte do Nordeste brasileiro e parte do Oceano Atlântico.

2.2. Modelos do IPCC-AR4

Neste estudo, será realizada uma análise os dados do 4º relatório de avaliação do IPCC. Os dados provenientes do IPCC são simulações de modelos globais de alguns grandes centros de meteorologia que participaram desse relatório (conforme tabela 1), a partir das próprias observações do século XX e projeções para o século XXI e XXII.

Tabela 1- Modelos globais do IPCC.

Designação do Modelo	**Instituição ou Agência; País**
BCC-CM1	*Beijjing Climate Center; China*
BCCR-BCM2	*Bjerknes Centre for Climate Research, Universidade de Bergen; Noruega*
CCCMA-CGCM3 1-T47	*Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis; Canadá*
CCCMA-CGCM3 1-T63	*Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis; Canadá*
CNRM-CM3	*Centre National de RecherchesMeteorologiques, Meteo France; França*
CONS-ECHO-G	*Meteorological Institute of the University of Bonn (Alemanha), Institute of KMA (Correia do Sul), and Model, and Data Group*
CSIRO-MK3	*CSIRO; Austrália*
CSIRO-MK3.5	*CSIRO; Austrália*
GFDL-CM2.0	*Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA; Estados Unidos*
GFDL-CM2.1	*Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA; Estados Unidos*
INM-CM3.0	*Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Science; Rússia*
INGV-SXG2005	*National Institute of Geophysics and Volcanology; Itália*
IPSL-CM4	*Institut Pierre Simon Laplace (IPSL); França*
LASG-FGOALS-G1.0	*LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciemces, P.O. Box 9804, Beijing 100029; China*
MPIM-ECHAM5	*Max Planck Institute for Meteorology; Alemanha*
MRI-CGCM2.3.2	*Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency; Japão*
NASA-GISS-AOM	*Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos*
NASA-GISS-EH	*Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos*
NASA-GISS-ER	*Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos*
NCAR-CCSM3	*National Center for Atmospheric Research (NCAR); Estados Unidos*
NCAR-PCM	*National Center for Atmospheric Research (NCAR), NSF, DOE, NASA, e NOAA; Estados Unidos*
NIES-MIROC3.2-HI	*CCSR/ NIES/ FRCGC; Japão*
NIES-MIROC3.2-MED	*CCSR/ NIES/ FRCGC; Japão*
UKMO-HADCM3	*Hadley Centre for Climatic Prediction and Research, Met Office; ReinoUnido*
UKMO-HADGEM1	*Hadley Centre for Climatic Prediction and Research, Met Office; ReinoUnido*

2.2.1 Cenários A1B

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. Normalização das precipitações

Para analisar a tendência do século XXI e XXII as séries de precipitações anuais do cenário A1B foram normalizadas com base nas características da série do cenário das simulações do século XX (20C3M) de 1901 a 1999. Essa normalização segue a equação 1:

$$Z = \frac{X_{A1B}^{i} - \bar{X}_{20C3M}}{\sigma_{20C3M}} \qquad (1)$$

onde Z é a precipitação do cenário A1B normalizada, X_{A1B}^{i} a precipitação anual do cenário A1B para um ano i, $\bar{X}_{20C3M}$ a precipitação anual média do cenário 20C3M na série de 1901 a 1999 e σ_{20C3M} o desvio padrão da série de precipitações anuais do cenário 20C3M.

Após essa normalização são calculadas as seguintes medidas de tendência: média móvel de 10 anos, mediana móvel de 10 anos, regressão linear, Lowess, Man-Kendall-Sen e transformada de ondoletas. (conforme secção 2.4)

2.4. Análise de Tendências das Precipitações

As metodologias de avaliação de tendência/variabilidade podem ser divididas em dois tipos quanto à sua abordagem: Métodos Clássicos e Métodos Modernos.

Neste trabalho foram utilizados os métodos clássicos de Mann-Kendall-Sen, Média Móvel, Regressão Linear e LOWESS, e dentre os métodos modernos, utilizou-se a análise de ondeletas (*wavelet*).

2.3.1 Métodos Clássicos

Nos testes de tendência, segundo Xu et al. (2003), a hipótese nula H_0 ocorre na ausência de tendência na série histórica. Já a hipótese não nula (H_1) ocorre quando existe uma tendência na série.

Os testes estatísticos podem ser classificados em paramétricos e não paramétricos (Naghettini & Pinto, 2007). Os testes paramétricos se baseiam na hipótese de que os dados amostrais foram obtidos a partir de uma população cuja distribuição seja conhecida ou previamente especificada. Já os testes não-paramétricos não necessitam da especificação do modelo distributivo da população, sendo formulados com base nas características da amostra. Segundo Xu et al. (2003), os testes não-paramétricos são mais robustos.

Ainda segundo Xu et al (2003), a utilização de testes paramétricos e não-paramétricos dependem das características dos dados em que se está trabalhando.

A média é uma medida de tendência central, definida pela equação 2 (WALPOLE et al, 2007):

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} \tag{2}$$

considerando uma amostra com os elementos x_1, x_2, ..., x_n e n o tamanho da amostra.

Assim como a média, a mediana também é uma medida de tendência central. Diferentemente da média, a mediana é pouca influenciada pelos valores extremos (*outliers*). Supondo que dos dados da amostra sejam x_1, x_2, ..., x_n, arranjados em ordem crescente de magnitude, e n é o tamanho da amostra. A mediana da amostra será (WALPOLE et al, 2007):

$$\tilde{x} = \begin{cases} x_{\frac{(n+1)}{2}} & \text{se } n \text{ for ímpar.} \\ \frac{1}{2}\left(x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}\right) & \text{se } n \text{ por par.} \end{cases} \tag{3}$$

O modelo de regressão linear é dado pela seguinte equação (Helsel & Hirsch, 2002):

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon_i \quad i = 1,2,3,\ldots,n \tag{4}$$

Onde:

y_i é a i-ésima observação da variável dependente;

x_i é a i-ésima observação da variável dependente;

β_0 é a interceptador;

β_1 é a inclinação;

ε_i é o erro aleatório ou residual para a i-ésima observação;

n é o tamanho da amostra.

O erro ε_i depende da variabilidade natural do sistema, possui média igual a zero e variância (σ^2) constante, portanto, ε_i é independente de x_i.

A regressão linear é obtida estimando-se os valores de β_0 e β_1 através de alguma técnica de ajustamento. Segundo Naghettini & Pinto (2007), o método dos mínimos quadrados é um dos procedimentos mais adequados para este ajuste.

Se uma tendência linear está presente em uma série, a declividade (mudança por unidade de tempo) pode ser estimada usando o método não-paramétrico desenvolvido por Sen (1968) (Kahya & Kalayci, 2004).

No método de Sen são computados a declividade de N pares de dados através da equação:

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{(j - k)} \tag{5}$$

Para $i = 1, 2, ..., N$.

Onde x_j e x_k são os valores de x nos períodos j e k respectivamente, com $j > k$. A mediana dos N valores de Q_i será a declividade de Sen. Se houver apenas uma referência em cada período de tempo, então:

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \tag{6}$$

Onde n é o tamanho da série. Se N for ímpar, a declividade de Sen será:

$$Q_{mediana} = Q_{(N+1)/2} \tag{7}$$

Se N for par, a declividade de Sen será:

$$Q_{mediana} = \frac{\left[Q_{(N)/2} + Q_{(N+2)/2}\right]}{2} \tag{8}$$

O valor de $Q_{mediana}$ é então testado através de um teste bicaudal com grau de confiança de 100(1 - α) % e a declividade estimada é obtida através de um teste não paramétrico (Kahya & Kalayci, 2004).

O teste de tendência de Man-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975; Kendall & Gibbons, 1990) é um dos mais utilizados na avaliação de tendências de séries históricas naturais que se distanciam da distribuição normal, como a de qualidade da água, vazões, temperatura e precipitação (Hamed, 2009).

No teste de Mann-Kendall, também conhecido por Kendall's tau (Kahya & Kalayci, 2004), assume-se que os dados estão aleatoriamente distribuídos, caso das séries históricas naturais.

O teste estatístico de Mann-Kendall é dado com se segue (Burn et al, 2002):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i-1}^{n} Sgn(X_j - X_j) \quad (8)$$

Onde X_i e X_j são valores seqüenciais, n é o tamanho da série e

$$Sgn(\theta) = \begin{cases} +1 & \theta > 0 \\ 0 \ se & \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases} \quad (9)$$

O teste de Mann-Kendall possui dois parâmetros importantes para a análise de tendência: o nível de significância α e a declividade β (Burn et al, 2002).

A declividade β é determinada por (Hirst et al, 1982):

$$\beta = Mediana\left[\frac{(X_j - X_i)}{(j-i)}\right] \quad (10)$$

para todo $i < j$

O método LOWESS (LOcally WEighted Scatterplot Smoothing) (Cleveland et al, 1979) é um dos mais flexíveis e utilizados algoritmos de suavização (Helsel & Hirsch, 2002). Ele combina a simplicidade da regressão linear através do método dos mínimos quadrados com a flexibilidade da regressão não-linear (Croarkinet et al, 2010). O método consiste na suavização através de sucessivos ajustes de retas de mínimos quadrados ponderados, através de uma função peso (ou *Kernel*). A função tri-cúbica, para cada subconjunto de dados, é dada por (Morettin & Toloi, 2006):

$$h(u) = \begin{cases} (1 - |u|^3)^3 & \text{se } |u| < 1 \\ 0 & \text{se } |u| > 1 \end{cases} \quad (11)$$

E a função peso, para cada subconjunto de dados j, é dada por:

$$h_j(t_k) = \left(\frac{t_j - t_k}{d_j}\right) \quad (12)$$

Onde d_j é a distância do ponto médio (t_j) ao ponto mais afastado do subconjunto de dados e t_k é ponto na ordenada k. Ajusta-se, então, uma reta aos pontos do subconjunto, da forma:

$$Z = a + bt + \varepsilon \quad (13)$$

Onde os valores a e b são estimados pelos valores que minimizam a função:

$$\sum_{k=1}^{N} h_j(t_k)(Z_k - a - bt_k)^2 \quad (14)$$

Onde N é o número de períodos da série. Assim, os valores suavizados são dados por (Morettin & Toloi, 2006):

$$\widehat{Z_j} = \hat{a} + \hat{b}t_j \quad (15)$$

Neste estudo, utilizou-se uma janela (d_j) de 20 anos.

2.3.2 Análise da Transformada de *Wavelets* em Ondeletas

A análise da transformada em ondeletas (*wavelets*) vem se tornando uma ferramenta bastante utilizada para a análise de variações locais de séries temporais, uma vez que os sistemas físicos apresentam características não-estacionárias de várias freqüências (Bolzan, 2004). A decomposição destas séries em espaços de tempo-freqüência permite a determinação dos modos dominantes de variabilidade, bem como a variação destes modos no tempo (Torrence & Compo, 1998).

A análise em ondeletas consiste em decompor um sinal a diferentes níveis de resolução, processo conhecido como multiresolução (Bolzan, 2004).

Ainda segundo Bolzan (2004) a expansão em série de ondeletas e a transformada são dadas por:

$$\langle f, \Psi_{a,b} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Psi \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (16)$$

Onde:

Ψ(t) é a função base geradora simples;

a é a variável de dilatação;

b é a variável de translação;

t é o tempo.

O termo ondeleta refere-se a um conjunto de funções com forma de pequenas ondas gerada por dilatações e translações, de uma função base geradora (Bolzan, 2004).

Existem dois tipos básicos de funções ondeletas: ondeletas contínuas e discretas. Dentre as contínuas, a mais comum e a utilizada neste estudo foi a ondeleta de Morlet, dada por (Moura *et al*, 2010):

$$\Psi(t) = e^{i\omega_0 t} e^{-t/2} \quad (17)$$

Onde:

i é o parâmetro de compressão e dilatação da onda;

ω_0 é o parâmetro de freqüência;

A função ondeleta de Morlet possui o parâmetro de frequência igual a 6 (Moura *et al*, 2010).

Neste estudo foram utilizadas as bandas de padrões mais bem definidos na região (conforme

sugere a figura 1) e o resíduo (as demais características de variação da série). Se o resíduo indica alguma tendência, isto pode estar associado mudanças no clima, visto que os principais padrões de variação climática estão dispostos nas principais bandas da transformada de ondeleta.

3. Resultados

Na figura 2 é mostrado o espectro de potência variação da série de precipitações observada no período de 1901 a 1999. Notam-se três padrões de variação: 3 a 6 anos, 4 a 14 anos e 19 a 33 anos. Para avaliar a tendência dos modelos a partir da transformada de wavelets serão consideradas essas três bandas mais o resíduo.

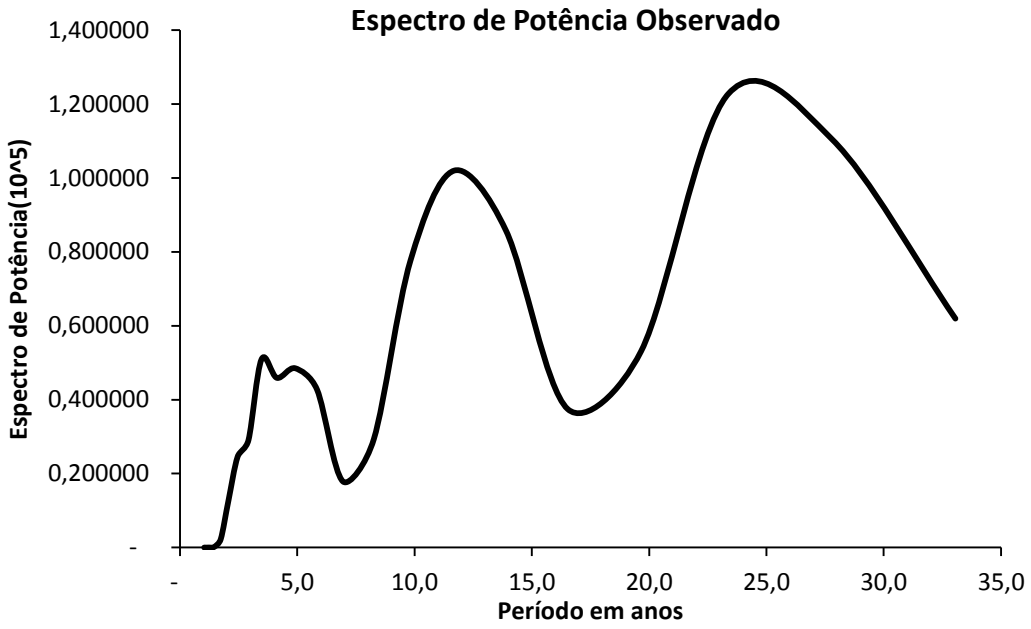

Figura 1 – Espectro de Potência observado da série CRU/NOAA de 1901 a 1999 (Lázaro et. al., 2011).

Na tabela 2 é mostrado o resultado do teste de hipótese usando Mann-Kendall-Sen e declividade da tendência dos modelos que passam na hipótese nula. Onze modelos indicaram tendência significativa segundo esse método, indicando que há uma tendência de redução ou aumento de precipitações no século XXI. Apenas 2 indicaram redução e 9 deles indicaram aumento das precipitações sobre o Nordeste Setentrional Brasileiro.

Tabela 2- Teste de hipótese segundo Mann-Kendall-Sem e declividade da tendência.

Modelos	Teste de Hipótese	Inclinação
bccr_bcm2_0	0	-
cccma_cgcm3_1	0	-
cccma_cgcm3_1_t63	0	-
cnrm_cm3	1	0,0208
csiro_mk3_0	1	0,0200
gfdl_cm2_0	0	-
gfdl_cm2_1	0	-
giss_aom	1	0,0158
giss_model_e_h	0	-
giss_model_e_r	1	0,0212
iap_fgoals1_0_g	1	-0,0088
ingv_echam4_	0	-
inmcm3_0	1	0,0089
ipsl_cm4	1	0,0370
miroc3_2_hires	1	0,0171
miroc3_2_medres	0	-
miub_echo_g	0	-
mpi_echam5	0	0,0068
mri_cgcm2_3_2a	0	-
ncar_ccsm3_0	0	-
ncar_pcm1	1	0,0108
ukmo_hadcm3	1	-0,0152
ukmo_hadgem1	1	0,0136

Na figura 2 são mostradas as tendências das precipitações dos três melhores modelos do IPCC-AR4 no século XX, segundo a avaliação proposta por Lázaro et.al. (2011) (CSIRO_MK_3_0; GISS_AOM e UKMO_HADCM3), para o cenário A1B de 2010 a 2099. Os modelos CSIRO_MK_3_0 e GISS_AOM indicam uma tendência positiva, enquanto o modelo UKMO_HADCM3 indica uma tendência de redução de chuvas, conforme mostra a tabela 2, possuindo a maior inclinação de redução para o teste de Man-Kendall-Sen.

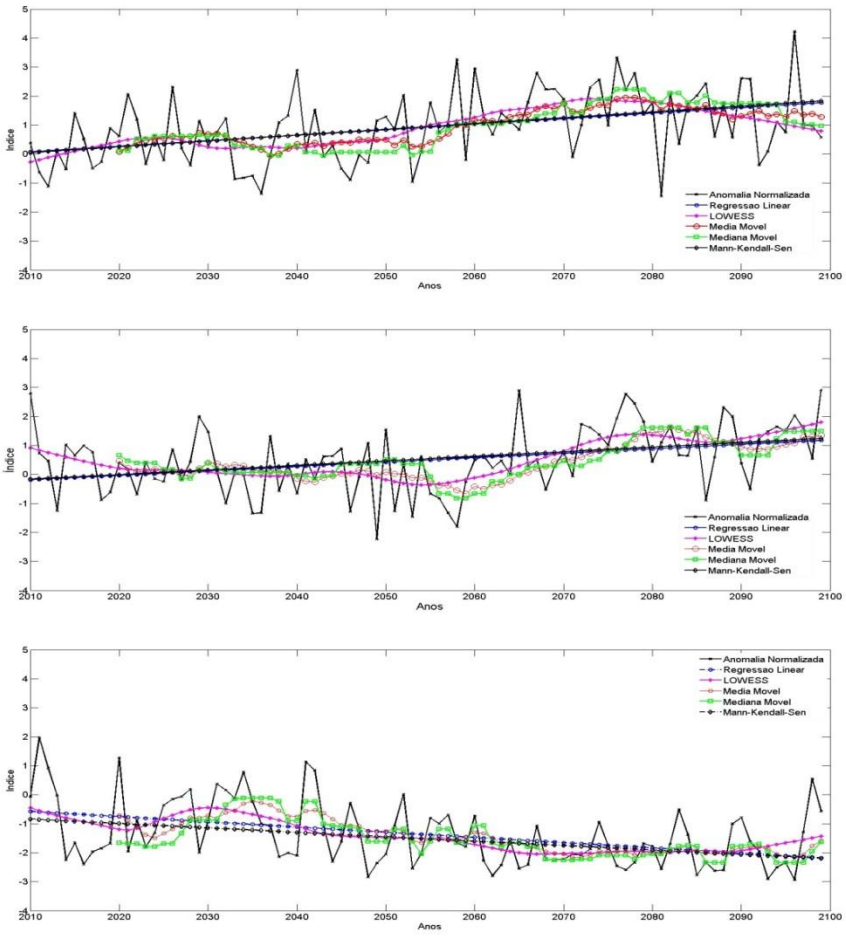

Figura 2 - Séries de Precipitações Normalizadas de 2010 a 2099 e medidas de tendência. Dos seguintes modelos: (a) CSIRO_MK_3_0; (b) GISS_AOM e (c)UKMO_HADCM3.

Na figura 3 são mostradas as séries das principais das bandas de frequência obtidas através da transformada de *wavelets* no século XX e resíduo da série dos três melhores modelos do IPCC-AR4, segundo a avaliação proposta por Lázaro et.al. ,2011 (CSIRO_MK_3_0; GISS_AOM e UKMO_HADCM3), para o cenário A1B de 2010 a 2099. O resíduo dos modelos CSIRO_MK_3_0 e GISS_AOM indicam uma tendência positiva na segunda metade do século. Enquanto o modelo UKMO_HADCM3 indica uma tendência de redução de chuvas também na segunda metade, sendo

a maior tendência negativa para esse cenário no século XXI.

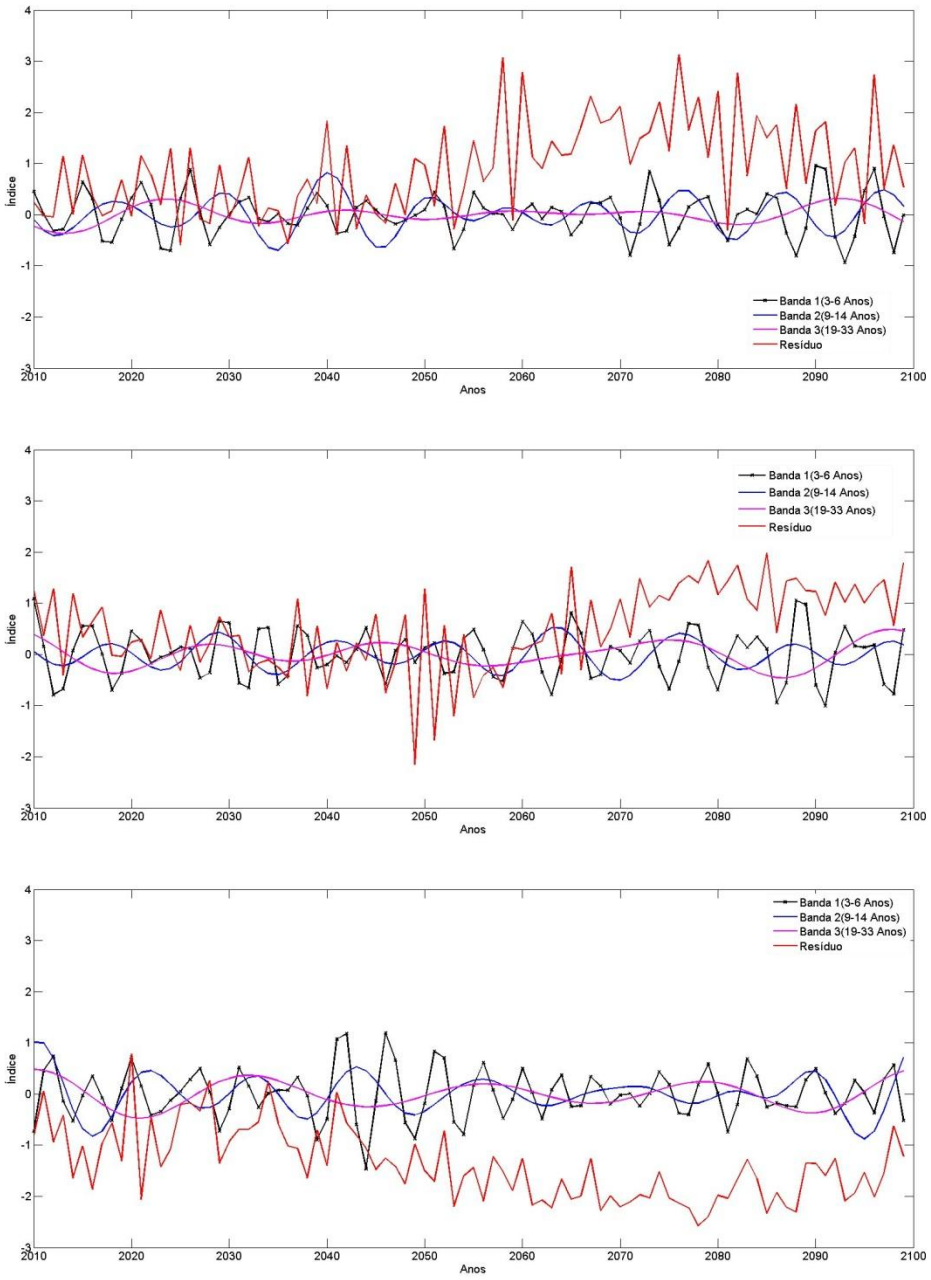

Figura 3- Bandas da transformada de *Wavelets* dos principais padrões de variação do século XXI e resíduo. Dos seguintes modelos: (a) CSIRO_MK_3_0; (b) GISS_AOM e (c)UKMO_HADCM3.

4. Conclusões

A maioria dos modelos do IPCC-AR4 para o cenário A1B são conservadores quanto às projeções relativas ao século XXI para região do Nordeste Setentrional Brasileiro, com 12 dos 23 modelos avaliados não indicando tendência significativa segundo o teste Man-Kendall-Sen.

Dos três melhores modelos segundo a avaliação proposta por Lázaro et. al. ,2011, destaca-se que:

- os modelos CSIRO_MK_3_0 e GISS_AOM indicam uma tendência positiva;
- enquanto o modelo UKMO_HADCM3 indica uma tendência de redução de chuvas, possuindo a maior inclinação de redução para o teste de Man-Kendall-Sen.

O modelo IPSL_CM4 indica a maior tendência de aumento de precipitações no Nordeste Setentrional Brasileiro do século XXI.

5. Referências

ALEXANDRE, G. R., BAPTISTA, M. B., NAGHETTINI, M., *Estudo para Identificação de Tendências do Regime Pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a Partir de Métodos Estatísticos*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 15 Nº 2 Abr/Jun 2010, 115-126;

ALVES, B. C.C; SOUZA FILHO, F.A; SILVEIRA,C.S. Análise de Tendências e Padrões de Variação das Séries Históricas de Vazões do Operador Nacional do Sistema (ONS), XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011 (em submissão).

BOLZAN, M. J. A., *Análise da transformada em ondeletas aplicada em sinal geofísico*. Revista Brasileira de Ensino de Física. Volume 26 Nº 1, 37-41, 2004;

BURN, D. H., ELNUR, M. A. H., *Detection of hydrologic trends and variability*. Journal of Hydrology 255 (2002), 107-122;

COSTA DOS SANTOS, C. A., BARBOSA DE BRITO, J. I., RAMANA RAO, T. V., ALENCAR MENEZES, H. E., *Tendências dos Índices de Precipitação no Estado do Ceará*. Revista Brasileira de Meteorologia v.24, n.1, 39-47, 2009.

CHIEW, F., MCMAHON, T., detection of trend or change in annual flow of Australian rivers. Int. J. Climatol., 13, 643-653.

DIAS DE PAIVA, E. M. C, CLARKE, R. T., *Time trends in rainfall records in Amazônia***.** Bull. Amer. Meteor. Soc., 75, 579-583.

GAISER,T. ;KROL, M.; FRISCHKORN, H. ; ARAÚJO, J. C. *Global Change and Regional Impacts*. Springer, 2003.

HAMED, K. H., *Exact distribution of the Mann-Kendall trend test statistic for persistent data*. Journal of Hydrology 365 (2009), 86-94;

HAYLOCK, M., PETERSON, T., ALVES, L., AMBRIZZI, T., ANUNCIAÇÃO, M., BAEZ, J., BARROS, V., BERLATO, M., BIDEGAIN, M., CORONEL, G., CORRADI, V., GARCIA, V., GRIMM, A., KAROLY, D., MARENGO J. A., MARINO, M., MONCUNILL, D., NECHET, D., QUINTANA, J., REBELLO, E., RUSTICUCCI, M., SANTOS, J., TREBEJO, I., VINCENT, L., *Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature, Journal of Climate* Volume 19, Issue 8 (April 2006) pp. 1490-1512.

HELSEL, D. R., HIRSCH, R. M., *Statistical Methods in Water Resources*. In: Hydrologic Analysis and Interpretation. U.S. Geological Survey, Techniques of Water-Resources Investigations Book 4, Chapter A3. 2002;

HIRSCH, R. M. SLACK, J. R., SMITH, R. A., *Techniques of trend analysis for monthly water quality data*. Water Resources Research 18 (1982), 107-121;

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.

KAHYA, E., KALAYCI, E., *Trend analysis of streamflow in Turkey*. Journal of Hydrology 289 (2004), 128-144;

KENDALL, M. G., *Rank Correlation Measures*. Ed. Charles Griffin. London, 1975;

KENDALL, M. G., GIBBONS, J. D., *Rank Correlation Methods*. 5ª ed. Ed. Griffin. London, 1990;

LÁZARO, Y.M.C.; SILVEIRA, C.S.; SOUZA FILHO, F. A. Avaliação de Desempenho dos Modelos do IPCC no Nordeste Setentrional brasileiro quanto a variabilidade interanual e interdecadal de precipitação no século XX. Revista brasileira de Recursos Hídricos, 2011(em submissão).

LETTENMAIER, D., WOOD, E., WALLIS J., *Hydro-clymatological trends in the continental United States***,** 1948-88, J. Climate. 7, 586-607.

MANN, H. B., *Non-parametric tests against trend.* Econometrica 13, 245-259;

MANTUA, N. J., HARE, S. R., *The Pacific Decadal Oscillation*. Journal of Oceanography, Vol. 58, 35-44, 2002;

MARENGO, J. A., VALVERDE, M. 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. 8 2007.

MARENGO, J., TOMASELLA, J., UVO, CRB, *Trends in streamflow and rainfall in tropical South*

American: Amazonia, eastern Brazil and northwestern Peru. J. Geophys. Res., 103, 1775-1783. 1988.

MARENGO, J., *Variations and change in South American streamflow.* Clim. Change, 31, 99-117. 95.

Marengo, J A., J. Tomasella, C. Uvo. *Tendências de Vazões e precipitações na America do Sul tropical: Amazônia, leste do Brasil e noroeste do Peru.* J. Geophys. Res., 103 1775-1784, 1998.

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.

MORAES J. M., GENOVEZ A. M., MORTATTI, J., BALLESTER, M.V., MARTINELLI, L. A. & VICTORIA, R. L. *Análise de intervenção das séries temporais de vazão dos principais rios da bacia do Rio Piracicaba.* Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2 (2): 65-79, 1997.

MOURA, E. da S., SANTOS, C. A. M dos, SILVA, D. F., *Detecção de ciclos e escalas temporais na vazão do Rio Salgado através de análises de ondeletas.* II Congresso Cearense de Agroecologia. Juazeiro do Norte, 2010;

MORETTIN, P. A., TOLOI, M. C. C., *Análise de Séries Temporais.* 2ª Edição. Editora Egard Blucher. São Paulo, 2006.

NAGHETTINI, M., PINTO, É. J. de A., *Hidrologia Estatística*. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Belo Horizonte, 2007;

PRESS, W., FLANNERY, B., TEUKOLSKY, S., VETTERLING, W., Numerical Recipes. *The arts of Scientific Computing. (Fortran version).* University Press. New York. 702pp. 1989.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. *Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN.* Revista Brasileira de Meteorologia, v. 22, n. 3, p. 303-312, 2007.

TORRENCE, C., COMPO, G. P., A *Practical Guide to Wavelet Analysis.* Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Colorado, Boulder, Colorado, 1998;

XU, Z. X., TAKEUCHI, K., ISHIDAIRA, H., *Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation.* Journal of Hydrology 279 (2003) 144-150;

WALPOLE, R. E., MYERS, R. H.,MYERS, S. L. & YE, K., *Probability & Statistics for Engineers & Scientistis.* 8ª Edição. Editora Pearson–Prentice Hall. New Jersey, 2007.