

# AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS MODELOS DE MUDANÇA CLIMÁTICO DO IPCC-AR4 QUANTO A SAZONALIDADE E OS PADRÕES DE VARIABILIDADE INTERANUAL DA PRECIPITAÇÃO SOBRE A AMÉRICA DO SUL

*Cleiton da Silva Silveira<sup>1</sup>; Francisco de Assis de Souza Filho<sup>2</sup>; Yvonne Magdalena Campos Lázaro<sup>3</sup>; Wesley de Sousa Fernandes<sup>4</sup>*

**RESUMO** --- Os modelos globais do quarto relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) são avaliados para o Nordeste Setentrional do Brasil quanto à representação precipitação para o período de 1901 a 1999. Essa avaliação é realizada utilizando-se os dados do Climatic Research Unit (CRU) e a reanálise 20th Century Reanalysis V2 do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Os modelos são classificados através de índices de correlação e erro quadrático médio. Propõe-se a criação de um índice de desempenho para avaliação sazonal e interanual dos modelos. A avaliação sazonal é baseada em medidas de correlação e erro quadrático médio. Enquanto para avaliação interanual é usada a transformada de Wavelets, em seguida é calculada a correlação entre os espectros de potência observada e modelado e a distância euclidiana entre a variância das principais bandas. Os melhores modelos segundo esses critério foram: na região da Amazônia o giss.model.e.r.run6, no NEB o csiro.mk3.0.run2 e na Bacia da Prata o csiro.mk3.0.run2.

**ABSTRACT** --- The global models of the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report (IPCC-AR4) are evaluated for the representation of the precipitation in the South America for the period 1901 to 1999. This evaluation is performed using data from the Climatic Research Unit (CRU) and the 20th Century Reanalysis V2 of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). It proposed the creation of a performance index for assessing seasonal and multi-annual models. As for multi-annual assessment is used to transform Wavelets then is calculated the correlation between the power spectra of observed and modeled and the Euclidean distance between the variance of the main bands. The best models according to these criteria were: in the Amazon region giss.model.errun6 in csiro.mk3.0.run2 the NEB and the Plata Basin csiro.mk3.0.run2.

**Palavras-chave:** IPCC-AR4, América do Sul e cenário 20C3M

---

<sup>1</sup> 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

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

<sup>3</sup> Mestranda em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.

<sup>4</sup> Mestrando em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.

## 1. INTRODUÇÃO

Significativo desenvolvimento tem ocorrido nas últimas décadas acerca do conhecimento do clima em suas diversas escalas de ocorrência. Neste a questão das mudanças climáticas antropogênicas tem tido bastante destaque. Diversos autores identificam aumento da temperatura do planeta e sobre o Brasil nas últimas décadas combinados com modificações nos campos de precipitação associados a estas ocorrências as Mudanças Climáticas (Marengo e Valverde, 2007; Marengo e Soares, 2005). Essas têm sido alvo de discussões e pesquisas científicas em todo mundo com vistas ao entendimento de sua ocorrência (IPCC, 2007(a); Nobre, 2005; Duursma, 2002), 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.

As mudanças climáticas estão associadas ao crescimento populacional e ao modelo de desenvolvimento. O crescimento populacional acelerado, devido à revolução industrial, a evolução da medicina e os avanços tecnológicos em diversas áreas de conhecimento, aliados ao aumento exponencial na demanda por energia e recursos naturais trouxe consigo grandes quantidades de emissões de gases estufas (dióxido de carbono, metano, óxido de nitrogênio) na atmosfera.

Desde 1988, quando foi criado o IPCC, os principais centros de meteorologias reúnem-se para publicar relatórios sobre os possíveis cenários de emissão de gases estufas na atmosfera e os impactos nas diversas variáveis climáticas. Até então 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)).

Na América do Sul existem regiões que são notadamente extremamente sensíveis a variações ou mudanças climáticas: o Nordeste do Brasil, a região amazônica e a Bacia da Prata.

O Nordeste do Brasil (NEB) apresenta clima semiárido com intensa variabilidade temporal e espacial de chuvas (Molion e Bernardo, 2002; Albuquerque et al., 2009) associada historicamente a significativos impactos sociais e econômicos sobre a região 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.

Vários estudos vêm sendo realizados para retratar e tentar avaliar os impactos referentes aos notáveis desequilíbrios sofridos na região amazônica (Albuquerque et al., 2009). Além desta, a região da Bacia da Prata é também objeto de estudo por se tratar da principal fornecedora de energia

elétrica do Brasil, e impactos climáticos nessa região poderia ocasionar mudanças na oferta hídrica e energética do país.

Os diferentes modelos do IPCC têm cenários divergentes para as precipitações em várias regiões do planeta. Alguns apresentam aumento de precipitação e outros modelos redução das mesmas. Surgindo desta forma a questão, qual destes modelos melhor representa o regime de precipitações sobre o a região?

O objetivo do presente estudo é desenvolver uma metodologia de avaliação da habilidade dos modelos do IPCC-AR4 de prever o regime de chuvas e aplicar esta a América do Sul. Esta avaliação poderá qualificar melhor os cenários dos modelos para o século XXI.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Região de Estudo

Utilizaram-se três grades uma de 0° a 10°S de latitude e 33° O a 44° O de longitude sobre o Nordeste Setentrional Brasileiro assim como uma porção do Oceano Atlântico, conforme mostra a Figura 1 na grade 1. A segunda grade de inclui a região 3,5°N a 12,0°S de latitude 75,50 °O a 49 °O de longitude sobre a Amazônia, conforme mostra a Figura 1 na grade 2. A terceira grade vai de 36°S a 16,5°S de latitude e longitude 64 °O a 44 °O, incluindo a Bacia da Prata, conforme a Figura 1 na grade 3.

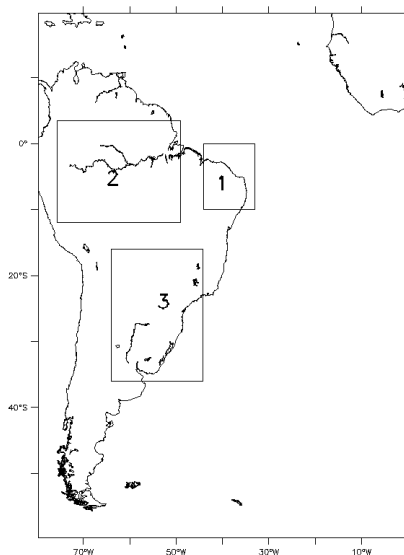


Figura 1 – América do Sul, destaque para as grades 1, 2 e 3. Estas representam, respectivamente, o Nordeste Setentrional brasileiro, Amazônia e Rio Prata.

### **2.1.1 Região Nordeste do Brasil**

O nordeste brasileiro possui um ciclo anual bem definido, onde predominam duas estações distintas: a estação de chuva e a estação seca (Albuquerque et.al, 2009). 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 (Uvo e Nobre, 1987) 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).

### **2.1.2 Região da Amazônia**

A região amazônica possui uma grande diversidade biológica e étnica, nos últimos anos destaca-se em diversos estudos (Albuquerque et.al, 2009) a grande contribuição no clima a nível global dessa região. Essa contribuição se dá tanto por meio da sua extensa área florestal, que influencia bastante na circulação atmosférica global, como também de sua contribuição hídrica com uma precipitação média de 2.300mm por ano responsável por 220.000 m<sup>3</sup>/s de descarga média do rio Amazonas no oceano (18% da descarga total de água fresca nos oceanos), tornando-se assim facilmente uma região reguladora dos balanços hídricos e energéticos a nível global (Albuquerque et.al, 2009).

Em termos de sazonalidade o início da estação chuvosa no sul da Amazônia ocorre na primavera, ocorrendo os máximos de chuva no verão. Já para a região central que vai desde o oeste até a foz do Amazonas os máximos de chuva ocorrem no outono. Para o extremo norte a máxima de chuvas ocorre no inverno, época responsável pela estação seca nas regiões Central e Sul da Amazônia. Os trimestres mais secos na região Norte mudam progressivamente de setembro/outubro/novembro no extremo norte, para agosto/setembro/outubro, numa longa faixa latitudinal desde o oeste da região Nordeste; para julho/agosto/setembro no vale da bacia Amazônica, sobretudo a oeste, e para junho/julho/agosto na parte sul. Segundo Rao e Hada (1990),

estações localizadas no hemisfério Norte, como Oiapoque (3°N, 60°W), exibem o máximo de chuvas durante o inverno austral (jun/jul/ago) e o mínimo durante o verão austral (dez/jan/fev).

### **2.1.2 Região da Bacia Prata**

A bacia da Prata é a segunda maior bacia hidrográfica do planeta. Ao se encontrarem no território argentino seus três principais rios Paraná, Paraguai e Uruguai formam o rio da Prata. A bacia do rio Paraná apresenta o maior potencial hidrelétrico instalado do Brasil, além de trechos importantes para a navegação, pesca e outros usos relevantes.

## **2.2. Dados observacionais**

A base de dados observacionais utilizadas para verificar a destreza dos modelos do IPCC sobre o continente são provenientes da University of East Anglia/Climate Research Unit (CRU) (New et. al, 1999 e New et. al, 2001) (<http://badc.nerc.ac.uk/data/cru/>). Enquanto na porção da grade sobre oceano são usadas as reanálises 20th Century Reanalysis V2 (Compo, 2004; Whitaker, 2006)(NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, EUA, a partir do seguinte site: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>) fornecidos pelo National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

O conjunto de dados utilizado corresponde à climatologia de precipitação de 1901 a 1999, com resolução de 0,5 graus para o continente (CRU TS 3.0) e 2,0 graus para oceano (20th Century Reanalysis V2).

## **2.2. Modelos do IPCC**

Os dados provenientes do IPCC são simulações de modelos globais de alguns grandes centros de meteorologia que participam desse relatório (conforme Tabela 1), a partir das próprias observações do século XX e de possíveis cenários futuros criados de emissões globais de gases de efeito estufa nos próximos séculos.

## **2.3. Critérios de Avaliação do Desempenho dos modelos do IPCC quanto à representação da sazonalidade**

Utilizou-se como critério de avaliação a representação da sazonalidade das precipitações. A representação da sazonalidade é de grande relevância para a avaliação dos impactos do clima em

---

recursos hídricos e agricultura. O início do plantio das culturas é o regime fluvial são condicionados pela distribuição temporal das chuvas. Uma má representação desta sazonalidade compromete a avaliação dos impactos das mudanças climáticas sobre estas duas importantes áreas. Adicionalmente pode-se avaliar que os totais de precipitações mensais e sua sazonalidade são considerados como indicativo da qualidade que o modelo tem de representar os sistemas geradores de chuvas e sua ocorrência.

Para avaliação dos modelos foi feita a climatologia mensal média sobre a região de estudo para todos os modelos dos IPCC e a observação (CRU continente e NOAA oceano, sem interpolação), em seguida é feita uma comparação com base em alguns índices estatísticos para que possam ser definidos que modelos possuem melhor comportamento para região Nordeste Setentrional do Brasil.

As medidas estatísticas utilizadas, cujas definições estão indicadas a seguir, são: raiz do erro quadrático médio da contribuição percentual mensal em relação às chuvas anuais (RMSE\_PC) e as correlação (CORREL) (Wilks, 1995).

Tabela 1 – Modelos do IPCC, topo do modelo e sua respectiva resolução.

<b>Designação do Modelo</b>	<b>Topo do modelo /Resolução</b>
BCC-CM1	25 hPa/ T63 (1.9° x 1.9°) L16
BCCR-BCM2	10 hPa/ T63 (1.9° x 1.9°) L31
CCCMA-CGCM3 1-T47	1 hPa/ T47 (~2.8° x 2.8°) L31
CCCMA-CGCM3 1-T63	1 hPa/ T63 (~1.9° x 1.9°) L31
CNRM-CM3	0.05 hPa/ T63 (~1.9° x 1.9°) L45
CONS-ECHO-G	10hPa/ T30 (~3.9° x 3.9°) L19
CSIRO-MK3	4.5 hPa/ T63 (~1.9° x 1.9°) L18
CSIRO-MK3.5	4.5 hPa/ T63 (~1.9° x 1.9°) L18
GFDL-CM2.0	3 hPa/ 2.0° x 2.5° L24
GFDL-CM2.1	3 hPa/ 2.0° x 2.5° L24
INM-CM3.0	10 hPa/ 4° x 5° L21
INGV-SXG2005	10hPa/ T106 ( 1,125° x1,125°)
IPSL-CM4	4 hPa/ 2.5° x 3.75° L19
LASG-FGOALS-G1.0	2.2 hPa/ T42 (~2.8 x 2.8°) L26
MPIM-ECHAM5	10 hPa/ T63 (~1.9° x 1.9°) L31
MRI-CGCM2.3.2	0.4 hPa/ T42 (~2.8° x 2.8°) L30
NASA-GISS-AOM	10hPa/ 3° x 4° L12
NASA-GISS-EH	0.1 hPa/ 4° x 5° L20
NASA-GISS-ER	0.1 hPa/ 4° x 5° L20
NCAR-CCSM3	2.2 hPa/ T85 (1.4° x 1.4°) L26
NCAR-PCM	2.2 hPa/ T42 (~2.8° x 2.8°) L26
NIES-MIROC3.2-HI	40 km T 106 (~1.1° x 1.1°) L56
NIES-MIROC3.2-MED	30 km T42 (~2.8° x 2.8°) L20
UKMO-HADCM3	5 hPa/ 2.5° x 3.75° L19
UKMO-HADGEM1	39.2 km/ ~1.3° x 1.9° L38

A raiz do erro quadrático médio percentual ( $RMSE_{PC}$ ) é a raiz quadrada da média das diferenças individuais quadráticas entre a contribuição percentual mensal das chuvas modeladas nos totais anuais e a contribuição percentual mensal das chuvas observadas nos totais anuais o, e é definida pela equação:

$$RMSE_{PC} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{100P_i}{\sum_{j=1}^n P_j} - \frac{100A_i}{\sum_{j=1}^n A_j} \right)^2} \quad (1)$$

Onde n são os meses, P é previsão de cada mês e a Análise considerada como observação.

Valores grandes do  $RMSE_{PC}$  representam grandes erros nos campos previstos, e valores próximos de zero indicam uma previsão quase perfeita. Elevando ao quadrado o termo da diferença, o  $RMSE_{PC}$  tende a dar maior peso às grandes discrepâncias entre os campos observados e previstos.

A correlação pode assumir valores entre -1 e 1 que indicam, respectivamente, perfeita anticorrelação e perfeita correlação, havendo ainda a total ausência de correlação verificada com um resultado igual a zero. Este índice tem a capacidade de detectar correspondência de fase entre as séries, sendo, por construção, insensível a erros de viés.

$$CORREL = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (A_i - \bar{A})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^{i=n} (A_i - \bar{A})^2}} \quad (2)$$

Ao final do cálculo desses três índices é feita uma avaliação ponderada para que os modelos possam ser classificados, dada por:

$$AVAL_s = \alpha_c \left( \frac{CORREL - CORREL_{MIN}}{CORREL_{MAX} - CORREL_{MIN}} \right) + \alpha_r \left( \frac{RMSE_{PC_{MAX}} - RMSE_{PC}}{RMSE_{PC_{MAX}} - RMSE_{PC_{MIN}}} \right) \quad (3)$$

$$\alpha_c + \alpha_r = 1 \quad (4)$$

Sendo,  $CORREL_{MIN}$  a menor correlação obtida entre os modelos do IPCC e  $CORREL_{MAX}$  a máxima correlação. Assim como,  $RMSE_{PC_{MAX}}$  é o máximo erro quadrático médio percentual dos modelos do IPCC e  $RMSE_{PC_{MIN}}$  o mínimo.

As variáveis  $\alpha_c$  e  $\alpha_r$  assumem valores entre 0 e 1 (conforme equação 4), para  $\alpha_c > \alpha_r$  então a correlação exerce maior influencia na avaliação do modelo. Enquanto para  $\alpha_r > \alpha_c$  então o  $RMSE_{PC}$  dos modelos possui maior peso na avaliação. Já  $\alpha_r = \alpha_c = 0,5$  as duas métricas utilizadas neste trabalho exercem o mesmo efeito sobre o valor de  $AVAL_s$ .

Ao considerar  $\alpha_r = 0$  então  $\alpha_c = 1$ , isto indica que apenas a correlação será usada na avaliação dos modelos. Assim como se  $\alpha_r = 1$  então  $\alpha_c = 0$ , neste caso apenas o RMSE\_PC será usado na avaliação dos modelos.

A variável AVAL<sub>s</sub> assume valores entre 0 e 1 que indicam, respectivamente, o pior entre os modelos avaliados e o melhor deles.

## 2.4. Avaliação espacial do desempenho dos modelos do IPCC quanto à representação da sazonalidade espacial

As análises fornecidas pelo CRU e as reanálises do 20th Century Reanalysis V2 de 1901 a 1999 são usadas para avaliar os modelos do IPCC, respectivamente para o continente e oceano.

As análises do CRU (0,5° x 0,5°) são interpoladas para grade do 20th Century Reanalysis V2 (2° x 2°), sendo chamadas neste trabalho de análise CRU/NOAA. Em seguida, as previsões dos pontos de grade dos modelos do IPCC são interpoladas para esta grade, conforme equação 5. A precipitação interpolada para os pontos da grade da análise CRU/NOAA constitui-se de uma média ponderada das precipitações dos pontos fornecidas pelo modelo do IPCC em questão (equação 5), tal que as funções-peso são dadas conforme a equação (6).

$$P_A = \frac{\sum_{N=1}^N W_N P_N}{\sum_{N=1}^N W_N} \quad (5)$$

$$W_N = \exp\left(-\sqrt{\left(\frac{X_{IPCC} - X_A}{K_X}\right)^2 + \left(\frac{Y_{IPCC} - Y_A}{K_Y}\right)^2}\right), \quad (6)$$

Se  $w_N > \exp(-R^2)$ , então  $w_N = 0$ ;

onde  $X_A$  e  $Y_A$  são as coordenadas dos pontos de grade da análise CRU/NOAA;  $X_{IPCC}$  e  $Y_{IPCC}$  são as coordenadas dos modelos do IPCC;  $N$  é o número de ponto de grade do modelo do IPCC avaliado;  $P_N$  são as precipitações em cada ponto de grade do modelo do IPCC avaliado;  $W_N$  são os pesos de cada ponto grade do modelo do IPCC avaliado em relação ao ponto de grade da análise CRU/NOAA;  $P_A$  são as precipitações de cada ponto de grade depois da interpolação;  $K_X$ ,  $K_Y$  e  $R$  são constantes.

Para as constantes  $K_X$ ,  $K_Y$  e  $R$  foi atribuído o valor de 1.

Para a avaliação espacial foi considerado o mesmo método descrito da secção 2.3.



## 2.5. Critérios de Avaliação do Desempenho dos modelos do IPCC quanto à representação da variabilidade pluri-anual

### 2.5.1. Métodos de Análise de Séries Temporais – Wavelets

Diante da dificuldade em se caracterizar as variabilidades tanto de espaço como de tempo no padrão de chuvas, torna-se necessário utilizar-se um método de análise adequado na localização temporal das estruturas de multiescalas. O método usado neste estudo é a Transformada de *Wavelets* (TW). Este método é recomendado para o estudo de fenômenos transientes, espacialmente heterogêneos e que atuam simultaneamente em várias escalas do escoamento (Torrence e Compo, 1998).

A TW é definida em termos de uma integral de convolução entre o sinal analisado  $f(t)$  e uma função *wavelet* conhecida, expressa por:

$$C(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\psi_{a,b}(t)dt \quad (7)$$

em que os parâmetros  $a$  e  $b$  variam continuamente em  $\mathbb{R}$ , com  $a \neq 0$ , e

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a \in \mathbb{R}^+ \text{ e } b \in \mathbb{R} \quad (8)$$

Sendo as funções  $\psi_{a,b}$  chamadas *wavelets* filhas e são geradas a partir de dilatações e translações da *wavelets*-mãe  $\psi(t)$ . A função *wavelet* considerada para a análise foi a de Morlet dada pela seguinte expressão:

$$\psi(t) = e^{iw_0t} e^{-\eta^2/2} \text{ com } w_0=6 \text{ e } \eta=t/s \quad (9)$$

Onde  $t$  é o tempo e  $s$  é a escala da *wavelet*. Esta função é complexa e possui características semelhantes às da série temporal analisado, tais como simetria ou assimetria, variação temporal brusca ou suave (Vitorino, 2003; Schneider, 2004). O algoritmo usado foi o desenvolvido por Torrence e Compo (1998).

### 2.5.2. Critérios de Avaliação

Para avaliação dos modelos é calculado os espectros globais anuais sobre as regiões de estudo para todos os modelos do IPCC e as observações (CRU/NOAA). Em seguida, é feita uma comparação entre os espectros dos dados observados e das rodadas dos modelos do IPCC para que possam ser definidos que rodadas possuem melhor desempenho para a região de estudo. As medidas estatísticas utilizadas, cujas definições estão indicadas a seguir, são: correlação entre os espectros de

potência (CORREL) (conforme equação 2) e a distância da variabilidade das variâncias das rodadas dos modelos (DIST).

A distância D indica a variabilidade das variâncias das rodadas dos modelos quanto às variâncias dos dados observados por bandas e é definida pela equação:

$$DIST^2 = \sum_{i=1}^n (Var_{BANDAobs} - Var_{BANDAmoD})^2 \quad (10)$$

onde  $i$  é o número de bandas avaliado,  $Var_{BANDAobs}$  é a variância por banda da série observada e  $Var_{BANDAmoD}$  é a variância da banda das rodadas dos modelos. Valores grandes de D indicam uma distancia maior entre as variâncias das modelos quanto à variância da série observada das três bandas avaliadas.

Ao final do cálculo desse índice é feita uma avaliação ponderada para que os modelos possam ser classificados, dada por:

$$AVAL_p = \beta_c \left( \frac{CORREL - CORREL_{MIN}}{CORREL_{MAX} - CORREL_{MIN}} \right) + \beta_r \left( \frac{DIST_{MAX} - DIST}{DIST_{MAX} - DIST_{MIN}} \right) \quad (11)$$

tal que

$$\beta_c + \beta_r = 1 \quad (12)$$

Sendo,  $CORREL_{MIN}$  a menor correlação obtida entre os modelos do IPCC e  $CORREL_{MAX}$  a máxima correlação. Assim como,  $DIST_{MAX}$  é a máxima distância das variabilidades por bandas das rodadas dos modelos e  $DIST_{MIN}$  o mínimo.

As variáveis  $\beta_c$  e  $\beta_r$  assumem valores entre 0 e 1 (conforme equação 12). Para valores  $\beta_c > \beta_r$ , a correlação exerce maior influência na avaliação do modelo, enquanto que para  $\beta_c < \beta_r$  a distancia entre as variabilidades dos modelos possui maior peso na avaliação. Já para  $\beta_c = \beta_r = 0,5$ , as duas métricas exercem o mesmo efeito sobre o valor de  $AVAL_p$ . A variável  $AVAL_p$  assume valores entre 0 e 1 que indicam, respectivamente, o pior entre os modelos avaliados e o melhor deles, segundo este critério.

## 2.6. Critérios de Avaliação Geral

Na figura 2 são mostrados os critérios de avaliação dos modelos do IPCC-AR4 para o período de 1901 a 1999. Depois de calculado  $AVAL_p$  e  $AVAL_s$  de todos os modelos é sugerido um índice geral,  $AVAL_t$ , conforme equação 13:

$$AVAL_t = \gamma_s \left( \frac{AVAL_s - AVAL_{sMIN}}{AVAL_{sMAX} - AVAL_{sMIN}} \right) + \gamma_p \left( \frac{AVAL_p - AVAL_{pMIN}}{AVAL_{pMAX} - AVAL_{pMIN}} \right) \quad (13)$$

$$\gamma_s + \gamma_p = 1 \quad (14)$$

As variáveis  $\gamma_c$  e  $\gamma_r$  assumem valores entre 0 e 1 (conforme equação 13). Para  $\gamma_c = \gamma_r$ , AVALs e AVALp exercem o mesmo efeito sobre o valor de AVALt.

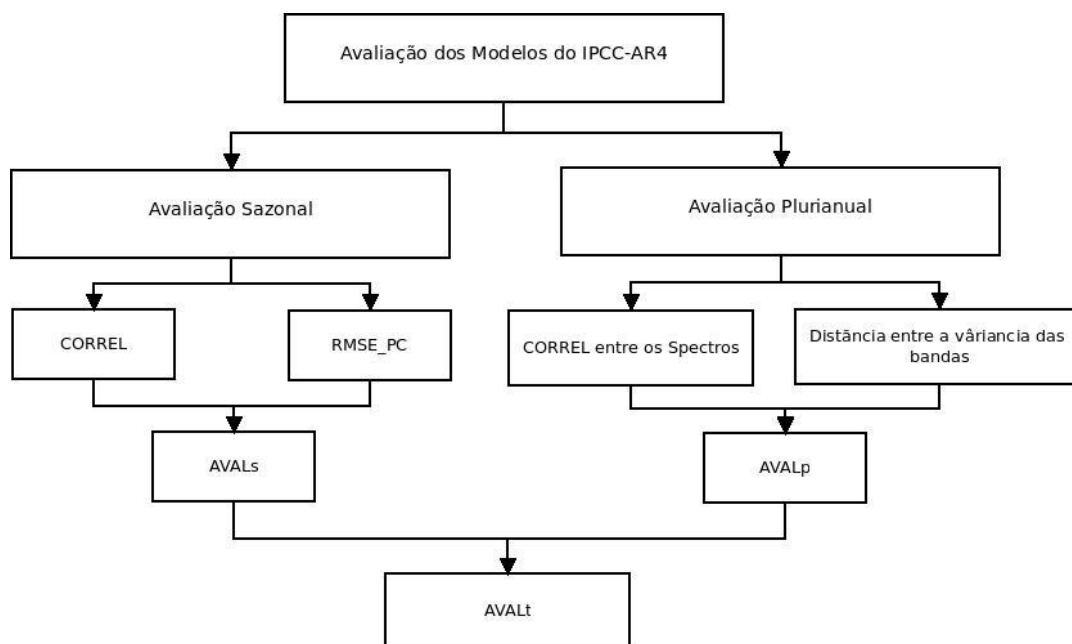


Figura 2 – Critérios de avaliação dos modelos do IPCC-AR4 no período de 1901 a 1999.

### 3. Resultados

Para avaliação dos modelos do IPCC-AR4 foram considerados todas as simulações disponíveis de cada um dos modelos, totalizando 73 simulações. No caso da avaliação sazonal do mesmo modelo para diferentes rodadas, estas apresentaram padrões muito semelhantes entre si. Portanto, para este critério será considerado apenas a rodada 1.

#### 3.1. Avaliação Sazonal

Na tabela 2 é mostrada a correlação e o RMSE\_PC máximo e mínimo para as regiões de estudo. Os modelos do IPCC apresentam correlações bastante elevadas na Bacia da Prata, superiores a 0,9, associado a um RMSE\_PC máximo inferior as demais regiões. Isso sugere uma melhor representação sazonalidade nessa região. Quanto à região NEB e Amazônia há maiores diferenças entre a correlação máxima e mínima, para o NEB varia de 0,152 a 0,981, mostrando que alguns dos modelos possuem dificuldade de representar a sazonalidade dessas regiões.

Tabela 2 – Correlação máxima e mínima, RMSE máximo e mínimo para as regiões de Estudo.

Regiões	CORREL_MAX	CORREL_MIN	RMSE_PC_MAX	RMSE_PC_MIN
Bacia da Prata	0,993	0,937	3,957	0,481
NEB	0,981	0,152	6,960	1,414
Amazônia	0,965	0,405	4,966	0,914

Na tabela 3 são mostrados a classificação e AVAL dos modelos para as regiões NEB, Bacia da Prata e Amazônia, para  $\alpha_c$  igual a 0,5. O modelo NCAR\_PCM1 foi o pior dos modelos no NEB e na Bacia da Prata, enquanto foi apenas o 19º modelo na região da Amazônia. Indicando que o mesmo não representa adequadamente a sazonalidade na América do Sul. Os modelos CSIRO\_MK3\_5 e NCAR\_CCSM3\_0 apresentaram AVAL inferior à maioria dos modelos avaliados nas três regiões, por isso obtiveram classificação inferior ao 19º.

Tabela3 – Classificação e AVAL<sub>s</sub> dos modelos do IPCC-AR4 para  $\alpha_c$  igual 0,5 e para as três regiões avaliadas.

Modelos	NEB		Bacia da Prata		Amazônia	
	Clas	Aval <sub>s</sub>	Clas	Aval <sub>s</sub>	Clas	Aval <sub>s</sub>
bccr.bcm2.0.run1	2	0,956	4	0,780	14	0,730
ccma.cgcm3.1.run1	14	0,785	7	0,670	13	0,748
ccma.cgcm3.1.t63.run1	11	0,798	3	0,795	7	0,853
cnrm.cm3.run1	3	0,927	9	0,650	6	0,853
csiro.mk3.0.run1	13	0,792	16	0,480	3	0,938
csiro.mk3.5.run1	20	0,651	21	0,234	23	0,454
gfdl.cm2.0.run1	15	0,767	22	0,225	17	0,648
gfdl.cm2.1.run1	8	0,837	24	0,047	19	0,602
giss.aom.run1	22	0,586	2	0,811	11	0,786
giss.model.e.h.run1	7	0,863	11	0,588	1	0,976
giss.model.e.r.run1	4	0,911	18	0,409	10	0,812
iap.fgoals1.0.g.run1	6	0,879	12	0,566	21	0,549
ingv.echam4.run1	9	0,809	6	0,690	12	0,773
inmcm3.0.run1	17	0,707	10	0,609	4	0,883
ipsl.cm4.run1	5	0,903	23	0,156	9	0,837
miroc3.2.hires.run1	12	0,794	5	0,706	8	0,850
miroc3.2.medres.run1	16	0,766	15	0,526	16	0,701
miub.echo.g.run1	21	0,599	13	0,556	22	0,464
mpi.echam5.run1	23	0,582	14	0,498	15	0,717
mri.cgcm2.3.2a.run1	1	0,994	17	0,452	18	0,607
ncar.cesm3.0.run1	19	0,676	20	0,315	20	0,595
ncar.pcm1.run1	24	0	19	0,374	24	0,119
ukmo.hadcm3.run1	10	0,807	8	0,635	5	0,870
ukmo.hadgem1.run1	18	0,684	1	0,931	2	0,941

Para região NEB o modelo Japonês MRI-CGCM2.3.2 apresentou o melhor AVAL<sub>s</sub>, segundo a avaliação proposta neste trabalho para  $\alpha_c$  igual a 0,5, seguido pelos modelos BCCR\_BCM2\_0 (Norueguês) e CNRM\_CM3 (Francês). As rodadas dos modelos CSIRO\_MK3\_5, GISS\_AOM, MIUB\_ECHO\_G, MPI\_ECHAM5, NCAR\_CCSM3\_0 e NCAR\_PCM1 apresentaram AVAL<sub>s</sub> inferiores aos demais, por isso obtiveram uma classificação bastante baixa.

Para a Bacia da Prata o modelo ukmo\_hadgem1 apresentou  $AVAL_s$  igual a 0,931, bem superior aos demais que apresentaram valores inferiores a 0,820. As rodadas dos modelos CSIRO\_MK3\_5, GFDL\_CM2\_0, GFDL\_CM2\_1 e IPSL\_CM4 apresentaram  $AVAL_s$  inferiores aos demais, por isso obtiveram uma classificação bastante baixa.

Para a região Amazônica o modelo GISS\_MODEL\_E\_H apresentou o melhor  $AVAL_s$ , segundo a avaliação proposta neste trabalho para  $\alpha_c$  igual a 0,5, seguido pelos modelos UKMO\_HADGEM1 e CSIRO\_MK3\_0.

Na figura 3 é mostrado o índice de AVAL obtido pelos modelos do IPCC em relação à climatologia da análise CRU/NOAA no período de 1901 a 1999 para as caixas de grade de dimensão  $2^\circ \times 2^\circ$ . Os modelos CSIRO.MK3.5, GFDL.CM2.0, GFDL.CM2.1 e NCAR\_PCM1 apresentam  $AVAL_s$  inferior a 0,2 em várias regiões do domínio avaliado, enquanto os modelos GISS.MODEL.E.R, IAP.FGOALS1.0.G e UKMO.HADCM3 apresentam valores superiores a 0,9 em diversas localidade.

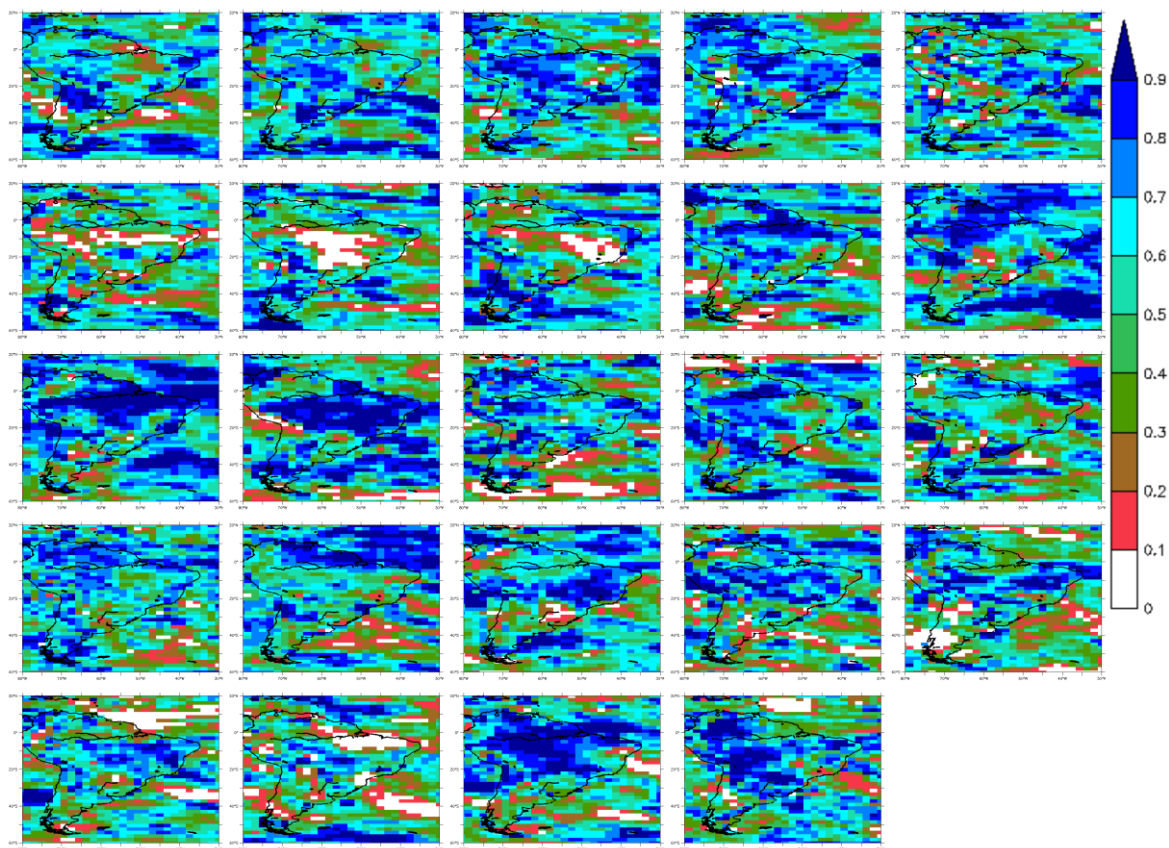


Figura 3 –  $AVAL_s$  dos modelos do IPCC em relação a climatologia da Análise CRU/NOAA, considerando  $\alpha_r = \alpha_c = 0,5$ . Modelos do IPCC na seguinte sequência da esquerda para a direita e de cima para baixo: BCCR.BCM2.0, CCCMA.CGCM3.1, CCCMA.CGCM3.1.T63, CNRM.CM3, CSIRO.MK3.0, CSIRO.MK3.5, 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.

No Nordeste Setentrional brasileiro destacam-se os modelos BCCR.BCM2.0, GISS.MODELE.E.R, IAP.FGOALS1.0.G, INGV.ECHAM4, MRI.CGCM2.3.2A e UKMO.HADGEM1 que obtiveram valores superiores a 0,8 em vários pontos do domínio. O modelo UKMO.HADCM3, apesar de apresentar valores de AVAL<sub>s</sub> superiores 0,8 no norte do NEB mostra valores inferiores a 0,2 no sul da região analisada.

Na região Amazônica destacam-se os modelos GISS.MODELE.E.H, GISS.MODELE.E.R, IAP.FGOALS1.0.G, UKMO.HADCM3 e UKMO.HADGEM1 que obtiveram valores de AVALs superiores a 0,9 em quase toda região.

Na Bacia da Prata o modelo UKMO.HADGEM1 apresentou AVAL<sub>s</sub> superior a 0,9 em um grande porção dessa região, enquanto os modelos MIUB.ECHO.G, GISS.MODELE.E.H, MIROC3.2.HIRES, NCAR.CCSM3.0, NCAR.PCM1 possuem AVALs inferior a 0,3.

### 3.2. Avaliação Plurianual

Nesta seção é averiguado como a oscilação interanual e interdecadal das séries de precipitação dos dados observacionais CRU/NOAA é representada pelas rodadas dos modelos do IPCC-AR4.

Na figura 4 são mostrados graficamente os espectros globais da série observada nas três regiões avaliadas. Há maior variação no NEB em detrimento das outras regiões, com espectro indicando valores bem superiores. Notam-se nitidamente nessa região três padrões de variação: 3 a 6 anos, 4 a 14 anos e 19 a 33 anos, conforme a tabela 4 .Na Amazônia uma das principais bandas encontra-se entre 19,6 e 27,8 anos. As demais bandas das regiões são mostradas na tabela 4, estas por sua vez foram usadas para calcular o índice DIST da seção 2.5.2 equação 10.

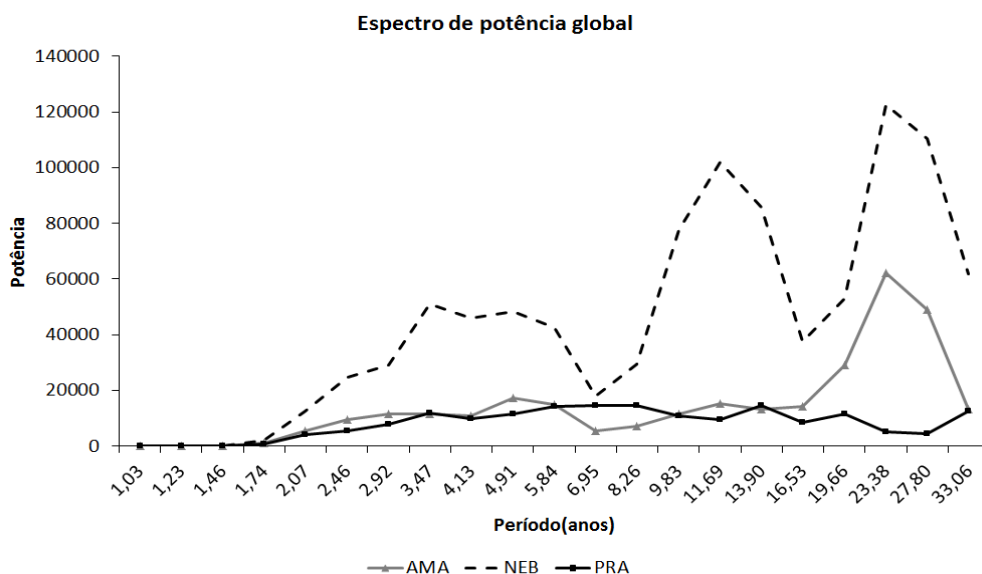


Figura 4 – Espectro de potência observada para as regiões avaliadas.

Tabela 4 – Três principais bandas (em anos) das regiões avaliadas.

	<b>Banda 1</b>	<b>Banda 2</b>	<b>Banda 3</b>
<b>AMA</b>	2 a 6	8,2 a 13,9	19,6 a 27,8
<b>NEB</b>	3 a 6	9 a 14	19 a 33
<b>PRA</b>	2,9 a 8,2	11,7 a 14	16,5 a 27,8

Na tabela 5 são mostrados os índices estatísticos máximos e mínimos obtidos na avaliação plurianual dos modelos do IPCC-AR4. A máxima correlação entre os espectros observado e modelado é superior a 0,88 e a distância mínima entre as variâncias das bandas é inferior a 0,4 para as três regiões avaliada, enquanto a mínima apresenta valores negativos no NEB e Amazônia, indicando que alguns modelos representam adequadamente os padrões médios de variação interanual do século XX e outros são incapazes de reproduzir esses padrões.

Tabela 5 – Índices máximos e mínimos obtidos para avaliação plurianual nas regiões de Estudo.

	<b>CORREL_MAX</b>	<b>CORREL_MIN</b>	<b>DIST_MAX</b>	<b>DIST_MIN</b>
<b>Bacia da Prata</b>	0,9237	0,1546	1,8904	0,2446
<b>NEB</b>	0,9196	-0,1412	1,3663	0,1763
<b>Amazônia</b>	0,8853	-0,2114	1,6869	0,3795

Na tabela 6 é mostrado o  $AVAL_p$  e a classificação (CLAS) dos modelos para o critério plurianual. Para esta avaliação o mesmo modelo para diferentes rodadas apresentaram padrões bem distintos. Isto fica evidente quando comparados as rodadas do modelo CCCMA.CGCM3.1, enquanto a rodada 2 é melhor modelo a rodada 5 é o pior modelo na Bacia da Prata. Todas as rodadas do modelo IAP.FGOALS1.0.G apresentam  $AVAL_p$  inferior a 0,5 nas três regiões avaliadas mostrando-se inadequado para representar a variabilidade interanual na América do Sul.

As rodadas dos modelos CSIRO.MK3.0.RUN2, UKMO.HADCM3.RUN1, GISS.MODEL.E.R.RUN8 apresentam os maiores valores de  $AVAL_p$  para o NEB. As rodadas dos modelos NCAR.PCM1.RUN3, MIUB.ECHO.G.RUN2, IAP.FGOALS1.0.G.RUN2, MPI.ECHAM5.RUN3 apresentaram  $AVAL_p$  igual a 0,25, indicando que estes modelos não representam adequadamente o comportamento do espectro global da precipitação observada no NEB ao longo do Século XX.

Na Bacia da Prata as 27 rodadas apresentaram  $AVAL_p$  superior a 0,7, mostrando que os modelos possuem maior capacidade de representar a variação interanual nessa região em detrimento do NEB e Amazônia. Sendo as rodadas cccma.cgcm3.1.run2, gfdl.cm2.0.run2 e ncar.pcm1.run1 que apresentaram os maiores  $AVAL_p$  nessa região. Na região Amazônica os modelos giss.model.e.r.run6, csiro.mk3.0.run1, cccma.cgcm3.1.run1 e ingv.echam4.run1, cccma.cgcm3.1.t63.run1 e ipsl.cm4.run1 apresentaram  $AVAL_p$  superior a 0,85.

Tabela 6- Classificação e AVAL<sub>p</sub> dos modelos do IPCC-AR4 para β<sub>c</sub> igual 0,5 e para as três regiões avaliadas.

Modelos	AMA		PRA		NEB		Modelos	AMA		PRA		NEB	
	Clas	AVAL	CLAS	AVAL	CLAS	AVAL		Clas	AVAL	CLAS	AVAL	CLAS	AVAL
bccr.bcm2.0.run1	48	0,4293	59	0,4766	17	0,6171	iap.fgoals1.0.g.run3	39	0,4678	66	0,3763	57	0,3575
cccma.cgcm3.1.run1	3	0,9111	4	0,8747	19	0,6083	ingv.echam4.run1	4	0,8983	42	0,6437	52	0,3726
cccma.cgcm3.1.run2	45	0,4487	1	0,9052	24	0,5820	inmcm3.0.run1	34	0,4918	52	0,5595	50	0,3945
cccma.cgcm3.1.run3	55	0,3570	21	0,7195	13	0,7115	ipsl.cm4.run1	6	0,8588	24	0,7078	43	0,4424
cccma.cgcm3.1.run4	32	0,5114	10	0,8399	22	0,5927	miroc3.2.hires.run1	7	0,8254	20	0,7453	36	0,4969
cccma.cgcm3.1.run5	51	0,3971	73	0,1574	66	0,2983	miroc3.2.medres.run1	22	0,5965	57	0,4942	11	0,7450
cccma.cgcm3.1.t63.run1	5	0,8636	43	0,6321	9	0,7672	miroc3.2.medres.run2	19	0,6343	60	0,4578	18	0,6111
cnrm.cm3.run1	23	0,5876	37	0,6660	28	0,5556	miroc3.2.medres.run3	71	0,2046	28	0,6937	14	0,6902
csiro.mk3.0.run1	2	0,9236	27	0,7015	6	0,7912	miub.echo.g.run1	49	0,4087	14	0,8083	39	0,4881
csiro.mk3.0.run2	41	0,4623	40	0,6470	1	0,9898	miub.echo.g.run2	47	0,4314	71	0,2745	71	0,1851
csiro.mk3.0.run3	15	0,6691	69	0,3356	29	0,5461	miub.echo.g.run3	27	0,5600	64	0,4242	34	0,5012
csiro.mk3.5.run1	50	0,3994	49	0,5912	59	0,3423	miub.echo.g.run4	13	0,6884	53	0,5380	30	0,5053
csiro.mk3.5.run2	60	0,3291	51	0,5640	15	0,6741	miub.echo.g.run5	18	0,6348	68	0,3380	58	0,3540
csiro.mk3.5.run3	17	0,6489	17	0,8008	35	0,4972	mpi.echam5.run1	66	0,2921	35	0,6722	54	0,3693
gfdl.cm2.0.run1	59	0,3358	11	0,8354	67	0,2946	mpi.echam5.run2	31	0,5221	12	0,8148	56	0,3627
gfdl.cm2.0.run2	42	0,4602	2	0,8939	53	0,3725	mpi.echam5.run3	70	0,2535	44	0,6269	73	0,0000
gfdl.cm2.0.run3	21	0,6023	62	0,4506	63	0,3072	mpi.echam5.run4	69	0,2644	15	0,8065	8	0,7675
gfdl.cm2.1.run1	62	0,3216	33	0,6751	64	0,3037	mri.cgcm2.3.2a.run1	28	0,5517	41	0,6454	49	0,3988
gfdl.cm2.1.run2	36	0,4810	46	0,6132	44	0,4370	mri.cgcm2.3.2a.run2	65	0,3048	30	0,6787	55	0,3651
giss.aom.run1	40	0,4662	55	0,5052	7	0,7832	mri.cgcm2.3.2a.run3	29	0,5353	25	0,7070	10	0,7535
giss.aom.run2	33	0,4982	26	0,7041	20	0,5975	mri.cgcm2.3.2a.run4	53	0,3867	31	0,6756	62	0,3251
giss.model.e.h.run1	20	0,6086	6	0,8515	65	0,2995	ncar.ccs3.0.run1	68	0,2699	38	0,6550	68	0,2564
giss.model.e.h.run2	14	0,6716	47	0,6048	33	0,5014	ncar.ccs3.0.run2	64	0,3169	36	0,6675	48	0,4005
giss.model.e.h.run3	9	0,7232	8	0,8460	26	0,5687	ncar.ccs3.0.run3	46	0,4475	70	0,2833	61	0,3271
giss.model.e.h.run4	24	0,5800	29	0,6888	37	0,4937	ncar.ccs3.0.run4	57	0,3510	5	0,8542	51	0,3792
giss.model.e.h.run5	63	0,3171	22	0,7157	25	0,5715	ncar.ccs3.0.run5	58	0,3403	61	0,4558	23	0,5894
giss.model.e.r.run1	10	0,7171	65	0,4187	41	0,4704	ncar.ccs3.0.run6	16	0,6655	23	0,7141	46	0,4133
giss.model.e.r.run2	25	0,5683	34	0,6733	5	0,7976	ncar.ccs3.0.run7	30	0,5317	13	0,8121	60	0,3373
giss.model.e.r.run3	44	0,4515	48	0,5970	40	0,4707	ncar.ccs3.0.run9	35	0,4848	16	0,8058	31	0,5037
giss.model.e.r.run4	8	0,7536	18	0,7733	42	0,4605	ncar.pcm1.run1	12	0,6936	3	0,8883	16	0,6506
giss.model.e.r.run5	11	0,7058	39	0,6510	27	0,5625	ncar.pcm1.run2	43	0,4530	67	0,3566	4	0,8513
giss.model.e.r.run6	1	0,9904	19	0,7505	12	0,7329	ncar.pcm1.run3	54	0,3609	56	0,4946	70	0,2023
giss.model.e.r.run7	56	0,3528	7	0,8514	45	0,4339	ncar.pcm1.run4	38	0,4707	50	0,5809	47	0,4059
giss.model.e.r.run8	26	0,5648	32	0,6753	3	0,8566	ukmo.hadcm3.run1	37	0,4802	54	0,5252	2	0,8776
giss.model.e.r.run9	67	0,2908	58	0,4914	38	0,4884	ukmo.hadcm3.run2	61	0,3245	9	0,8446	32	0,5030
iap.fgoals1.0.g.run1	72	0,2015	63	0,4275	69	0,2129	ukmo.hadgem1.run1	52	0,3911	45	0,6173	21	0,5952
iap.fgoals1.0.g.run2	73	0,1759	72	0,2340	72	0,1787							



### 3.3. Avaliação Geral

Na tabela 7 a classificação dos modelos do IPCC-AR4 para  $\alpha_c = \beta_c = \gamma_c = 0,5$  e para as três regiões avaliadas. O melhor modelo na região da Amazônia é o giss.model.e.r.run6, no NEB o csiro.mk3.0.run2 e na Bacia da Prata o csiro.mk3.0.run2.

Tabela 7- Classificação dos modelos do IPCC-AR4 para  $\alpha_c = \beta_c = \gamma_c = 0,5$  e para as três regiões avaliadas.

Modelos	AMAZ	PRA	NEB	Modelos	AMAZ	PRA	NEB
bccr.bcm2.0.run1	48	59	8	iap.fgoals1.0.g.run3	39	66	40
cccma.cgcm3.1.run1	3	4	17	ingv.echam4.run1	4	42	44
cccma.cgcm3.1.run2	45	1	20	inmcm3.0.run1	34	52	48
cccma.cgcm3.1.run3	55	21	11	ipsl.cm4.run1	6	24	32
cccma.cgcm3.1.run4	32	10	25	miroc3.2.hires.run1	7	20	36
cccma.cgcm3.1.run5	51	73	49	miroc3.2.medres.run1	22	57	10
cgcm3.1.t63.run1	5	43	9	miroc3.2.medres.run2	19	60	29
cnrm.cm3.run1	23	37	12	miroc3.2.medres.run3	71	28	15
csiro.mk3.0.run1	2	27	7	miub.echo.g.run1	49	14	52
csiro.mk3.0.run2	41	40	1	miub.echo.g.run2	47	71	69
csiro.mk3.0.run3	15	69	35	miub.echo.g.run3	27	64	55
csiro.mk3.5.run1	50	49	61	miub.echo.g.run4	13	53	58
csiro.mk3.5.run2	60	51	30	miub.echo.g.run5	18	68	65
csiro.mk3.5.run3	17	17	42	mpi.echam5.run1	66	35	64
gfdl.cm2.0.run1	59	11	56	mpi.echam5.run2	31	12	67
gfdl.cm2.0.run2	42	2	46	mpi.echam5.run3	70	44	71
gfdl.cm2.0.run3	21	62	53	mpi.echam5.run4	69	15	34
gfdl.cm2.1.run1	62	33	47	mri.cgcm2.3.2a.run1	28	41	19
gfdl.cm2.1.run2	36	46	38	mri.cgcm2.3.2a.run2	65	30	31
giss.aom.run1	40	55	24	mri.cgcm2.3.2a.run3	29	25	3
giss.aom.run2	33	26	43	mri.cgcm2.3.2a.run4	53	31	60
giss.model.e.h.run1	20	6	45	ncar.cesm3.0.run1	68	38	66
giss.model.e.h.run2	14	47	28	ncar.cesm3.0.run2	64	36	54
giss.model.e.h.run3	9	8	16	ncar.cesm3.0.run3	46	70	62
giss.model.e.h.run4	24	29	26	ncar.cesm3.0.run4	57	5	59
giss.model.e.h.run5	63	22	14	ncar.cesm3.0.run5	58	61	39
giss.model.e.r.run1	10	65	21	ncar.cesm3.0.run6	16	23	50
giss.model.e.r.run2	25	34	4	ncar.cesm3.0.run7	30	13	63
giss.model.e.r.run3	44	48	22	ncar.cesm3.0.run9	35	16	72
giss.model.e.r.run4	8	18	27	ncar.pcm1.run1	12	3	70
giss.model.e.r.run5	11	39	13	ncar.pcm1.run2	43	67	68
giss.model.e.r.run6	1	19	6	ncar.pcm1.run3	54	56	73
giss.model.e.r.run7	56	7	33	ncar.pcm1.run4	38	50	41
giss.model.e.r.run8	26	32	2	ukmo.hadcm3.run1	37	54	5

<b>giss.model.e.r.run9</b>	67	58	18	<b>ukmo.hadcm3.run2</b>	61	9	23
<b>iap.fgoals1.0.g.run1</b>	72	63	51	<b>ukmo.hadgem1.run1</b>	52	45	37
<b>iap.fgoals1.0.g.run2</b>	73	72	57				

## 5. Conclusões

Os modelos globais do IPCC apresentam correlações elevadas em relação à climatologia observada no período de 1901 a 1999 para América do Sul, mostrando que os modelos são capazes de capturar os padrões de variações sazonais.

- O modelo NCAR-PCM1 não representa adequadamente a climatologia média da precipitação sobre o Nordeste Setentrional brasileiro;
- Os modelos MPI-ECHAM5, MIUB-ECHO-G e GISS-AOM apresentaram correlações ligeiramente inferiores aos demais, dessa forma mostram-se inferiores aos outros modelos IPCC na representação da climatologia média sobre a região;

Em geral, os modelos mostram dificuldade de representação do ciclo anual da precipitação sobre o leste do NEB, com correlações inferiores às demais regiões do domínio. Os modelos BCCR.BCM2.0, GISS.MODELE.E.R, IAP.FGOALS1.0.G, INGV.ECHAM4, MRI.CGCM2.3.2A e UKMO.HADGEM1 obtiveram avaliação superior aos demais. Os modelos NCAR.PCM1 e CSIRO.MK.3.5 mostram-se inadequados para representação dos padrões de variação sazonal do século XX sobre o NEB.

Quanto à representação interanual algumas rodadas dos modelos globais do IPCC para apresentam valores bastante elevados de correlação em relação à precipitação observada durante o século XX, mostrando que estes modelos são capazes de capturar os padrões de variação interanual e em alguns casos a variação interdecadal.

A avaliação feita com os dados médios sobre a área do NEB apontou o modelo CSIRO.MK3.0.RUN2 como aquele com mais altos valores de  $AVAL_p$ , seguidos pelos modelos e UKMO.HADCM3.RUN1, GISS.MODELE.E.R.RUN8.

Como as variabilidades interanual e interdecadal do padrão de chuvas foram bem reproduzidas pelos modelos GISS.MODELE.E.R.RUN8, CSIRO.MK3.0.RUN2, UKMO.HADCM3.RUN1, GISS.MODELE.E.R.RUN2 sobre o NEB. Enquanto na Bacia da Prata os melhores modelos para esse critério foram os cccma.cgcm3.1.run2, gfdl.cm2.0.run2 e ncar.pcm1.run1 cccma.cgcm3.1.run2, gfdl.cm2.0.run2 e ncar.pcm1.run1. Na região Amazônica os

modelos giss.model.e.r.run6, csiro.mk3.0.run1, cccma.cgcm3.1.run1 e ingv.echam4.run1, cccma.cgcm3.1.t63.run1 e ipsl.cm4.run1 apresentaram  $AVAL_p$  superior a 0,85.

Os melhores modelos segundo critério de avaliação sazonal e interanual são: na região da Amazônia o giss.model.e.r.run6, no NEB o csiro.mk3.0.run2 e na Bacia da Prata o csiro.mk3.0.run2. Estes modelos podem ser considerados como uma boa opção para avançar na investigação dos efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos na América Sul.

## BIBLIOGRAFIA

ALBURQUERQUE, I.F.; FERREIRA, J.N.; SILVA, M. G. ; DIAS, M. F. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo. Oficina de Textos p. 280, 2009.

ALEXANDER, L.V., ZNAHG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; TANK, A. M. G.; HAYLOCK, M.; COLLINS D.; TREVIN, B; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOU, A.; RUPA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSHON, D.; BURN, J.; AGUILAR, E.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTUCCI, M.; VASQUEZ-AGUIRRE, J.L. *Global Observed Changes in daily climate extremes of temperature and precipitation*. Journal of Geophysical Research. Washington v.111 D05109, 2006.

ANDREOLI, R. V., KAYANO, M. T., GUEDES, R. L., OYAMA, M. D., ALVES, M. A. S. *A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza*, Revista Brasileira de Meteorologia, v.19, n.3, 337-344, 2004.

ANDREOLI, R., KAYANO, M., GUEDES, R., OYAMA, M., ALVES, M., *A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na Variabilidade de Precipitação do Nordeste do Brasil*. Revista Brasileira de Meteorologia, 22 n.1. 2007.

COMPO, G.P.; J.S. WHITAKER; P.D. SARDESHMUKH: *Feasibility of a 100 year reanalysis using only surface pressure data*. Bull. Amer. Met. Soc., 87, 175-190, 2006

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.

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.

MARENGO, J. A. *Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin*. Theoretical and Applied Climatology. v78, p79-96, 2004.

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.

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.

NEW, M., HULME, M., JONES, P.D.,: *Representing twentieth century space-time climate variability. Part 1: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology*. Journal of Climate 12, 829-856, 1999.

NEW, M., LISTER, D., HULME, M., MAKIN, I.,: *A high-resolution data set of surface climate over global land areas*. Climate Research 21, 1-25, 2001.

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.

SOUZA, E. B., J. M. B. ALVES, C A REPELLI: *A variabilidade espacial da precipitação sobre o estado do Ceará*. Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMET, Campos do Jordão (SP), 6 a 13 novembro 1996, vol. 1, 196-200,1996.

SOUZA FILHO, F. A. “*Variabilidade e Mudança Climática nos Semi-Áridos Brasileiros*”.p77-111. 2003. Em “Clima e Recursos Hídricos no Brasil”.Org. C.E.M. Tucci e B. Braga. Ed. ABRH. 2003.

SOUZA FILHO, F.A.;MOURA,A.D.*Memórias do Seminário Natureza e Sociedade nos Semi-Áridos*. Fortaleza:Banco do Nordeste do Brasil; Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 332p.,2006

UVO, C. R. B. e C. A. NOBRE, 1987: *A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região norte do Nordeste brasileiro*. II Cong. Interamer. Meteor., 30.nov.-04.dez., Buenos Aires, Argentina, 6.9.1-6.

TASCHETTO, A., WAINER I., *A Influência dos Gases Estufa no Oceano Atlântico Sul: Variabilidade Interanual*. Revista Brasileira de Meteorologia v.20, n.1, 105-120, 2005.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. *A practical guide to wavelet analysis*, Bull. Am. Meteor. Soc., v.79, n.1, p.61-78, 1998.

WHITAKER, J.S., G.P.COMPO, X. WEI, AND T.M. HAMILL: *Reanalysis without radiosondes using ensemble data assimilation*. Mon. Wea. Rev., 132, 1190-1200, 2004.