



**CICLONES EXTRATROPICAIS NO ATLÂNTICO SUL:  
CLIMA PRESENTE E PROJEÇÕES FUTURAS**

RELATÓRIO DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)

Ana Carolina Rosas Reis (UFRJ, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: [acarol.meteoro@gmail.com](mailto:acarol.meteoro@gmail.com)

Dra. Chou Sin Chan (DMD/CPTEC/INPE, Orientadora)

E-mail: [chou@cptec.inpe.br](mailto:chou@cptec.inpe.br)

COLABORADORA

Dra. Claudine Pereira Dereczynski (IGEO/UFRJ)

E-mail: [claudine@acd.ufrj.br](mailto:claudine@acd.ufrj.br)

Junho de 2016

O presente relatório descreve as atividades realizadas do projeto de Iniciação Científica do PIBIC/CNPq no período de agosto de 2015 a junho de 2016.

## SUMÁRIO

1. RESUMO DO PLANO INICIAL .....	3
2. RESUMO DO QUE FOI REALIZADO NO PERÍODO A QUE SE REFERE O RELATÓRIO .....	3
3. DADOS E METODOLOGIA .....	4
4. RESULTADOS .....	4
4.1 Avaliação das Ciclogêneses do Modelo Eta-MIROC5 em Comparação com a Reanálise CFSR para o período de 1986-2005 .....	5
4.2 Projeções de Climatologia de Ciclogêneses com o Modelo Eta-MIROC5 no Cénario RCP4.5 do IPCC – Comparação com o Tempo Presente .....	6
4.3 Projeções de Climatologia de Ciclogêneses com o Modelo Eta-MIROC5 no Cénario RCP8.5 do IPCC – Comparação com o Tempo Presente .....	9
5. CONCLUSÕES .....	10
6. TRABALHOS FUTUROS .....	10
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	11

## **1. RESUMO DO PLANO INICIAL**

O plano inicial do trabalho previa o aprendizado do esquema CYCLOC e o do programa GRADS. A seguir o aluno começaria a desenvolver a climatologia de Pressão ao Nível Médio do Mar (PNMM) do modelo global acoplado MIROC5 para a América do Sul no clima presente (1986-2005), comparando-a com a climatologia da Reanálise *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR). Nesta etapa ficaria evidente se o modelo global subestima ou superestima a quantidade de ciclones, bem como a intensidade e posicionamento. O aluno avaliaria de que forma o modelo global influencia os resultados do modelo regional (Eta). Em uma próxima etapa o bolsista repetiria a mesma climatologia de PNMM do clima presente para o modelo Eta-MIROC, contudo, nesta etapa, seria necessária a comparação com o modelo MIROC5 (já avaliado anteriormente). Nos passos posteriores, seriam geradas as climatologias de ciclogêneses para o tempo presente (1986-2005) com os dados de PNMM do modelo Eta-MIROC5 utilizando o esquema CYCLOC. Na última etapa seriam investigadas as projeções futuras (até 2100) do modelo Eta-MIROC, confrontando as tendências futuras com o clima presente do mesmo modelo.

## **2. RESUMO DO QUE FOI REALIZADO NO PERÍODO A QUE SE REFERE O RELATÓRIO**

Durante o período de agosto de 2015 a junho de 2016 foram desenvolvidas as seguintes atividades:

- a) Contínua familiarização com o sistema operacional Linux, com o software GRADS, com os dados da reanálise CFSR e dos modelos MIROC5 e Modelo Eta-MIROC5 e com o esquema CYCLOC;

- b) Avaliação da climatologia de ciclogêneses do Modelo Eta-MIROC5 em Comparação com a Reanálise CFSR, para o tempo presente 1986-2005, elaboradas utilizando o esquema CYCLOC;
- c) Elaboração dos campos de ciclogêneses utilizando o esquema CYCLOC para o clima futuro no cenário RCP 4.5 do IPCC (projeções) que foi dividido em três intervalos: 2007-2040, 2041-2070 e 2071-2099 a partir dos dados de PNMM do modelo Eta-MIROC5;
- d) Elaboração dos campos de ciclogêneses utilizando o esquema CYCLOC para o clima futuro no cenário RCP 8.5 do IPCC (projeções) que foi dividido em três intervalos: 2007-2040, 2041-2070 e 2071-2099 a partir dos dados de PNMM do modelo Eta-MIROC5;
- e) Avaliação da climatologia de ciclogêneses das projeções do Eta-MIROC5 (RCP4.5 e RCP8.5) em comparação o tempo presente (1986-2005) do mesmo modelo;

### **3. DADOS E METODOLOGIA**

No presente relatório avalia-se a desempenho da integração do modelo regional Eta do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em uma versão climática com 20 km de resolução horizontal, aninhado ao modelo global “*Model for Interdisciplinary Research on Climate version 5*” (MIROC5) do *Center for Climate Systems Research (CCSR)* da Universidade de Tokyo (Japão), para configurar ciclones no Atlântico Sul no clima presente (1986-2005). A performance de tal modelo é investigada em comparação com a “*Climate Forecast System Reanalysis*” (CFSR) e os ciclones são detectados objetivamente a partir do esquema CYCLOC construído por Murray e Simmonds, utilizando dados de PNMM. Além disso, foi elaborada a climatologia de ciclogênese do Eta-MIROC5 para o clima futuro até 2099 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 do IPCC. Tais integrações foram confrontadas com a climatologia do clima presente.

### **4. RESULTADOS**

Nesta seção são apresentadas as climatologias sazonais de ciclogêneses elaboradas utilizando o esquema numérico CYCLOC, a partir de dados de entrada de PNMM da

Reanálise do CFSR e do modelo Eta-MIROC5 no período de 1986-2005 e as climatologias sazonais de ciclogêneses do modelo para clima futuro até 2099 nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 do IPCC.

#### 4.1 AVALIAÇÃO DAS CICLOGÊNESES DO MODELO ETA-MIROC5 EM COMPARAÇÃO COM A REANÁLISE CFSR PARA O PERÍODO DE 1986-2005

Nas figuras abaixo são apresentadas as distribuições espaciais das ciclogêneses do Eta-MIROC5 em comparação com a Reanálise do CFSR para o clima presente (1986-2005), utilizando-se o esquema CYCLOC.

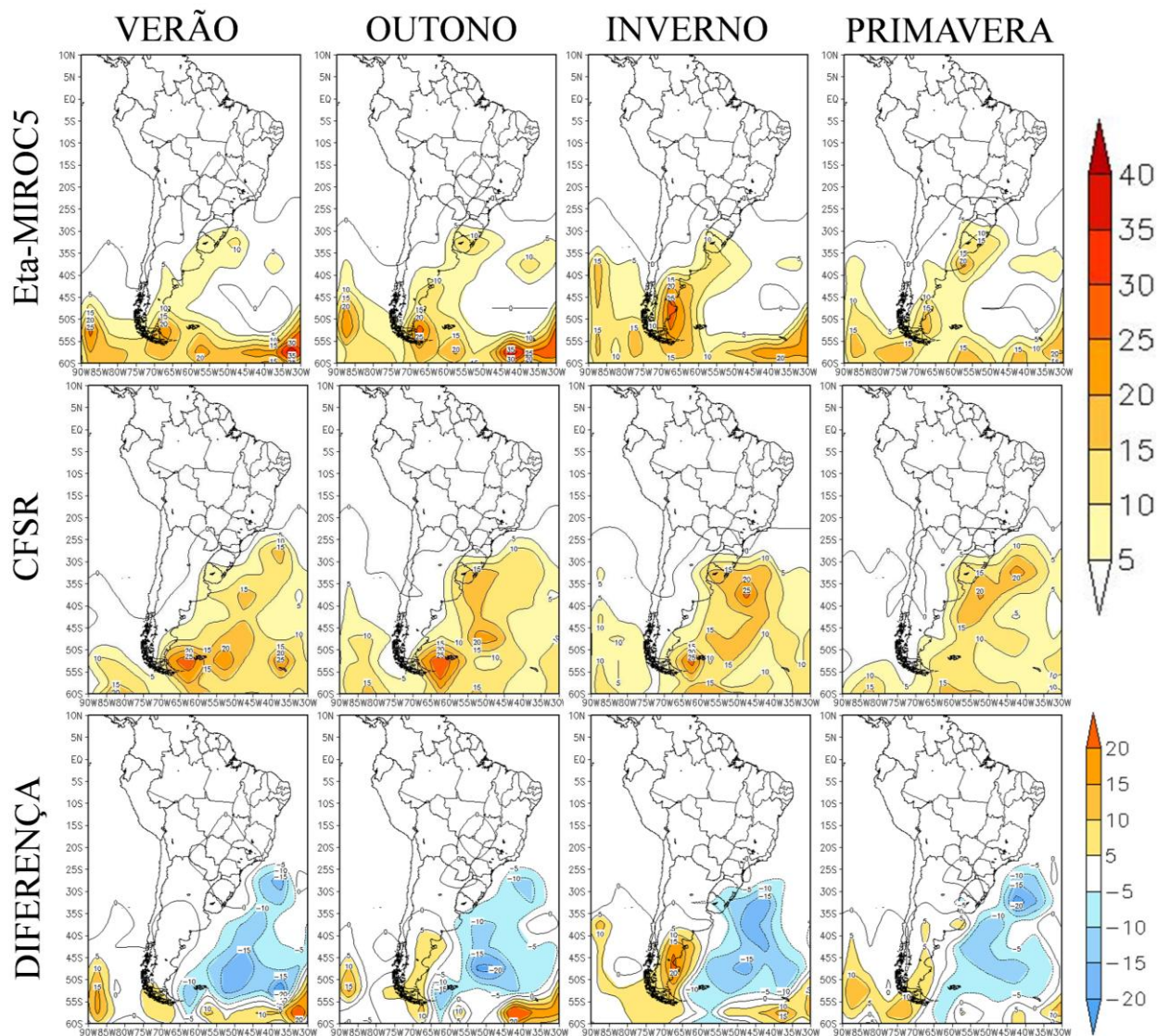


Figura 4.1.1 – Climatologia de ciclogêneses (1986-2005): Eta-MIROC5 (linha 1), CFSR (linha 2), Diferença Eta-MIROC5 – CFSR (linha 3).

Analisando-se a Figura 4.1.1 observa-se que nas duas estações do ano analisadas, o modelo Eta-MIROC5 posiciona corretamente as ciclogêneses sobre o Oceano Atlântico nas altas latitudes e ao longo da costa leste da América do Sul, atingindo a Argentina, Uruguai e área sul do Brasil. No modelo o número de ciclogêneses ao norte de 20°S é bastante reduzida (inferior a 5 sistemas), o que também está de acordo com o CFSR. Nota-se no Eta-MIROC5 uma quantidade inferior de ciclogêneses ao observado no CFSR, principalmente sobre o Oceano Atlântico na região demarcada por uma elipse azul na figura, a aproximadamente 40-50°S/30-60°W. A causa para este problema ainda precisa ser investigada.

O modelo Eta-MIROC5, no verão, representa adequadamente o núcleo de máxima ciclogênese no sul da Argentina e a leste do Uruguai, porém em ambos os núcleos subestima o valor de ciclogêneses, em relação ao observado no CFSR. No inverno, o modelo posiciona bem o máximo de ciclogêneses no sul da Argentina e acerta o valor no centro desse máximo, mas não configura o máximo que aparece a leste do Uruguai. Destaca-se que o modelo consegue acertar o aumento do número de ciclogêneses no inverno e uma diminuição no verão como mostra o CFSR.

No modelo Eta-MIROC5 apesar do domínio bastante limitado (50°S – 30°N / 30°W – 100°W) em relação a Reanálise, que cobre todo o globo, não se verificam valores muito discrepantes de ciclogêneses, exceto sobre o Atlântico em aproximadamente 40-50°S/30-60°W.

#### 4.2 PROJEÇÕES DE CLIMATOLOGIA DE CICLOGÊNESES COM O MODELO ETA-MIROC5 NO O CÉNARIO RCP4.5 DO IPCC – COMPARAÇÃO COM O TEMPO PRESENTE

Nas figuras abaixo são apresentadas as distribuições espaciais das projeções de climatologia ciclogêneses do Eta-MIROC5 no cenário RCP4.5 do IPCC em comparação com a climatologia de ciclogêneses do Eta-MIROC5 para o tempo presente, utilizando-se o esquema CYCLOC.



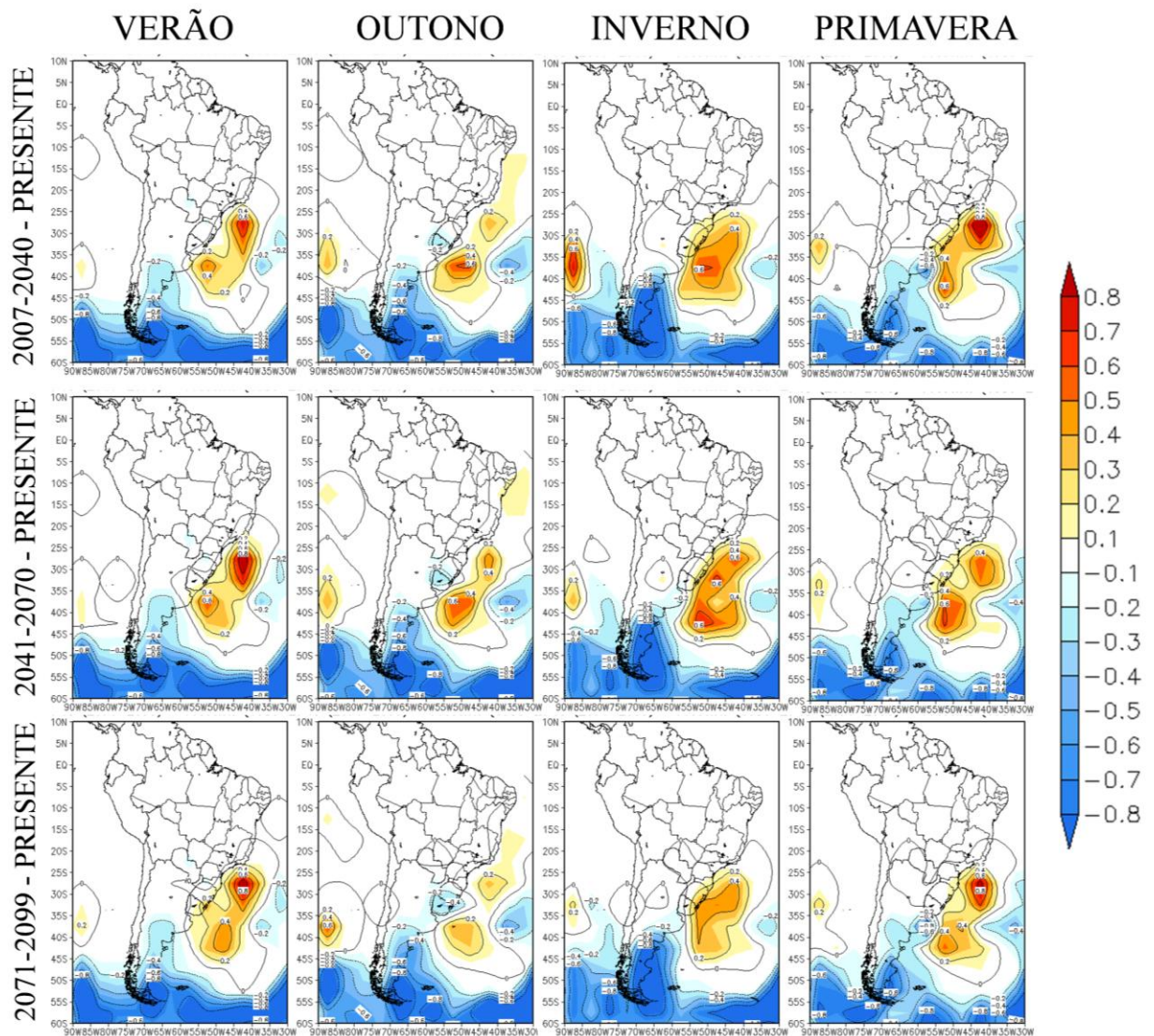


Figura 4.2.1 - Diferença entre as projeções de climatologia de ciclogêneses (2007-2099) do modelo Eta-MIROC5 no cenário RCP4.5 do IPCC e a climatologia do tempo presente (1986-2005): 2007-2040 - presente (linha 1), 2041-2070 - presente (linha 2), 2071-2099 – presente (linha 3).

A análise dos campos de diferença da climatologia de ciclogêneses para o verão ao longo dos três períodos das projeções (2007-2040, 2041-2070, 2071-2099) mostra um mesmo padrão na localização dos máximos de ciclogêneses. É notado, dois máximos: um a leste do Uruguai e outro a leste da Região Sudeste (SE) do Brasil. Quando os máximos desses três períodos são comparados ao clima presente (1986-2005) fica evidente um aumento no número de ciclogêneses no Oceano Atlântico Sul. Para o primeiro período (2007-2040), um aumento de 15 a 20 ciclogêneses é mostrado, para o segundo período (2041-2070) observa-se um aumento de 20 a 25 ciclogêneses e para o terceiro período (2071-2099), o aumento é de 15 a 20 casos.

Apesar dos máximos evidenciados nos campos das projeções estarem de acordo com as regiões preferencialmente ciclogênicas observadas por Gan e Rao (1991) e Reboita (2008), eles localizam-se em pontos diferentes ao longo do SE da América do Sul.

Para o inverno das projeções, é notada a persistência de um máximo ciclogênético a leste do Uruguai ao longo dos três períodos. O máximo a leste do SE do Brasil não fica evidenciado no inverno e há, conseqüentemente, uma desintensificação no número de ciclogêneses nessa região.

Quando comparados os três períodos das projeções no inverno com o clima presente, o máximo que aparece persistentemente a leste do Uruguai não é notado no presente. No clima presente esse máximo aparece no Sul da Argentina. Além disso, nota-se um aumento no número de ciclogêneses ao longo do SE da América do Sul quando comparados o primeiro e o segundo período das projeções (de 10 a 20 e de 5 a 10 ciclogêneses, respectivamente) ao clima presente, com exceção do último período, no qual o número de ciclogêneses nessa região aparece da mesma ordem do clima presente (de 25 a 30 ciclogêneses). Assim, como no verão, há uma mudança nas localizações dos máximos no clima futuro em comparação ao clima presente.



### 4.3 PROJEÇÕES DE CLIMATOLOGIA DE CICLOGÊNESES COM O MODELO ETA-MIROC5 NO O CÉNARIO RCP8.5 DO IPCC – COMPARAÇÃO COM O TEMPO PRESENTE

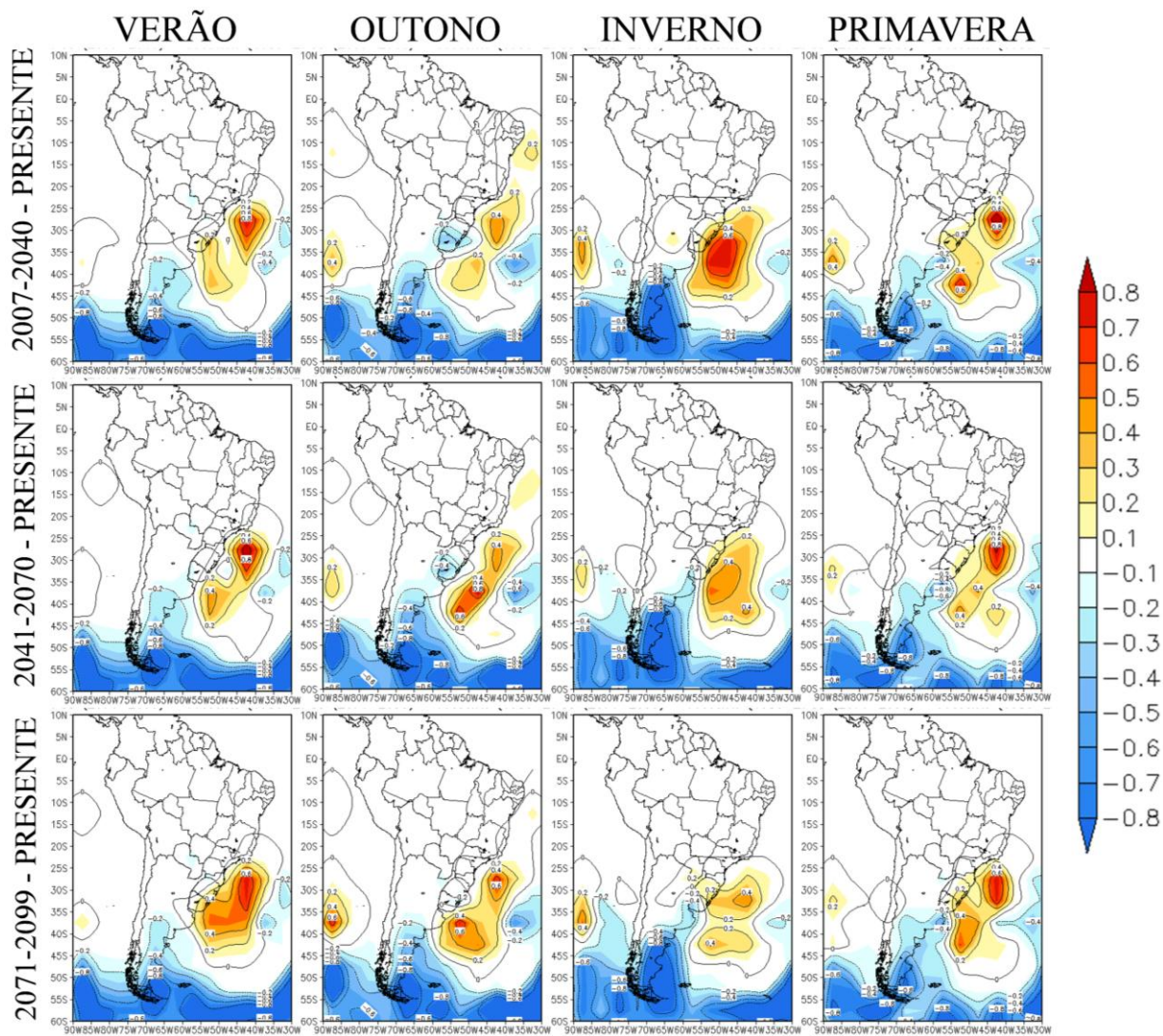


Figura 4.3.1 - Diferença entre as projeções de climatologia de ciclogêneses (2007-2099) do modelo Eta-MIROC5 no cenário RCP8.5 do IPCC e a climatologia do tempo presente (1986-2005): 2007-2040 - presente (linha 1), 2041-2070 - presente (linha 2), 2071-2099 – presente (linha 3).

Para as projeções utilizando o cenário RCP8.5, também observa-se um sinal de aumento no número de ciclogêneses para clima futuro. Destaca-se que na terceira região preferencialmente ciclogênica observada por Reboita (2008), próxima à região sudeste do Brasil, há uma proeminente intensificação, com relação ao clima presente, nas estações do verão e primavera.

## **5. CONCLUSÕES**

A primeira avaliação do modelo Eta-MIROC5 para configurar ciclogêneses no Oceano Atlântico Sul para o clima presente em comparação a Reanálise CFSR, mostrou que Eta-MIROC5 posiciona corretamente as ciclogêneses sobre o Oceano Atlântico nas altas latitudes e ao longo da costa leste da América do Sul, atingindo a Argentina, Uruguai e área sul do Brasil. Há concordância no número de ciclogênese ao norte de 20°S, que é bastante reduzida (inferior a 5 sistemas), e o CFSR. Além disso, no Eta-MIROC5 uma quantidade inferior de ciclogêneses ao observado no CFSR, principalmente sobre o Oceano Atlântico na região que compreende a faixa 40-50°S/30-60°W. Destaca-se que o modelo consegue acertar o aumento do número de ciclogêneses no inverno e uma diminuição no verão como mostra o CFSR e apesar do domínio bastante limitado (50°S – 30°N / 30°W – 100°W) em relação à Reanálise, não se verificam valores muito discrepantes de ciclogêneses.

Para o clima futuro no cenário RCP4.5 do IPCC em comparação ao clima presente, nota-se um claro aumento no número de ciclogêneses ao longo dos três períodos que compreendem as projeções para as duas estações do ano analisadas. Além disso, há uma diferença na localização dos núcleos de máxima ciclogêneses entre o clima presente e o clima futuro. Verificam-se, nas projeções, dois núcleos persistentes ao longo dos três períodos no verão, um a leste do Uruguai e outro no SE do Brasil e no inverno verifica-se um núcleo a leste do Uruguai.

Para o cenário RCP8.5 também é notado um claro sinal de aumento no número de ciclogêneses para o clima futuro. Para os resultados desse cenário, destaca-se a intensificação do núcleo preferencialmente ciclogênético do sudeste do Brasil observado por Reboita (2008).

## **6. TRABALHOS FUTUROS**

Será elaborada a climatologia de ciclogêneses no clima futuro, para os mesmos períodos explicitados acima, com modelo Eta-HadGEM2-ES, para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 do IPCC. Estas projeções também serão analisadas em comparação com a climatologia de ciclogêneses do clima presente do mesmo modelo a fim de identificar as diferenças no comportamento do clima futuro de acordo com os cenários. A expectativa é de que o aumento do número de membros (total de 4) possa aumentar a confiabilidade dos resultados aqui encontrados.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Gan, M. A. G. e V. B. Rao, 1991: Notes and Correspondences. Surface Cyclogenesis over South America. *Monthly Weather Review*, vol. 119, May, 1991, p. 1293-1302.

Palmeira, R. M. J., 2003: Climatologia de Ciclones Extratropicais na Região da América do Sul. Monografia de Graduação. Departamento de Meteorologia, UFRJ.

Reboita, M. S., 2008: Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade. Tese de Doutorado em Meteorologia, IAG/USP, 359 p.