

## **Análise espectral das simulações do modelo atmosférico regional Eta/CPTEC**

RELATÓRIO FINAL

(PIBIC/CNPq/INPE)

Fernando de Oliveira Lima

(Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: [fol2111@gmail.com](mailto:fol2111@gmail.com)

Chou Sin Chan (INPE, Orientadora)

E-mail: [chou.sinchan@gmail.com](mailto:chou.sinchan@gmail.com)

COLABORADOR

Dr. Michel Pompeu Tcheou

(Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ)

e-mail: [mtcheou@uerj.br](mailto:mtcheou@uerj.br)

Julho de 2015

## 1. INTRODUÇÃO

Pesquisas sobre modelos matemáticos para previsões de grandezas meteorológicas acuradas, assim como métodos de filtragem e tratamento de sinal, abrem ramificações por toda a engenharia. [scc1][f22]

Este projeto experimenta remover altas frequências das condições de contorno lateral do que alimenta o modelo de previsão atmosférica Eta do CPTEC". A análise do espectro de potência nas simulações do "little brother" poderá mostrar o quanto o modelo Eta consegue manter a energia das frequências da sua forçante e a quantidade de energia que é desenvolvida no interior do próprio modelo. Testes com diferentes versões de representação dos processos físicos mostrarão a necessidade de modificações do modelo para melhor representar o espectro de potência da energia cinética. A melhor representação será escolhida baseado em comparações com o espectro de potência de dados observacionais. Os dados observacionais mais adequados neste caso são dados de reanálises, como por exemplo do 'Climate Forecast System Reanalysis' (CFSR) <sup>[1]</sup> que estão disponíveis na resolução de cerca de 38 km, em intervalos de 6 horas para todo o globo. A análise espectral dos dados do CFSR será comparada com a análise espectral do "big brother".

Análise espectral através da Transformada de Fourier Discreta, foi aplicada nas condições forçantes de 40km e também nas condições das simulações aninhadas foi verificada o espectro de potência da energia cinética do "Big Brother", as condições forçantes, e do "little brother" as condições aninhadas. A relação entre os dois espectros indicará a perda ou ganho de energia ou estrutura no modelo aninhado. A distribuição espacial desta relação permitirá também indicar a distância para o interior do domínio do modelo aninhado em que o efeito do "Big brother" é dominante sobre o "little brother". Este resultado ajudará na decisão sobre o tamanho do domínio coberto na escolha da configuração do modelo aninhado, o "little brother".

### **OBJETIVOS:**

O projeto tem por objetivos específicos:

1. Analisar o padrão espectral do modelo atmosférico Eta/CPTEC em diferentes resoluções espaciais e tamanho de domínio;
2. Avaliar a reprodutibilidade das simulações do modelo regional Eta em relação às condições das forçantes do contorno lateral;

3. Realizar testes de sensibilidade do modelo atmosférico Eta/CPTEC em diferentes representações de processos físicos;

Segundo o plano inicial foram planejados os seguintes experimentos:

1. Eta-40km-Full > Eta-20km (Controle)
2. Eta-40km-Full > Eta-10km
3. Eta-40km-Low > Eta-20km
4. Eta-40km-Low > Eta-10km
5. Eta-40km-Full > Eta-10km-phys1
6. Eta-40km-Full > Eta-10km-phys2
7. Eta-40km-Full > Eta-10km-phys2

Este relatório focaliza a conversão dos dados gerados pelas filtragens, através do programa MATLAB, em arquivos GRIB. A motivação para realizar este objetivo veio da ausência de visualização dos resultados da filtragem. Anteriormente os dados eram enviados para o CPTEC e esperado os resultados com os parâmetros filtrados aplicados no modelo Eta, porém com a ferramenta GrADS é possível simular estes resultados antes de aplica-los, basta a devida formatação dos arquivos em GRIB ser respeitada. Então decidiu-se criar um processo de conversão para esta e futuras pesquisas.

## **2. Familiarização de ferramentas computacionais**

O arquivo binário será processado pelo GrADS através de algoritmos, gerando um arquivo texto como saída. Este arquivo será utilizado no MATLAB, onde serão aplicados os modelos matemáticos da análise espectral. Nas atividades de familiarização estavam incluídos a criação desse algoritmo que transforma o arquivo binário em arquivo de texto, e o desenvolvimento da análise espectral.

## **3. GrADS e MATLAB**

Segundo sua própria referência, Grid Analysis and Display System (GrADS) é uma ferramenta da área de trabalho interativa usada para facilitar o acesso, manipulação e visualização de dados de grandezas meteorológicas e topológicas. O GrADS suporta vários tipos de arquivos, incluindo os aqui utilizados: GRIB 1 e 2 (.grb1 e .grb2, respectivamente) e

os arquivos do próprio programa, .ctl e .gs, que serão detalhados mais adiante. O programa pode ser acessado via terminal. Os dados podem ser exibidos em uma grande variedade de gráficos, podendo fornecer uma saída em forma de imagem, suas configurações podem ser controladas pelo usuário, como pode ser visto na figura 2.

No geral, a função do GrADS [5] se resume em transformar arquivos de dados binários em imagens gráficas ou em arquivos textos, dependendo da aplicação. O resultado final, no caso o arquivo-texto, será utilizado pelo MATLAB. Ferramenta de computação numérica utilizada.

Com a aquisição dos valores das velocidades do vento meridional pelo modelo ETA 40 km, e o armazenamento destas em um arquivo-texto, foi possível concentra-se na utilização dos fundamentos de processamento de dados através da plataforma de computação numérica MATLAB. Nesta, foram utilizados modelos matemáticos para a análise espectral do sinal, o real objetivo desse projeto.

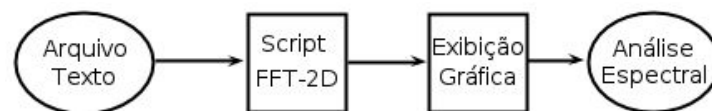


Figura 1: Diagrama do processo realizado com o MATLAB

O trabalho no MATLAB [4] foi basicamente utilizar os dados do arquivo-texto na forma matricial e aplicar as ferramentas de processamento de sinal. Tanto a reorganização quanto as ferramentas são executadas no script de MATLAB. Como mostrado em um digrama na Figura 2, para o melhor entendimento do processo realizado com a plataforma em questão.

Por fim é feito um script de conversão dos dados filtrados para um arquivo de leitura .txt, formatado de forma que o ponto de origem fique no canto inferior a esquerda, assim a latitude e longitude seguem de forma crescente acima e a direita do arquivo.

#### 4. Análise Espectral

Como dito anteriormente buscamos fazer a análise espectral de duas dimensões, portanto foi necessário utilizar a versão espacial de duas dimensões da DCT, a transformada discreta do cosseno bidimensional(DCT-2D). Em uma grade de tamanho Ni pontos da direção longitudinal por Nj na direção latitudinal, a DCT-2D é descrita da seguinte maneira:

$$F(u, v) = \left(\frac{2}{N}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{2}{M}\right)^{\frac{1}{2}} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} \Lambda(i) \cdot \Lambda(j) \cdot \cos \left[ \frac{\pi \cdot u}{2 \cdot N} (2i + 1) \right] \cos \left[ \frac{\pi \cdot v}{2 \cdot M} (2j + 1) \right] \cdot f(i, j)$$

(3)

Onde:

$$A(\varepsilon) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{para } \varepsilon = 0 \\ 1, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Segundo Laprise <sup>[3]</sup> a DCT-2D, gera uma sequência de semi-circunferências, cujos raios podem ser caracterizados como número de onda (wavenumber), descrita na equação (5). No qual pode ser relacionado com o comprimento de onda com a equação, sendo N o número de amostras em uma das dimensões e o delta espaçamento entre os pontos.

Número de Onda:

$$k = \sqrt{m^2 + n^2} \quad (4)$$

Onde m é a componente do número de onda da direção longitudinal e n é a componente na direção latitudinal.

Comprimento de onda:

$$\lambda = 2 \Delta / k \quad (5)$$

Onde o delta representa o espaçamento entre os pontos no mapa.

## 5. Filtragem espectral

Após transformar a matriz de velocidades do domínio do espaço para a frequência, foram iniciados os tratamentos para remoção de altas frequências através de filtragem espectral. Este tipo de filtragem modifica o sinal no domínio da frequência para somente após obter a resposta do sinal ao filtro no domínio da frequência através da transformada inversa da DCT-2D. Para eliminar as altas frequências o ideal seria utilizar um filtro passa-baixa, estipulando uma frequência de corte. Mas deve-se levar em consideração a conversão da frequência (ou número de onda) para comprimento de onda citada no último tópico. Como a relação entre comprimento e número de onda é inversamente proporcional é em filtrar comprimentos de onda menores, afinal quanto maior a frequência menor o comprimento de onda.

Ambas os lados da relação (entre comprimento ou número de onda) formam abordagens válidas, podendo assim criar filtros em função das duas variáveis. O filtro é representado matematicamente como uma função de transferência  $H(u, v)$ , onde “u” e “v” são as componentes bidimensionais no domínio da frequência, assim como “x” e “y” são no domínio do espaço. No domínio da frequência o sinal filtrado é obtido através da convolução

entre o sinal e a função de transferência, no domínio da frequência a resposta é obtida através da multiplicação das respectivas funções em tal domínio [6].

$$\langle f(x, y) * h(x, y) \rangle = \langle F(u, v)H(u, v) \rangle$$

O filtro passa-baixa ideal para eliminar altas frequências é o filtro retangular, e mostrou-se o mais satisfatório entre outros testados. Apesar do nome apresenta uma característica cilíndrica na aplicação bidimensional, devido sua modelagem ser feita através do comprimento de onda uma relação estabelecida da distância do ponto desejado a uma origem definida, conforme já explicado acima. Logo a função  $H(u,v)$  terá como único parâmetro o comprimento de onda (bem assim como sinal) podendo ser definida como uma função  $H(\lambda)$  e  $\lambda_0$  é o comprimento de corte, assim:

$$H(\lambda) = \begin{cases} 1, \lambda \geq \lambda_0 \\ 0, \lambda < \lambda_0 \end{cases}$$

Podemos observar a característica retangular do filtro no gráfico da função de transferência em relação ao comprimento de onda.

Após a multiplicação desta função de transferência com o sinal, a resposta obtida foi convertida de volta ao domínio do espaço, obtendo assim o sinal filtrado. Abaixo está mostrado a comparação do sinal original com os filtrados em três frequências de corte diferentes.

## 6. O formato GRIB:

GRIB (GRIdded Binary or General Regularly-distributed Information in Binary form [7]), é um format de dados usado na área de meteorologia para armazenar dados de previsão de tempo.

O programa tem arquivos de dados de uma figura 2D baseado nas amostras de latitude e longitude, que lhe foi informado. O arquivo é codificado de uma forma há economizar espaço, tornando arquivos de informação 2D, que originalmente seriam grandes, relativamente leves.

Para utilizar o formato GRIB, são necessários arquivos de conversão que são regulados pelo NCEP. Este órgão disponibiliza códigos e bibliotecas para as conversões, incluindo a GRIB API C, feito em linguagem C, que é base para aplicação deste projeto, o módulo Pygrib [8]).

## 7. Resultados e comparações obtidos com os dados filtrados:

Os dados filtrados foram enviados ao CPTEC para comparações com as previsões iniciais (sem a filtragem espectral). Abaixo estão os resultados de precipitações utilizando os dados filtrados como forçante lateral no modelo Eta 15km, bem como os mapas de precipitação. O impacto é pequeno, mas perceptível (Fig 6). Testes de filtragem com diferentes comprimentos de onda serão realizados.

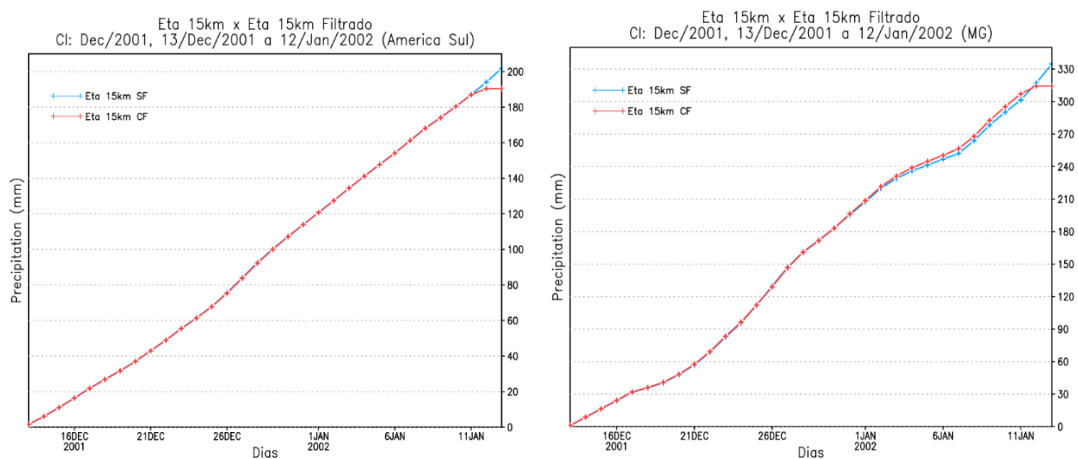


Figura 2: Resultados de precipitações com o modelo Eta 15km.

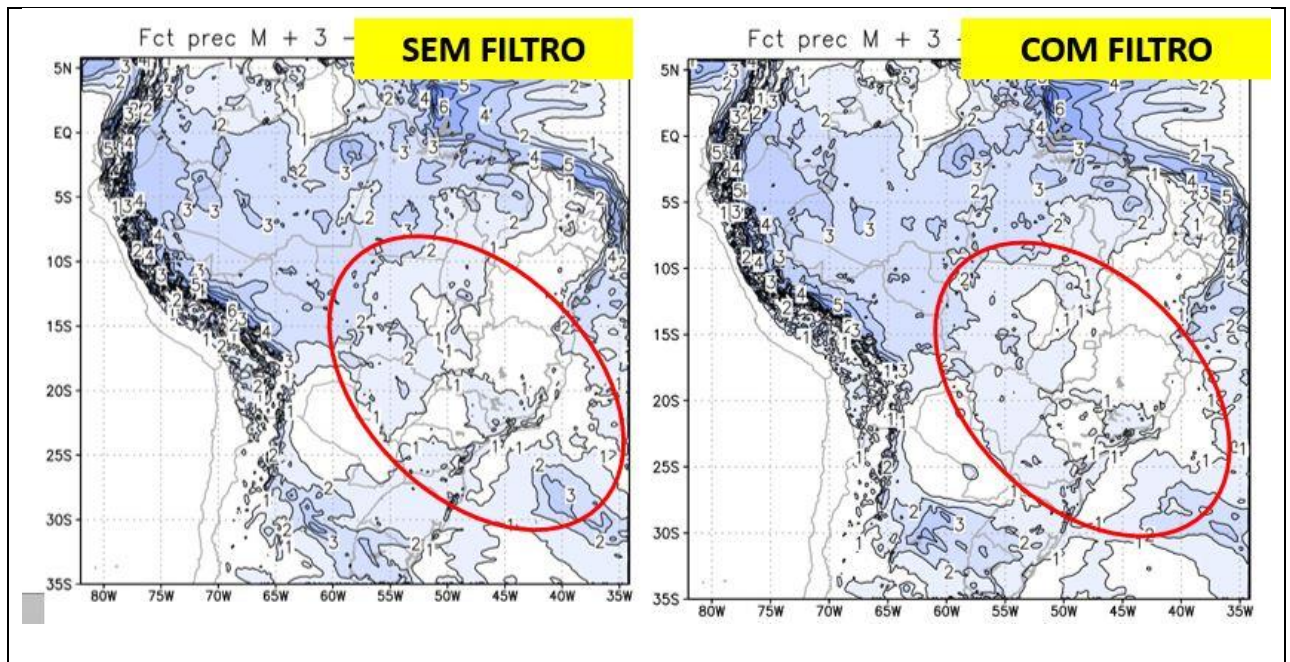


Figura 3 – Precipitação prevista para o mês de março (mm/dia) de 2002 original e com filtro de ondas curtas (<100km) aplicado nas condições de contorno lateral. Em destaque a região Sudeste onde se nota mudanças nos valores da precipitação prevista. A condição inicial da previsão é 15 de dezembro de 2001.

Foram feitas tentativas de conversão com o módulo pygrib, um módulo da linguagem Python estruturada em C. A base do algoritmo é detalhada abaixo:

Importa o módulo pygrib

- `>>> import pygrib`

Abre um arquivo GRIB.

- `>>> grbs = pygrib.open('sampledata/flux.grb')`

O pygrib se comporta como qualquer objeto da linguagem python

- `>>> grbs.seek(2)`
- `>>> grbs.tell()`
- `>>> grb = grbs.read(1)[0]` # read returns a list with the next N (N=1 in this case) messages.
- `>>> grb` # printing a grib message object displays summary info
- `3:Maximum temperature:K`  
`(instant):regular_gg:heightAboveGround:level 2 m:fcst time 108-120`  
`hrs:from 200402291200`
- `>>> grbs.tell()`
- # The data is returned as a numpy array, or if missing values or a bitmap
- # are present, a numpy masked array. Reduced lat/lon or gaussian grid
- # data is automatically expanded to a regular grid. Details of the internal



- # representation of the grib data (such as the scanning mode) are handled
- # automatically.
- >>> maxt = grb.values # same as grb['values']
- >>> maxt.shape, maxt.min(), maxt.max()
- (94, 192) 223.7 319.9

Extrai o ponto da latitude e longitude do grid.

- >>> lats, lons = grb.latlons()
- >>> lats.shape, lats.min(), lats.max(), lons.shape, lons.min(), lons.max()
- (94, 192) -88.5419501373 88.5419501373 0.0 358.125
- >>> grb = grbs.message(2) # same as grbs.seek(1);  
grb=grbs.readline()
- >>> grb
- 2:Surface pressure:Pa (instant):regular\_gg:surface:level 0:fcst  
time 120 hrs:from 200402291200

Modifica os dados do GRIB

- >>> grb['forecastTime'] = 240
- >>> grb.dataDate = 20100101
- >>> msg = grb.tostring()
- >>> grbs.close() # close the grib file.

## 8. Conclusão

Apesar do script em python abrir e modificar arquivos em GRIB corretamente, os arquivos criados a partir dos dados coletados ainda não se comportam como esperado, gerando erros que podem ser vistos no GrADS. O problema se encontra no algoritmo, logo futuramente esse será revisto para que a conversão seja feita corretamente.

## 9. Referências Bibliográficas

1. Saha et al., 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. Bulletin of American Meteorological Society. 1015-1057.
2. Diniz, p. S. R., Da Silva, e. A. B., Netto, s. L. Processamento Digital de Sinais. 1 ed. Rio de Janeiro, Brasil, Artmed, 2004.
3. Denis, B., J. Côté and R. Laprise, 2002: Spectral decomposition of two-dimensional atmospheric fields on limited-area domains using discrete cosine transforms (DFT). Mon. Wea. Rev. 130,1812-1829 .
4. <http://www.mathworks.com/products/matlab/>
5. <http://www.iges.org/grads/>
6. Digital Image Processing, Gonzalez and Woods, Second Edition, Prentice-Hall, 2002
7. <http://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/docs/grib2/>
8. <https://pypi.python.org/pypi/pygrib>