

Manipulação e visualização de dados gerados pelo modelo atmosférico *Brazilian Global Atmospheric Model (BAM)* através de bibliotecas Python.

Lucas Ribeiro Mallmann, Eugenio Sper de Almeida, Ivo Kenji Koga

Resumo: A geração da previsão meteorológica utiliza-se de um *workflow* meteorológico que emprega diferentes ferramentas computacionais. As bibliotecas Pygrib, Iris e GRIB-API foram desenvolvidas com funcionalidades que permitem analisar e visualizar as saídas de modelos meteorológicos. Este trabalho tem como objetivo analisar essas bibliotecas visando identificar limitações para a manipulação e visualização das saídas do *Brazilian Atmospheric Global Model (BAM)*, geradas em formato GRIB1 e GRIB2. As bibliotecas foram analisadas em sua capacidade de extrair metadados, e manipular e visualizar as saídas do BAM. A GRIB-API não foi analisada pois é utilizada pela Pygrib. A Iris apresentou problemas na leitura dos metadados. A Pygrib não conseguiu ler o nome de seis variáveis do arquivo GRIB1, mas obteve sucesso com o arquivo GRIB2. Desta forma, concluímos que a biblioteca Pygrib é a mais indicada para o emprego em *workflow* meteorológicos.

Palavras-chave -- Modelos atmosféricos, Pygrib, GRIB-API, Iris, GRIB, *workflow* meteorológico

I. INTRODUÇÃO

A previsão numérica de tempo utiliza modelos matemáticos e físicos que simulam o comportamento da atmosfera. Sua geração diária depende de um *workflow* que coleta informações (dados de observação, imagens de satélites meteorológicos e condições atuais da atmosfera),

Este projeto foi viabilizado pelo CNPq (processo: 142788/2017), através de bolsa PIBIC 2016/2018.

Lucas Ribeiro Mallmann é bolsista de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) (e-mail: lucasmallmann76@gmail.com).

Eugênio Sper de Almeida é doutor em Computação Aplicada no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). (e-mail: eugenio.almeida@inpe.br).

Ivo Kenji Koga é doutor em Ciência da Computação e tecnólogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). (e-mail: ivo.koga@inpe.br).

executa o modelo em um supercomputador e gera figuras dos campos meteorológicos para uso dos meteorologistas e disponibilização para o público em geral.

No contexto do CPTEC, para que esse *workflow* seja realizado são utilizadas diversas ferramentas (IDL, Matlab, *shell scripts* e GrADS), que são responsáveis por realizar a manipulação e visualização dos dados meteorológicos. Porém, o responsável por manipular esses dados devem ter conhecimento de todas as ferramentas necessárias, tornando o *workflow* mais complexo do que deveria ser, além do ambiente de análise desses dados ser muito segregado, pois cada ferramenta possui uma função específica.

Este trabalho apresenta a manipulação e visualização dos dados gerados pelo *Brazilian Atmospheric Global Model (BAM)* através da linguagem Python, como alternativa a programação utilizando *shell scripts* e GrADS. Em meteorologia e climatologia, a adoção de Python é observada nos grandes centros de meteorologia mundiais, que desenvolveram bibliotecas para a manipulação e visualização de dados meteorológicos: NOAA (Pygrib), UK Met Office (iris) e ECMWF (GRIB-API). A utilização de Python se mostra adequada em nosso ambiente pois permite integrar as funcionalidades de análise e visualização dos dados em um ambiente único.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os modelos numéricos atmosféricos representam o estado dinâmico da atmosfera, ou seja, representam os movimentos e processos físicos através de equações matemáticas, e fazem uma previsão do período futuro a partir do estado atual [1]. Os modelos utilizam informações sobre as condições atuais do tempo (dados

observados, dados derivados de imagens de satélite e saídas de modelos de dias anteriores) para que possam gerar uma previsão com um alto grau de confiabilidade.

Os modelos podem ser categorizados em dois tipos principais: regionais e globais. Os modelos globais geram previsões numéricas para todo o globo terrestre. Os modelos regionais dependem dos globais e são capazes de gerar uma previsão com maior resolução para áreas geográficas específicas [2].

Para o desenvolvimento desse projeto serão utilizados dados gerados pelo BAM, que consiste em um modelo atmosférico de circulação global que substituiu o antigo Modelo de Circulação Geral Atmosférico (*Atmospheric Global Circulation Model – AGCM*) do CPTEC/INPE e entrou em vigor a partir do ano de 2016.

O AGCM3 (última versão do modelo antigo) é um modelo atmosférico global, que sofreu uma adaptação do AGCM produzido pelo Centro para Estudos sobre Oceano-Terra-Atmosfera (*Center for Ocean - Land - Atmosphere Studies - COLA*) durante a década de 1990. O AGCM3 foi muito utilizado nos anos passados para realizar operações probabilísticas e estatísticas sobre previsão numérica do tempo [3].

O BAM foi desenvolvido com o objetivo de superar as deficiências do antigo AGCM, visto que muitos erros sistemáticos na previsão numérica e na simulação do clima foram encontrados para resoluções horizontais (0 - 100) km, além de apresentar excesso de precipitação oceânica tropical e também falha na previsão de precipitação perto das montanhas com altos valores de latitude [3].

Segundo FIGUEROA, et al. [3], o modelo BAM demonstra uma maior exatidão em suas previsões com relação ao antigo modelo AGCM, visto que os erros nas previsões de chuva tropical oceânica foram reduzidos drasticamente com os testes realizados no BAM.

Esse modelo gera quatro saídas diárias nos períodos 00, 06, 12 e 18 UTC na forma de campos meteorológicos representados como matrizes bidimensionais e tridimensionais com informações sobre o vento, temperatura, precipitação, entre outros. As saídas são na

forma de arquivos binários do tipo *GRIdded Binary* (GRIB).

O GRIB é um formato de arquivo padrão da *World Meteorological Organization* (WMO) utilizado para o armazenamento e troca de dados meteorológicos em grade. Além dos campos meteorológicos, cada arquivo contém informações sobre: resolução, data, variáveis nível e centro originário. Ele é um formato criado para ser compacto e portátil através de arquiteturas computacionais, além de ser um meio eficiente de transmitir grandes volumes de dados entre diversos centros meteorológicos, com comunicação em alta velocidade [4].

O arquivo GRIB possui as versões GRIB1 e GRIB2, que são semelhantes na sua codificação, mas se diferem na sua estrutura. Suas divisões lógicas designadas são designadas "seções", cada uma das quais fornece informações de controle e/ou dados (Tabela 1).

Tabela 1 - seções GRIB

SEÇÃO	GRIB1	GRIB2
0	Indicator section	Indicator Section
1	Product definition section	Identification Section
2	Grid description section	Local Use Section
3	Bit-map section	Grid Definition Section
4	Binary data section	Product Definition Section
5	7777 (End section)	Data Representation Section
6	Não se aplica	Bit-map Section
7	Não se aplica	Binary Data Section
8	Não se aplica	End Section

A transmissão e armazenamento de previsões de um longo prazo em um arquivo GRIB1 não é muito eficiente se comparada com a versão GRIB2, ele não possui conversor para os dados que forem requisitados, além de problemas na transmissão de dados multidimensionais [5]. Porém, apesar de não ter mais suporte, ainda é aceito devido a sua vasta utilização em vários centros meteorológicos.

O GRIB2 foi uma evolução do GRIB1, ele apresenta a autodescrição, na qual cada variável

meteorológica no arquivo contém informações como latitude, longitude, horário de previsão. A sua flexibilidade permite a troca dos arquivos entre várias arquiteturas diferentes de computador, e a expansão permite armazenar previsões de períodos maiores que o GRIB1. O GRIB2 apresenta uma maior compressão dos arquivos, o que significa que os arquivos no formato GRIB2 geralmente possuem uma quantidade menor de *bytes* em relação aos do GRIB1, e também na extração de dados, podendo guardar informações sobre previsões de um período maior [5].

Na seção 1 (Product definition section), dos arquivos GRIB1, gerados pelo INPE/CPTEC, o octeto 5 refere-se a identificação do centro e o octeto 4 ao número da versão da tabela de parâmetros. São preenchidos com os valores 46 (Brazilian Space Agency - INPE) e 254, respectivamente. A Tabela 254 informa a relação dos números das variáveis meteorológicas com os seus nomes reais.

Na seção 1 (Identification section), dos arquivos GRIB2, os octetos 6-7 referem-se a identificação de origem/centro de geração e o octeto 10 contém a informação sobre o número da versão da tabela GRIB mestre (atual = 4) [4], mantida pela WMO. Caso seja utilizada informações locais (octeto 10 = 255) o octeto 11 informará o número da versão da tabela locais GRIB.

O desenvolvimento do projeto teve como objetivo realizar um estudo comparativo entre as bibliotecas Iris, GRIB-API e Pygrib. Dentro deste contexto foram analisados suas funcionalidades para a extração de metadados e visualização de dados gerados em formato GRIB1 e GRIB2

A Iris é uma biblioteca para análise e visualização de dados meteorológicos e oceanográficos desenvolvida pela Uk Met Office no Reino Unido [6]. Com ela, é possível ler diversos tipos de arquivos, como por exemplo: arquivos no formato *NetCDF*, formato de pós-processamento, que são arquivos utilizados para guardar dados meteorológicos, e não está restrita apenas ao GRIB. As variáveis identificadas são tratadas como cubos, que contém os dados e os metadados sobre um fenômeno.

Cada cubo é uma interpretação da Convenção de Metadados de Clima e Previsão (CF) [7].

O objetivo da convenção de dados CF é padronizar os dados a fim de que eles contenham metadados suficientes para serem autodescritivos, para tanto possuem metadados que incluem unidades físicas, como localização e tempo [7]. Um cubo é capaz de descrever apenas um único fenômeno, e possui nome, uma unidade e um array n-dimensional que representa os valores do cubo. Possui também coordenadas para que seja possível a sua representação no mundo real (espaço e tempo) [6].

A GRIB-API [8] é uma interface de programa aplicativo (API) desenvolvida pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Pode ser acessada a partir de programas (C, FORTRAN ou Python) desenvolvidos para codificação e decodificação de mensagens WMO FM-92 GRIB 1 e 2. Possui um conjunto de ferramentas de linha de comando que é fornecido para acesso rápido às mensagens GRIB.

A Pygrib [9] utiliza a GRIB-API para decodificar e ler os arquivos GRIB, sendo um módulo Python desenvolvido para leitura e escrita de arquivos GRIB nas edições 1 e 2. Os campos meteorológicos são interpretados na forma de mensagens meteorológicas, e também apresentam seus correspondentes metadados, como níveis de pressão, latitude e longitude, hora de saída.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Em Ciência da Terra, observa-se uma crescente utilização da linguagem Python devido a facilidade e flexibilidade de programação. Ela possui bibliotecas gráficas e numéricas, além de possuir uma estrutura de dados moderna [10]. Sua utilização vai desde análise de dados até computação distribuída, e interfaces gráficas de usuários a sistemas de informação geográficas [11]. Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas bibliotecas desenvolvidas na linguagem Python que realizam a leitura e manipulação de arquivos meteorológicos.

Para a instalação das bibliotecas foi utilizado o software Anaconda [12], que é uma ferramenta de

gerenciamento de bibliotecas e ambientes virtuais que tem como principal vantagem o fato de vários pacotes científicos já estarem inclusos em sua instalação, o que facilita e agiliza o desenvolvimento. Outra grande vantagem é que o Anaconda permite trabalhar com diversos ambientes virtuais, cada um deles com seu próprio interpretador Python. Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizada a versão 2.7 da linguagem Python, devido à sua compatibilidade com as bibliotecas necessárias.

Os arquivos no formato GRIB1 e GRIB2 foram obtidos acessando os dados de saída do modelo BAM, gerados pelo supercomputador CRAY XE-6 (Tupã) do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)¹. Adicionalmente obteve-se os arquivos no formato CTL (acrônimo para *controller*), que são originalmente arquivos de texto contendo metadados sobre os dados binários utilizados pelo visualizador GRADS. Os arquivos são utilizados como suporte ao GRADS para a manipulação de arquivos em formato GRIB.

Foram iniciados os testes para a leitura dos arquivos utilizando as bibliotecas a fim de realizar um estudo comparativo entre elas, identificando seus maiores problemas e vantagens, levando alguns fatores em consideração. As bibliotecas foram testadas na capacidade em ler arquivos GRIB1 e GRIB2, e também se na leitura dos campos apresentavam erros de coordenadas, ou se a variável meteorológica não era identificada.

A documentação de ambas foi estudada, para dar início aos testes de manipulação e visualização dos arquivos GRIB utilizando as diferentes possibilidades que elas oferecem, e as visualizações dos campos meteorológicos dos arquivos GRIB foram realizadas utilizando bibliotecas gráficas da linguagem Python, tais como Matplotlib [13] e Cartopy [14].

A Pygrib foi utilizada para extrair informações do GRIB a fim de colocar essas informações em um novo arquivo de texto no padrão ASCII. Essa extração foi feita com a intenção de realizar uma comparação entre os

metadados extraídos e o arquivo CTL descritor de metadados gerado pelo BAM. Em nosso trabalho, os arquivos no formato CTL foram utilizados para verificar se os metadados obtidos pelas bibliotecas estavam corretos. Desta forma, foi desenvolvido um programa para obter os metadados do arquivo GRIB, armazenar em formato texto e comparar com o conteúdo do arquivo CTL.

IV. RESULTADOS E ANÁLISES

A análise foi iniciada pela GRIB-API, no entanto ela não foi utilizada neste trabalho. Verificou-se durante a revisão bibliográfica, que a mesma foi utilizada no desenvolvimento da ferramenta Pygrib.

Analisando a biblioteca Iris, foi verificado que a mesma possui uma documentação ampla fornecida pelo *UK Met Office*, e fornece ferramentas integradas para a análise dos dados meteorológicos, como a extração de dados de uma região específica, e também apresenta grande assertividade nos metadados referentes a coordenadas, não apresentando erro na leitura de latitude e longitude dos arquivos GRIB2.

Ao analisar o arquivo GRIB1, a Iris não conseguiu identificar nenhuma variável, retornando todos os campos como UNKNOWN. A Figura 1 apresenta a leitura de um arquivo GRIB 1 utilizando a Iris.

```
...
0:UNKNOWN LOCAL PARAM 132.254 / (unknown)(latitude: 1000;
longitude: 2000)
1:UNKNOWN LOCAL PARAM 194.254 / (unknown)(latitude: 1000;
longitude: 2000)
2:UNKNOWN LOCAL PARAM 36.254 / (unknown)(pressure: 33;
latitude: 1000; longitude: 2000)
3:UNKNOWN LOCAL PARAM 226.254 / (unknown)(latitude: 1000;
longitude: 2000)
4:UNKNOWN LOCAL PARAM 85.254 / (unknown)(latitude: 1000;
longitude: 2000)
...
```

Figura 1 - Leitura dos metadados do arquivo Grib1 com Iris

Utilizando a Iris, foi possível ler os arquivos do tipo GRIB2. Na leitura, foram retornados os campos meteorológicos contendo informações sobre suas coordenadas de latitude, longitude e níveis de pressão. A Figura 2 demonstra a leitura de alguns campos, e é possível perceber que alguns são devidamente retornados, porém os campos 1 e 2 não são identificados.

¹ <https://www.cptec.inpe.br>

```
...
0: precipitable_water / (kg m-2) (latitude: 1000; longitude: 2001)
1: unknown / (unknown) (latitude: 1000; longitude: 2001)
2: unknown / (unknown) (latitude: 1000; longitude: 2001)
3: air_pressure / (Pa) (latitude: 1000; longitude: 2001)
4: air_pressure_at_sea_level / (Pa) (latitude: 1000; longitude: 2001)
5: relative_humidity / (%) (latitude: 1000; longitude: 2001)
...
```

Figura 2 - Leitura dos metadados do arquivos Grib2 com Iris

A Figura 3 demonstra a utilização da Iris para a visualização de campos meteorológicos de um arquivo GRIB2. Nela os dados umidade relativa na superfície, referente à data de 25/03/2018 no horário de 12 UTC, são plotados em conjunto com um mapa de contorno dos continentes.

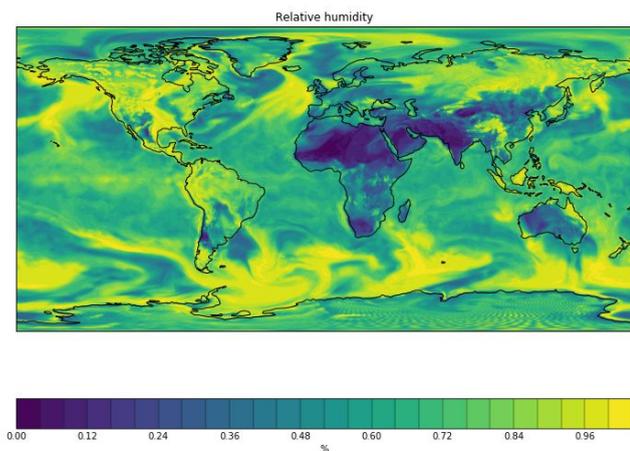


Figura 3 - Umidade relativa na superfície.

A Pygrib possui um número de funcionalidades e documentação reduzida em comparação com a Iris. Na leitura de um arquivo GRIB, a Pygrib identifica quais são as variáveis contidas no arquivo e as retorna no formato de mensagens meteorológicas contendo alguns metadados mais relevantes, como nome, data, altitude, coordenadas.

Na leitura do arquivo GRIB1 utilizando a Pygrib, não foi possível ler o nome de seis variáveis (10, 199, 216, 217, 228 e 229) do arquivo GRIB1 (Figura 4). Isto ocorreu devido a inexistência dessas variáveis na tabela 254 que os desenvolvedores do Pygrib tiveram acesso.

```
1:Topography:m (instant):regular_ll:surface:level 0:fcst time 6 6 hr
periods:from 201709061200
...
4:Surface zonal wind (u):m s**-1 (instant):regular_ll:surface:level 0:fcst
time 6 6 hr periods:from 201709061200
5:Zonal wind (u):m s**-1 (instant):regular_ll:isobaricInhPa:level
1020:fcst time 6 6 hr periods:from 201709061200
6:Zonal wind (u):m s**-1 (instant):regular_ll:isobaricInhPa:level
1000:fcst time 6 6 hr periods:from 201709061200
....
```

```
346:var199 undefined:unknown (instant):regular_ll:surface:level 0:fcst
time 6 6 hr periods:from 201709061200
....
463:Ground/surface cover temperature:K (instant):regular_ll:surface:level
0:fcst time 6 6 hr periods:from 201709061200
464:var229 undefined:unknown
(instant):regular_ll:heightAboveGround:level 2:fcst time 6 6 hr
periods:from 201709061200
465:var228 undefined:unknown
(instant):regular_ll:heightAboveGround:level 2:fcst time 6 6 hr
periods:from 201709061200
466:Divergence of specific humidity:s**-1
(instant):regular_ll:heightAboveGround:level 10:fcst time 6 6 hr
periods:from 201709061200
467:var10 undefined:unknown (instant):regular_ll:surface:level 0:fcst
time 6 6 hr periods:from 201709061200
468:var216 undefined:unknown
(instant):regular_ll:heightAboveGround:level 2:fcst time 6 6 hr
periods:from 201709061200
469:var217 undefined:unknown
(instant):regular_ll:heightAboveGround:level 2:fcst time 6 6 hr
periods:from 201709061200
...
484:Time ave ground ht flx:W m**-2 (instant):regular_ll:surface:level
0:fcst time 6 6 hr periods:from 201709061200
```

Figura 4 - Leitura dos metadados do arquivos Grib1 com Pygrib

A Figura 5 apresenta resultados referentes a leitura de um arquivo no formato GRIB2 utilizando a Pygrib. Neste caso não houve problemas com a leitura do nome das variáveis devido a utilização da tabela GRIB mestre da WMO.

```
2:Land-sea mask:(0 - 1) (instant):regular_ll:surface:level 0:fcst time 24
hrs:from 201803251200
10:U component of wind:m s**-1 (instant):regular_ll:isobaricInhPa:level
70000 Pa:fcst time 24 hrs:from 201803251200
18:U component of wind:m s**-1 (instant):regular_ll:isobaricInhPa:level
7000 Pa:fcst time 24 hrs:from 201803251200
26:V component of wind:m s**-1 (instant):regular_ll:isobaricInhPa:level
85000 Pa:fcst time 24 hrs:from 201803251200
34:V component of wind:m s**-1 (instant):regular_ll:isobaricInhPa:level
15000 Pa:fcst time 24 hrs:from 201803251200
42:Vertical velocity:Pa s**-1 (instant):regular_ll:isobaricInhPa:level
100000 Pa:fcst time 24 hrs:from 201803251200
50:Vertical velocity:Pa s**-1 (instant):regular_ll:isobaricInhPa:level
25000 Pa:fcst time 24 hrs:from 201803251200
58:Vertical velocity:Pa s**-1 (instant):regular_ll:isobaricInhPa:level 1000
Pa:fcst time 24 hrs:from 201803251200
66:Geopotential Height:gpm (instant):regular_ll:isobaricInhPa:level
40000 Pa:fcst time 24 hrs:from 201803251200
74:Geopotential Height:gpm (instant):regular_ll:isobaricInhPa:level 3000
Pa:fcst time 24 hrs:from 201803251200
82:Temperature:K (instant):regular_ll:isobaricInhPa:level 85000 Pa:fcst
time 24 hrs:from 201803251200
90:Temperature:K (instant):regular_ll:isobaricInhPa:level 15000 Pa:fcst
time 24 hrs:from 201803251200
98:2 metre temperature:K (instant):regular_ll:heightAboveGround:level 2
m:fcst time 24 hrs:from 201803251200
106:Relative humidity:% (instant):regular_ll:isobaricInhPa:level 77500
Pa:fcst time 24 hrs:from 201803251200
```

```
114:Relative humidity:% (instant):regular_ll:isobaricInhPa:level 10000
Pa:fcst time 24 hrs:from 201803251200
122:10 metre U wind component:m s**-1
(avg):regular_ll:heightAboveGround:level 10 m:fcst time 19-24 hrs
(avg):from 201803251200
130:short-waveradiation flux:W m**-2 (instant):regular_ll:surface:level
0:fcst time 24 hrs:from 201803251200
```

Figura 5 - Leitura de GRIB2 com Pygrib

A Pygrib apresentou erros na leitura das coordenadas de latitude e longitude dos arquivos do CPTEC. Como o BAM é um modelo atmosférico global, ele gera previsões numéricas para todo o globo terrestre. Portanto, suas coordenadas de longitude iriam de 0.0 até 360.0 e as de latitude seriam de -90.0 até 90.0 Na leitura dos arquivos GRIB1, as coordenadas de longitude estavam com valores zerados, tornando impossível a visualização dos campos meteorológicos.

Para a resolução desse problema, o código fonte da biblioteca foi alterado. A biblioteca disponibiliza funções para extração dos metadados de latitude e longitude, e para isso ela realiza um cálculo. Esse cálculo consiste em identificar qual é o primeiro e o último valor de coordenada (latitude ou longitude) da mensagem meteorológica, e em seguida ele verifica quantos valores daquela coordenada o arquivo possui, ou seja, quantos valores de latitude e longitude a variável contém.

Esse intervalo entre o primeiro e o último valor, são preenchidos automaticamente de forma que a quantidade total de valores dentro desse intervalo é igual a quantidade de valores de coordenadas. Porém, foi identificado que o primeiro valor de longitude tinha valor de 0.0 graus, e o último também tinha valor de 0.0 graus sendo que era necessário que o último tivesse valor igual à 360.0 graus, ou seja, quando o cálculo era realizado, ele não possuía um intervalo válido para formar os valores de longitude, resultando assim em valores de longitude zerados.

Esse problema foi corrigido modificando o modo como ele obtinha o último valor de longitude, fazendo com que agora ele retornasse o penúltimo valor, que possuía o valor correto de 360.0 graus.

Já em relação ao GRIB2, ela apresentou erros na leitura das latitudes, pois apresentaram valores incoerentes em relação ao esperado. Os resultados da leitura foram valores numéricos em uma lista que tinha como valor

mínimo -270.0 e valor máximo de -90.0, quando o correto seria o valor mínimo de -90.0 e o máximo de 90.0. Em ambos os casos foram aplicados métodos de correção para que os metadados fossem apresentados corretamente, e tornar possível a visualização dos campos. A correção das latitudes foi realizada através de um cálculo matemático, somando 180 graus a cada valor de latitude, fazendo com que ela tivesse início em -90 e fim em 90.

A figura 6 demonstra a visualização do campo meteorológico temperatura do ar na superfície (arquivo GRIB1) utilizando a Pygrib, referente ao dia 02/02/2017 com saída no horário 12 UTC. As cores variam de acordo com o valor da temperatura, sendo que quanto mais azul ela estiver, a temperatura do ar é menor. Porém, quanto mais se aproxima do vermelho, a temperatura é maior.

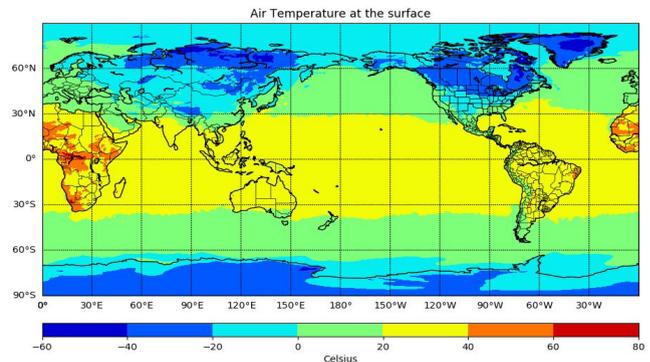


Figura 6. Temperatura do Ar na Superfície.

O programa desenvolvido para a comparação entre os metadados do GRIB e o arquivo CTL gera um arquivo de texto, contendo as informações do arquivo GRIB. O arquivo gerado pelo programa foi dividido em 2 partes principais: a parte do *header*, que identifica qual o nome do arquivo GRIB, as coordenadas de latitude, longitude, níveis de pressão e horário de saída, a parte da *vars*, que é responsável por descrever as variáveis do GRIB. A figura 7 demonstra o arquivo de texto gerado a partir de um arquivo GRIB1.

```
dset ^GPOSNMC20170906122017090618P.fct.TQ0666L064.grb
*
index ^GPOSNMC20170906122017090618P.fct.TQ0666L064.idx
*
title PRESSURE HISTORY PTEC AGCM REVIS 1.0 2000 T066664
COLD
*
dtype grib 255
*
options yrev
*
xdef 2000 linear 0.0 0.18
```

```

ydef 1000 linear -90.0 0.18
tdef 1 linear 18Z06SEP2017 6hr 18Z06SEP2017 6hr
*
zdef 33 levels 1020, 1000, 975, 950, 925, 900, 875, 850, 825, 800, 775,
750, 725, 700, 675, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 200,
150, 100, 70, 50, 30, 20, 10, 3

vars 65
TOPO 0 132, LTYPE, 0 ** Topography (m)
LSMK 1 81, LTYPE, 0 ** Land sea mask ((0 - 1))
PSLC 1 135, LTYPE, 0 ** Surface pressure (hPa)
UNKNOWN 6 199, LTYPE, 0 ** unknown (unknown)
UVES 1 192, LTYPE, 0 ** Surface zonal wind (u) (m s**-1)
UVEL 33 33, LTYPE, 0 ** Zonal wind (u) (m s**-1)
UNKNOWN 6 229, LTYPE, 2 ** unknown (unknown)
VVES 1 194, LTYPE, 0 ** Surface meridional wind (v) (m s**-1)
VVEL 33 34, LTYPE, 0 ** Meridional wind (v) (m s**-1)
OMEG 33 39, LTYPE, 0 ** Omega (Pa s**-1)
VORT 33 43, LTYPE, 0 ** Vorticity (s**-1)
FCOR 33 35, LTYPE, 0 ** Stream function (m**2 s**-1)
POTV 33 36, LTYPE, 0 ** Velocity potential (m**2 s**-1)
ZGEO 33 7, LTYPE, 0 ** Geopotential height (gpm)
PSNM 1 2, LTYPE, 0 ** Pressure reduced to msl (hPa)
TEMS 1 188, LTYPE, 0 ** Surface absolute temperature (K)
TEMP 33 11, LTYPE, 0 ** Absolute temperature (K)
UMRS 1 226, LTYPE, 0 ** Surface relative humidity (~)
UMRL 33 52, LTYPE, 0 ** Relative humidity (~)
UMES 33 51, LTYPE, 0 ** Specific humidity (kg kg**-1)
AGPL 1 54, LTYPE, 0 ** Inst.precipitable water (kg m**-2)
TSFC 1 187, LTYPE, 0 ** Surface temperature (K)
DSTP 1 85, LTYPE, 0 ** Deep soil temperature (K)
...

```

Figura 7 - Metadados do GRIB1 com Pygrib

É possível notar que as variáveis que estão em negrito não foram identificadas pela biblioteca, retornando como desconhecidas. Os números da terceira coluna são responsáveis por identificar o nome da variável na tabela 254, porém os números em vermelho não constam na tabela, fazendo com que as variáveis não sejam identificadas pela biblioteca.

V - CONCLUSÕES

Esse trabalho teve como objetivo realizar um estudo comparativo entre as bibliotecas Pygrib, GRIB-API e Iris visando identificar limitações na manipulação e visualização de modelos meteorológicos. Este estudo utilizou os arquivos de saída gerados pelo BAM, nos formatos GRIB1 e GRIB2. Estas bibliotecas possuem a característica de permitirem a análise e visualização integrada dos dados meteorológicos.

A GRIB-API não foi analisada devido ao fato que ela é utilizada pela Pygrib. A Iris apresentou problema na identificação de todas as variáveis do arquivo GRIB1 e algumas variáveis do arquivo GRIB2.

A Pygrib não conseguiu ler o nome de seis variáveis do arquivo GRIB1, mas obteve sucesso com o arquivo GRIB2. Apesar de apresentar inicialmente problemas nas leituras das coordenadas geográfica, este problema foi sanado pela aplicação de uma correção nos valores das coordenadas. Isto viabilizou a correta visualização dos campos meteorológicos.

Concluimos que a Pygrib obteve melhores resultados com as saídas do modelo BAM. A desatualização da tabela 254 do CPTEC ocasionou os problemas relacionados com a leitura do arquivo em formato GRIB1.

VI - REFERÊNCIAS

- [1] DE ALMEIDA, Eugenio Sper; BAUER, Michael. Reducing time delays in computing numerical weather models at regional and local levels: a grid-based approach. **International Journal of Grid Computing & Applications**, v. 3, n. 4, p. 1, 2012.
- [2] Pielke, Roger A. (2002). *Mesoscale Meteorological Modeling*. Academic Press. p. 65. ISBN 0-12- 554766-8
- [3] FIGUEROA, Silvio N. et al. The Brazilian global atmospheric model (BAM): performance for tropical rainfall forecasting and sensitivity to convective scheme and horizontal resolution. *Weather and Forecasting*, v. 31, n. 5, p. 1547-1572, 2016.
- [4] DEY, C. et al. Guide to the wmo table driven code form used for the representation and exchange of regularly spaced data in binary form: Fm 92 grib. Tech. rep., WMO Tech. Rep., 98 pp.[Available online at http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/Guides/GRIB/GRIB2_062006.pdf], 2007.
- [5] WMO. **Introduction to GRIB Edition1 and GRIB Edition 2**. Disponível em https://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/Guides/GRIB/Introduction_GRIB1-GRIB2.pdf], 2003.
- [6] MET OFFICE (2010–2014). *Iris: A Python library for analysing and visualising meteorological and oceanographic data sets*. v1.13.
- [7] GREGORY, Jonathan. The CF metadata standard. **CLIVAR Exchanges**, v. 8, n. 4, p. 4, 2003.
- [8] FONSECA, José Ricardo Alves. Altimetro barométrico assistido por modelos numéricos de previsão meteorológica. 2016.
- [9] WHITAKER, J. Module Pygrib, <https://github.com/jswhit/pygrib>, 2016.
- [10] LIN, Johnny Wei-Bing. **A Hands-on Introduction to Using Python in the Atmospheric and Oceanic Sciences**. Lulu. com, 2012.
- [11] LIN, Johnny Wei-Bing. Why Python is the next wave in earth sciences computing. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1823-1824, 2012.
- [12] Getting started with conda. Anaconda. 2017 - Disponível em: <https://conda.io/docs/user-guide/getting-started.html#managing-environments>. Acesso em 02 ago. 2018
- [13] HUNTER, John D. Matplotlib: A 2D graphics environment. **Computing in science & engineering**, v. 9, n. 3, p. 90-95, 2007.
- [14] MET OFFICE. Cartopy: a cartographic python library with a matplotlib interface. 2010.
- [15] WMO A Guide to the Code Form FM 92-IX Ext. GRIB Edition 1 (1994),

<http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/Guides/GRIB/GRIB1-Contents.html> (accessado em Abril 28, 2018)