



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

PREVISÃO DE VENTO E PRECIPITAÇÃO EM ALTÍSSIMA RESOLUÇÃO EM  
REGIÃO DE TOPOGRAFIA COMPLEXA

Luisa Ribeiro Couto

Relatório de Iniciação Científica do  
programa PIBIC, orientada pelo Dr.  
Jorge Luís Gomes

PIBIC-PIBITI/CNPq/INPE RELATÓRIO TÉCNICO DE ATIVIDADES  
[*Referente ao período: Agosto 2019 a Março 2021* ]

INPE

Cachoeira Paulista

2021

## RESUMO

Relatório sobre atividades realizadas no CPTEC/INPE de Cachoeira Paulista - São Paulo, durante o período de Agosto de 2019 a Julho de 2020, envolvendo o estudo do modelo Eta para previsão meteorológica. Neste relatório apresenta-se o que foi estudado durante esse período no ambiente do Centro de Previsões de Tempo Estudos Climáticos (CPTEC) e as conclusões alcançadas a partir desse estudo. Está incluído nesse documento a fundamentação teórica utilizada nas linguagens Fortran, R e Python. Uma amostra do tipo de código que foi estudado durante o período de vigência da bolsa e quais os futuros objetivos com este estudo.

## LISTA DE FIGURAS

<i>FIGURA 1.</i> Código fonte em FORTRAN da Subrotina Geographic.....	<b>6</b>
<i>FIGURA 1: CONTINUACAO</i> Código fonte em FORTRAN da Subrotina Geographic .....	<b>7</b>
<i>FIGURA 2.</i> Subrotina Geographic em linguagem Python.....	<b>8</b>
<i>FIGURA 2: CONTINUACAO.</i> Subrotina Geographic em linguagem Python .....	<b>9</b>



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>1</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>1</b>
<b>3.1 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO R</b> .....	<b>1</b>
<b>3.2 RSTUDIO</b> .....	<b>2</b>
<b>3.3 PYTHON</b> .....	<b>2</b>
<b>3.4 ANACONDA</b> .....	<b>3</b>
<b>3.5 FORTRAN</b> .....	<b>3</b>
<b>3.6 TEMPO E CLIMA</b> .....	<b>4</b>
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>4</b>
<b>4.1 PRATICANDO A LINGUAGEM R E O SOFTWARE RSTUDIO</b> .....	<b>4</b>
<b>4.2 PRATICANDO A LINGUAGEM PYTHON E A PLATAFORMA ANACONDA</b> .....	<b>4</b>
<b>4.3 PRATICANDO A LINGUAGEM FORTRAN</b> .....	<b>5</b>
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>5</b>
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>10</b>



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## 1. INTRODUÇÃO

A partir do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) houve o acesso ao aprendizado. O ambiente que proporcionou desenvolvimento deste estudo foi o Centro de Previsões de Tempo Estudos Climáticos (CPTEC). Com a união de ambas as instituições foi possível ter acesso ao conhecimento apresentado neste relatório. Durante os meses de Agosto de 2019 e Julho de 2020 foi possível aprender novos conhecimentos sobre meteorologia e o Modelo Eta além de aprender mais sobre as linguagens de programação utilizadas no campo da previsão de tempo e outras maneiras de se analisar os dados produzidos.

## 2. OBJETIVO

Nesse projeto há o objetivo de aprender sobre o funcionamento do software RStudio baseado na linguagem R, sobre o funcionamento da linguagem Python a partir do software Anaconda e sobre a linguagem Fortran previamente utilizada na previsão meteorológica. Além disso também se espera conseguir compreender melhor os conceitos de Tempo e Clima além de Previsão Numérica de Tempo. E a partir dos conhecimentos adquiridos em software e meteorologia conseguir aplicar o Modelo Eta.

## 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para desenvolver os estudos da bolsa no período de Agosto de 2019 a Julho de 2020 foi necessária a utilização de ferramentas de software e conhecimento de linguagens de programação e conceitos meteorológicos. Nos itens a seguir será abordado o que foi utilizado para se obter este relatório parcial com a orientação realizada no CPTEC/INPE.

### 3.1 Linguagem de Programação R

A linguagem de programação R tem como objetivo a análise, manipulação e visualização de dados. O nome R vem das iniciais de seus criadores, Ross Ihaka e Robert Gentleman do departamento de Estatística da Universidade de Auckland na Nova Zelândia. O R tem semelhanças com a linguagem S, sua diferença e na implementação tanto que há a possibilidade de executar códigos do S no R e vice-versa sem a necessidade de haver alterações.

R: proposto como software livre, por Ross Ihaka (1954) e Robert Gentleman (1959) na Universidade de Auckland (<https://www.auckland.ac.nz>, Nova Zelândia) em Agosto de 1993 (o R esta surge da letra inicial do nome dos seus autores e é também a letra anterior a S...). (GOUVEIA, 2017)

Para usar o R é necessário conhecer e digitar comandos. Alguns usuários acostumados com outros programas notarão de início a falta de "menus" (opções para clicar). Na medida em que utilizam o programa, os usuários (ou boa parte deles) tendem a preferir o mecanismo de comandos, pois é mais flexível e com mais recursos. (LANDEIRO, 2011)

### 3.2 RStudio

O RStudio é um software livre de ambiente de desenvolvimento integrado para linguagem R, sua utilização serve para facilitar a utilização da linguagem e permitir uma melhor compreensão de seu funcionamento apresentando os gráficos.

A cada vez que você abre o R ele inicia uma "área de trabalho" (workspace). Neste workspace você fará suas análises, gráficos, etc. Ao final, tudo que foi feito durante uma sessão de uso do R pode ser mantido salvando o workspace (área de trabalho). (LANDEIRO, 2011)

Exige conhecimento de estatística e matemática, programação, criatividade, orientação para o mundo real e uma perspectiva orientada aos problemas. Obriga a lidar com dados e a descobrir informação neles, sendo muito visual. Saber R é uma boa marca para os desafios resultantes dos dados que existem em quantidade, diversidade e múltipla qualidade (competência do Séc. XXI) (GOUVEIA, 2017)

### 3.3 Python

Python é uma linguagem de programação de alto nível, interpretada, de script, orientada a objetos. Foi criada por Guido Rossum, Instituto Nacional para Matemática e Ciência da Computação (CWI) em 1991 com o foco em tornar prioridade a legibilidade do código sobre a velocidade. Tem uma sintaxe concisa e clara e uma biblioteca com diversos recursos. Aceita o paradigma orientado a objetos, imperativo, funcional e procedural. É de tipagem dinâmica e exige poucas linhas de código em comparação a outras linguagens.

Python é uma linguagem Orientada a Objetos, um paradigma que facilita entre outras coisas o controle sobre a estabilidade dos projetos quando estes começam a tomar grandes proporções. Mas como a Orientação a Objetos ainda é vista como um paradigma para "experts", Python permite que o usuário programe na forma procedural, se desejar. (LABAKI)



Python é uma linguagem que nos últimos anos tornou-se muito popular, principalmente por ser uma linguagem de fácil aprendizagem e de potencial aplicação em muitas áreas. Sua criação se deu no início da década de 90 por Guido Van Rossum, como uma sucessora da linguagem ABC. Guido permanece o principal autor do Python, apesar de incluir muitas contribuições de outros autores. (EICHHOLZ, 2018)

### 3.4 Anaconda

Anaconda é um software de interface gráfica voltado para programação. Dentro dele há diversos ambientes voltados para diferentes linguagens, como o Jupyter, VSCode, PyCharm e Spyder. É possível utilizar a linguagem R e Python e criar ambientes com bibliotecas personalizadas.

O Anaconda Navigator é uma interface gráfica que permite abrir aplicações associadas ao Anaconda, gerir pacotes, ambientes e canais sem ter de usar o terminal/janela de comando. O Anaconda Navigator é instalado automaticamente quando se instala o Anaconda. (CUSTÓDIO, 2017)

Uma forma alternativa de instalar o Python é através de distribuições para finalidades específicas, como por exemplos, computação científica. Neste caso, uma distribuição muito popular é a Anaconda, que inclui os principais pacotes de análise científica. (EICHHOLZ, 2018)

### 3.5 Fortran

O Fortran, do inglês *Formula Translation System*, surgiu em 1950 e é utilizado até hoje em dia em suas versões mais recentes. É principalmente usado na Ciência da Computação e análise numérica. No início seu foco era ser uma linguagem de programação procedural, mas nas versões mais recentes pode-se utilizar orientação a objetos.

O Fortran trouxe consigo vários outros avanços, além de sua facilidade de aprendizagem combinada com um enfoque em execução eficiente de código. Era, por exemplo, uma linguagem que permanecia próxima (e explorava) o hardware disponível, ao invés de ser um conjunto de conceitos abstratos. (GAELZER, 2012)





Seu objetivo era produzir uma linguagem que fosse simples de ser entendida e usada, mas que gerasse um código numérico quase tão eficiente quanto a linguagem Assembler. Desde o início, o Fortran era tão simples de ser usado que era possível programar fórmulas matemáticas quase como se estas fossem escritas de forma simbólica. (GAELZER, 2012)

### 3.6 Tempo e Clima

O termo *tempo* é utilizado para se referir ao estado momentâneo da atmosfera (uma manhã ensolarada, uma tarde nublada ou chuvosa etc), enquanto o termo *clima* se refere ao estado médio da atmosfera que é obtido por meio da média dos eventos de tempo durante um longo período. (REBOITA, 2012)

A Organização Meteorológica Mundial (WMO 1983) define como clima médias com período de 30 anos, bem como estabelece tais períodos (1931-1960, 1961-1990, 1991-2020, etc.). Estes são denominados de *normais climatológicas* e possibilitam a comparação entre os dados coletados em diversas partes do planeta. (REBOITA, 2012)

## 4. METODOLOGIA

A partir desse tópico do relatório será abordado o uso das ferramentas citadas durante o período de vigência da bolsa.

### 4.1 Praticando a linguagem R e o software RStudio

A linguagem R junto com a plataforma RStudio foram introduzidas a partir de apostilas, aulas em vídeo, exercícios propostos e feitos durante o período da bolsa. Conforme a passagem de tempo e o avanço nas lições, foram propostos exercícios com desafios maiores. Devido a plataforma do RStudio ser bem dividida visualmente e o material disponibilizado ser de fácil compreensão, o entendimento dos exercícios foi possível sem maiores dificuldades.

### 4.2 Praticando a linguagem Python e a plataforma Anaconda

Para compreender a linguagem Python e como utilizá-la pelo software Anaconda foram disponibilizadas apostilas e fez-se o aprendizado a partir de vídeos e execução de exercícios sugeridos. A plataforma Anaconda facilita o uso de bibliotecas específicas como o Numpy e o pacote Matplotlib dentro do mesmo ambiente, tornando a experiência de aprendizado agradável.

## 4.2 Praticando a linguagem Fortran

A linguagem Fortran já é muito utilizada pelo Centro de Previsões de Tempo Estudos Climáticos (CPTEC), com isso foi possível aprender facilmente sua sintaxe e lógica no ambiente. Para o auxílio durante a aprendizagem foram disponibilizadas apostilas e listas de exercícios para execução e resolução das dúvidas existentes. Todos esses exercícios foram realizados no terminal do Linux Ubuntu das máquinas disponibilizadas.

## 5. RESULTADOS

Com os estudos sobre a linguagem Fortran e a linguagem Python, foi possível realizar uma tradução de uma subrotina utilizada no Modelo Eta. Nessa subrotina Geographic (Figura 1), ocorre a recepção das variáveis e operações para que com esses parâmetros seja possível transformar essas informações em um mapa. Uma outra informação IM e JM são variáveis que definem o número de pontos na horizontal (IM define o número de pontos na direção Leste-Oeste e JM define o número de pontos na direção norte-sul, onde, o primeiro ponto (1,1) é o ponto a sudoeste.

Na Figura 2 está uma tradução da Subrotina Geographic previamente utilizada em linguagem Fortran, porém dessa vez transformada em linguagem Python. A primeira diferença perceptível é como as variáveis são declaradas de forma diferente nas duas linguagens. Além disso, na parte do código em que estão as operações utilizando os parâmetros recebidos é perceptível o quanto as operações matemáticas as duas linguagens são similares em sua sintaxe.



```
1  SUBROUTINE Geographic(GLAT, GLON,IM,JM,DLMD,DPHD,TLMØD,TPHØD)
2  ! subrotina nome: geographic, variaveis: glat, lon, im, jm, dlmd, dphd, tlmød, tphød
3      USE CONSTANTS
4      USE DIAGNOSTIC
5  !
6      IMPLICIT NONE
7  ! IN sao variaveis de entrada
8  ! OUT sao resultados, variaveis de saida
9      INTEGER(KIND=R4KIND)                , INTENT(IN)                :: IM
10     INTEGER(KIND=R4KIND)                , INTENT(IN)                :: JM
11     REAL   (KIND=R4KIND)                , INTENT(IN)                :: DLMD
12     REAL   (KIND=R4KIND)                , INTENT(IN)                :: DPHD
13     REAL   (KIND=R4KIND)                , INTENT(IN)                :: TLMØD
14     REAL   (KIND=R4KIND)                , INTENT(IN)                :: TPHØD
15     REAL   (KIND=R4KIND), DIMENSION(IM, JM) , INTENT(INOUT)           :: GLAT
16     REAL   (KIND=R4KIND), DIMENSION(IM, JM) , INTENT(INOUT)           :: GLON
17     INTEGER(KIND=R4KIND)                :: ICTPHØ
18     REAL   (KIND=R4KIND)                :: SINPHI
19     REAL   (KIND=R4KIND)                :: CTPHØ
20     REAL   (KIND=R4KIND)                :: DPH
21     REAL   (KIND=R4KIND)                :: TPH
22     REAL   (KIND=R4KIND)                :: SB
23     REAL   (KIND=R4KIND)                :: SBD
24     REAL   (KIND=R4KIND)                :: TLM
25     REAL   (KIND=R4KIND)                :: WB
26     REAL   (KIND=R4KIND)                :: WBD
27     REAL   (KIND=R4KIND)                :: TDLM
28     REAL   (KIND=R4KIND)                :: TDPH
29     REAL   (KIND=R4KIND)                :: DLM
30     REAL   (KIND=R4KIND)                :: STPH
31     REAL   (KIND=R4KIND)                :: CTPH
32     REAL   (KIND=R4KIND)                :: SINPH
33     REAL   (KIND=R4KIND)                :: STPHØ
34     REAL   (KIND=R4KIND)                :: COSLAM
35     REAL   (KIND=R4KIND)                :: TPHØ
36     REAL   (KIND=R4KIND)                :: FACT
37     REAL   (KIND=R4KIND)                :: ELAT
38     REAL   (KIND=R4KIND)                :: ELON
39     REAL   (KIND=R4KIND)                :: DIF
40     INTEGER(KIND=R4KIND)                :: I
41     INTEGER(KIND=R4KIND)                :: J
42  !
43  !
```

**Figura 1.** Código fonte em FORTRAN da Subrotina Geographic.



```
43  ✓ !
44      WBD=-(IM-1)*DLMD
45      SBD=-((JM-1)*0.5)*DPHD
46      tph0=tph0*dtr
47      wb=wb*dtr
48      sb=sbd*dtr
49      dlm=dldm*dtr
50      dph=dphd*dtr
51      tdlm=dlm+dlm
52      tdph=dph+dph
53
54      tph=sb-dph
55
56      stph0=sin(tph0)
57      ctp0=cos(tph0)
58      IF (DIAG) write(6,*) WBD,SBD, WB, SB, DLM, DPH, dph , tph
59  ✓ DO J=1,JM
60      tlm=wb-tdlm+mod(J+1,2)*dlm
61      tph=tph+dph
62      stph=sin(tph)
63      ctp=cos(tph)
64  ✓ DO I=1,IM
65      tlm=tlm+tdlm
66      sinphi=ctp0*stph+stph0*ctp*cos(tlm)
67      glat(I,J)=asin(sinphi)
68      coslam=ctp*cos(tlm)/(cos(glat(I,J))*ctp0)-tan(glat(I,J))*tan(tph0)
69      coslam=min(coslam,1.)
70      fact=1.
71      if (tlm .gt. D00) fact=-1.
72      glon(I,J)=-tlm0*dtr+fact*acos(coslam)
73      IF (DIAG) write(6,*)I,J, H90+GLAT(I,J)/DTR,H360-GLON(I,J)/DTR
74      enddo
75      enddo
76
77      END SUBROUTINE Geographic
78
```

**Figura 1: Continuação.** Código fonte em FORTRAN da Subrotina Geographic.



```
1  import math
2
3  IM = float(input("Valor IM"))
4  JM = float(input("Valor JM"))
5  DLMD = float(input("Valor DLMD"))
6  DPHD = float(input("Valor DPHD"))
7  TLPØD = float(input("Valor TLPØD"))
8  TPHØD = float(input("Valor TPHØD"))
9  GLAT = float(input("Valor GLAT"))
10 GLON = float(input("Valor GLON"))
11 ICTPHØ = float(input("Valor ICTPHØ"))
12 SBD = float(input("Valor SBD"))
13 TLM = float(input("Valor TLM"))
14 WBD = float(input("Valor WBD"))
15 STPH = float(input("Valor STPH"))
16 CTPH = float(input("Valor CTPH"))
17 SINPH = float(input("Valor SINPH"))
18 TPHØ = float(input("Valor TPHØ"))
19 FACT = float(input("Valor FACT"))
20 ELAT = float(input("Valor ELAT"))
21 ELON = float(input("Valor ELON"))
22 DIF = float(input("Valor DIF"))
23 I = float(input("Valor I"))
24 J = float(input("Valor J"))
25
26 WBD=- (IM-1)*DLMD
27 SBD=- ((JM-1)*0.5)*DPHD
28 tphØ=tphØd*dtr
29 wb=wb*dtr
30 sb=sbd*dtr
31 dlm=dlmd*dtr
32 dph=dphd*dtr
33 tdlm=dlm+dlm
34 tdph=dph+dph
35
36 tph=sb-dph
```

**Figura 2.** *Subrotina Geographic em linguagem Python.*



```
38 stph0=sin(tph0)
39 ctph0=cos(tph0)
40 IF (DIAG) write(6,*) WBD,SBD, WB, SB, DLM, DPH, dph , tph
41 FOR J=1,JM
42 tlm=wb-tdlm+mod(J+1,2)*dlm
43 tph=tph+dph
44 stph=sin(tph)
45 ctph=cos(tph)
46 FOR I=1,IM
47 tlm=tlm+tdlm
48 sinphi=ctph0*stph+stph0*ctph*cos(tlm)
49 glat(I,J)=asin(sinphi)
50 coslam=ctph*cos(tlm)/(cos(glat(I,J))*ctph0)-tan(glat(I,J))*tan(tph0)
51 coslam=min(coslam,1.)
52 fact=1.
53 if (tlm .gt. D00) fact=-1.
54 glon(I,J)=-tlm0d*dtr+fact*acos(coslam)
55 IF (DIAG) write(6,*)I,J, H90+GLAT(I,J)/DTR,H360-GLON(I,J)/DTR
56
57
58
```

**Figura 2: Continuação.** *Subrotina Geographic em linguagem Python.*

## 6. CONCLUSÃO

Com o estudo das linguagens R, Python e Fortran além da facilidade das plataformas RStudio e Anaconda, foi possível absorver conhecimento dessas ferramentas de programação além de obter algum aprendizado sobre meteorologia a partir do estudo do Modelo Eta de 10km e 20km. Com base nesses estudos será possível continuar com o trabalho proposto. Podendo haver maior desenvolvimento na plataforma Anaconda quanto a tradução dos scripts em Fortran para Python, permitindo assim uma nova ferramenta na área meteorológica de fácil compreensão devido a sintaxe simplificada.



## 7. REFERÊNCIAS

1. GOUVEIA, B. L. A LINGUAGEM R: UM AMBIENTE PARA EXPLORAR DADOS E APRENDER COM ELES. 2017. DISPONÍVEL EM: <[https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/5937/1/ufp\\_hello3maio2017.pdf](https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/5937/1/ufp_hello3maio2017.pdf)>. ACESSO EM: 20MAIO.2020.
2. LANDEIRO L. V. INTRODUÇÃO AO USO DO PROGRAMA R. 2011. DISPONÍVEL EM :<[HTTPS://CRAN.R-PROJECT.ORG/DOC/CONTRIB/LANDEIRO-INTRODUCAO.PDF](https://CRAN.R-PROJECT.ORG/DOC/CONTRIB/LANDEIRO-INTRODUCAO.PDF)>. ACESSO EM: 20 MAIO.2020.
3. LABAKI, Josué. INTRODUÇÃO A PYTHON - MÓDULO A. DISPONIVEL EM: <<https://www.dcc.ufrj.br/~fabiom/python/pythonbasico.pdf>> ACESSO EM: 20 MAIO.2020.
4. CUSTÓDIO, S. PYTHON, ANACONDA E SPYDER. DISPONIVEL EM: <[Python, Anaconda e Spyderfenix.ciencias.ulisboa.pt](#) > [downloadFile](#) > [1\\_Python](#)> ACESSO EM 20 MAIO. 2020.
5. EICHHOLZ, C. W. INTRODUCAO A LINGUAGEM DE PROGRAMACAO PYTHON. DISPONIVEL EM: <<http://urlib.net/>> ACESSO EM: 20 MAIO.2020.
6. GAELZER, R. INTRODUCAO AO FORTRAN 90/95. 2012. DISPONIVEL EM: <[https://wp.ufpel.edu.br/diehl/files/2016/10/Apostila\\_links.pdf](https://wp.ufpel.edu.br/diehl/files/2016/10/Apostila_links.pdf) >ACESSO EM: 20 JULHO.2020.
7. REBOITA, M. KRUSCHE, N. AMBRIZZI, T. ROCHA, R. ENTENDENDO O TEMPO E O CLIMA NA AMERICA DO SUL. DISPONIVEL EM: <<http://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/4742/Entendendo%20o%20tempo%20e%20o%20c%20lima%20na%20América%20do%20Sul.pdf?sequence=1>> ACESSO EM: 20 DE JULHO DE 2020

**Cachoeira Paulista, 31 de Julho de 2020**

**Bolsista: Luisa Ribeiro Couto**

**Orientador(a): Jorge Luis Gomes**