



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-10085-PRE/5630**

**AMBIENTE DE RADIAÇÃO NA MAGNETOSFERA:  
VISUALIZAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS DE  
SATÉLITES EXPERIMENTOS**

Eduardo Fonseca Rodrigues\*  
Udaya Bhaskaram Jayanthi

\* ITA, bolsista PIBIC/CNPq

Seminário de Iniciação Científica do INPE (SICINPE)

INPE  
São José dos Campos  
2003

# 1 – INTRODUÇÃO

## 1.1 - Objetivo

Este trabalho, iniciado em abril de 2002, tem como objetivo criar um site que facilita análise de dados de experimentos efetuados a bordo de satélites, mostrando várias características da radiação capturada na magnetosfera da Terra, como a distribuição espacial e espectros energéticos de elétrons, prótons e ions em função de atividades solares e magnetosféricas.

Na primeira etapa foi criada uma homepage em que o modelo padrão de distribuição de fluxos globais de prótons foi usado para calcular a distribuição angular de fluxos de prótons em função de energia e posição na magnetosfera.

Os resultados do trabalho podem ser usados para análise de dados obtidos através de experimentos e também para avaliação do ambiente de radiação na proximidades da Terra.

## 1.2 – Cinturão de radiação de Van Allen

O cinturão de radiação Van Allen é uma região do espaço ao redor da Terra constituída de partículas carregadas eletricamente, presas pelo campo magnético terrestre. Quando a magnetosfera é perturbada, partículas colidem com a atmosfera, e a tornam fluorescente, produzindo a aurora polar.

Qualitativamente, é útil ver esse cinturão como sendo constituído de dois cinturões ao redor da terra, o cinturão interior e o cinturão exterior. As partículas são distribuídas de tal forma que o cinturão interior consiste principalmente de prótons, enquanto o exterior consiste principalmente de elétrons. Dentro desses cinturões estão partículas capazes de penetrar uma blindagem de aproximadamente  $1 \text{ g/cm}^2$  (1 milímetro de chumbo).

O termo cinturões de Van Allen se refere especificamente aos cinturões de radiação envolvendo a Terra. No entanto, outros cinturões de radiação foram descobertos ao redor de outros planetas. A atmosfera limita as partículas capturadas a regiões acima de 200-1000 km, enquanto os cinturões não se estendem mais que 7 raios da Terra. Os cinturões estão confinados em uma área que se estende de aproximadamente  $65^\circ$  do equador terrestre.

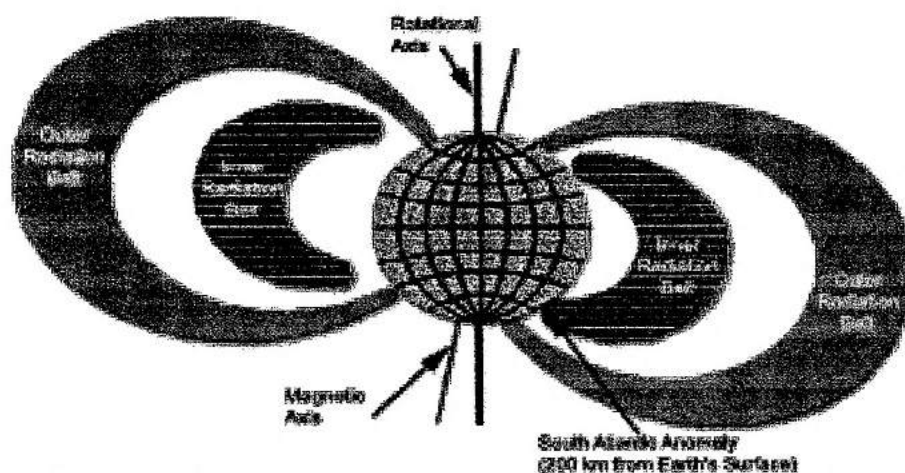


Figura 1 – Cinturões de Van Allen e a anomalia do Atlântico Sul



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

## **Ambiente de Radiação na Magnetosfera: Organização, Visualização e Análise de Dados de Satélite Experimentos**

**ANÁLISE DO MODELO DE DISTRIBUIÇÃO ANGULAR DE FLUXO DE PRÓTONS PRESOS  
NA MAGNETOSFERA INCLUINDO CRIAÇÃO DE HOMEPAGE PARA VISUALIZAÇÃO  
DOS RESULTADOS**

### **RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)**

**Eduardo Fonsêca Rodrigues (ITA, Bolsista PIBIC/CNPq)**  
E-mail: [fonseca@h8.ita.br](mailto:fonseca@h8.ita.br)

**Dr. Udaya Bhaskaram Jayanthi (DAS/INPE, Orientador)**  
E-mail: [jayanthi@das.inpe.br](mailto:jayanthi@das.inpe.br)

**Dr. Anatoly Goussev (DAS/INPE, Orientador)**  
E-mail: [anatoly@das.inpe.br](mailto:anatoly@das.inpe.br)

**Junho de 2003**

## **SUMÁRIO**

### ***CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO***

- 1.1 – Objetivo
- 1.2 – Cinturão de radiação de Van Allen
- 1.3 – O cinturão interior de Van Allen
- 1.4 – O cinturão exterior de Van Allen
- 1.5 – Difusão radial induzida por flutuações magnéticas
- 1.6 – Impacto do cinturão de Van Allen nas viagens espaciais
- 1.7 – Os cinturões de Van Allen e porque eles existem

### ***CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA***

- 2.1 – Movimento de uma partícula carregada eletricamente em movimento mergulhada num campo magnético uniforme
- 2.2 – Campo magnético não uniforme
- 2.3 – Campo magnético dipolar
- 2.4 – Descrição do movimento da partícula através da aproximação do centro guia
- 2.5 – Fluxo orientado integral e fluxo orientado diferencial

### ***CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS***

- 3.1 – Variáveis utilizadas para o cálculo do Fluxo de Energia
- 3.2 – Mapas de fluxos de partículas AE/AP
- 3.3 – Conversão de fluxo global para fluxo orientado
- 3.4 – FORTRAN 77
- 3.5 – Perl
- 3.6 – Apache Web Server
- 3.7 – Interação com arquivos

### ***CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E ANÁLISES***

- 4.1 – Arquivos utilizados e desenvolvidos
  - 4.1.1 – Formulário para recebimento de dados
  - 4.1.2 – Arquivo testpost.pl
  - 4.1.3 – Arquivo TesteUNIX.f
  - 4.1.4 – Arquivo trmfun.for
  - 4.1.5 – Arquivo testeChart.pl
  - 4.1.6 – Arquivo generatester.f
- 4.2 – Análise do gráfico obtido
  - 4.2.1 – Forma da gráfico
  - 4.2.2 – Análise do fluxo global
  - 4.2.3 – Influência da variação de L
  - 4.2.4 – Influência da variação de E
  - 4.2.5 – Influência da variação de B/Bo
  - 4.2.6 – Comparação com SALAMMBO e AP8 MAX

### ***CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES***

## ***CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIOGRÁFICAS***

**APÊNDICE A – Código fonte do formulário testpost.html**

**APÊNDICE B – Código fonte do script testpost.pl**

**APÊNDICE C – Código fonte do TesteUNIX.f**

**APÊNDICE D – Código fonte do trmfun.for**

**APÊNDICE E – Código fonte do script testeChart.pl**

**APÊNDICE F – Código fonte do generatester.f**

### 1.3 – O cinturão interior de Van Allen

O cinturão interior de radiação está localizado em altitudes de 650 – 6.300 km (mais que um raio da Terra). Ele está mais concentrado no plano equatorial da Terra e consiste principalmente de prótons de 10-50 MeV, resultantes de colisões entre raios cósmicos e átomos da atmosfera. Ele também possui elétrons, prótons de baixa energia e ions de oxigênio de 1-100 keV.

A intensidade desse cinturão flutua, devido parcialmente a influência do ciclo solar, e é mais forte entre  $2 \cdot 10^3$  e  $5 \cdot 10^3$  km. O cinturão de radiação interior está mais próximo da superfície da Terra em uma região do Atlântico Sul, devido a anomalia magnética do Atlântico Sul (gerada pelo deslocamento do dipolo geomagnético em relação ao centro da Terra).

O número de ions de raios cósmicos é relativamente pequeno e portanto a acumulação no cinturão interior é lenta. Mas os fluxos de prótons capturados são muito estáveis (com tempo de vida superior a 10 anos). Grandes intensidades são alcançadas quando eles são formados por muitos anos.

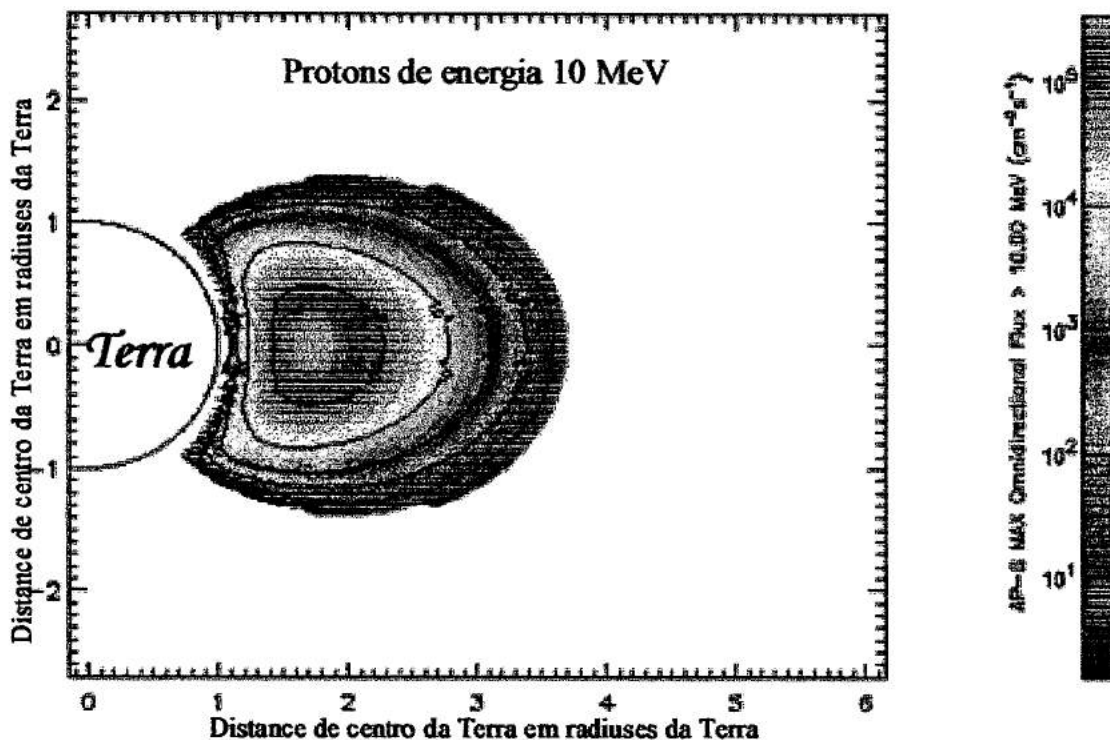


Figura 2 – Distribuição de prótons no plano meridional no cinturão de Van Allen

Na figura 2, mostramos a distribuição de fluxo global de prótons no cinturão de Van Allen para prótons de 10 MeV de energia a uma certa distância da Terra. Nessa figura, a distância é dada em raios da Terra.

Na figura 3, mostramos a distribuição de fluxo global de prótons de 10 MeV na altitude de 500 km, para ilustrar o fenômeno da anomalia do Atlântico Sul.

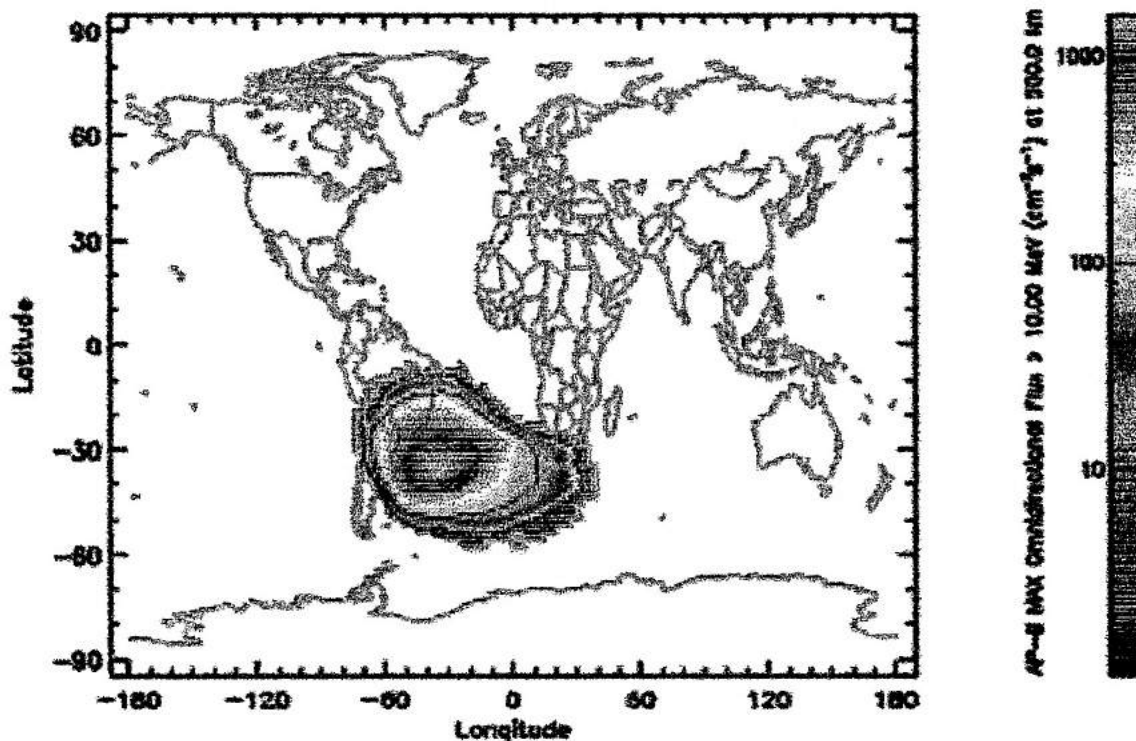


Figura 3 – Distribuição de fluxo global de prótons de energia 10 MeV na altitude de 500km

#### 1.4 – O cinturão exterior de Van Allen

O cinturão exterior de radiação está localizado a aproximadamente  $1 \cdot 10^4$  a  $6,5 \cdot 10^4$  km e tem intensidade máxima entre  $1,45 \cdot 10^4$  e  $1,9 \cdot 10^4$  km. Ele é constituído de plasma capturado pela magnetosfera terrestre. Há poucas partículas de elevada energia dentro deste cinturão. Os elétrons têm um grande fluxo e ao longo do limiar exterior da magnetosfera e para energias superiores a 40 KeV, os elétrons podem ser despencados para níveis interplanetários dentro de 100 km (uma queda de um fator de  $1 \cdot 10^3$ ). Esta queda é resultante do vento solar.

A população de partículas é variada, contendo elétrons e vários íons. A maioria dos íons estão na forma de prótons energéticos, mas uma certa porcentagem é composta por partículas alfa e íons  $^{16}\text{O}$  de oxigênio, similares a aqueles presentes na ionosfera, mas bem mais energéticos. Essa mistura de íons sugere que fluxos de partículas nesse cinturão são provenientes de mais de uma fonte.

O cinturão exterior é maior e mais difuso que o interior. Ele inclui uma região chamada de anel de corrente. Diferentemente do interior, a população de partículas flutua muito e é geralmente mais fraca, aumentando quando tempestades magnéticas injetam partículas no rabo da magnetosfera e diminuindo posteriormente.

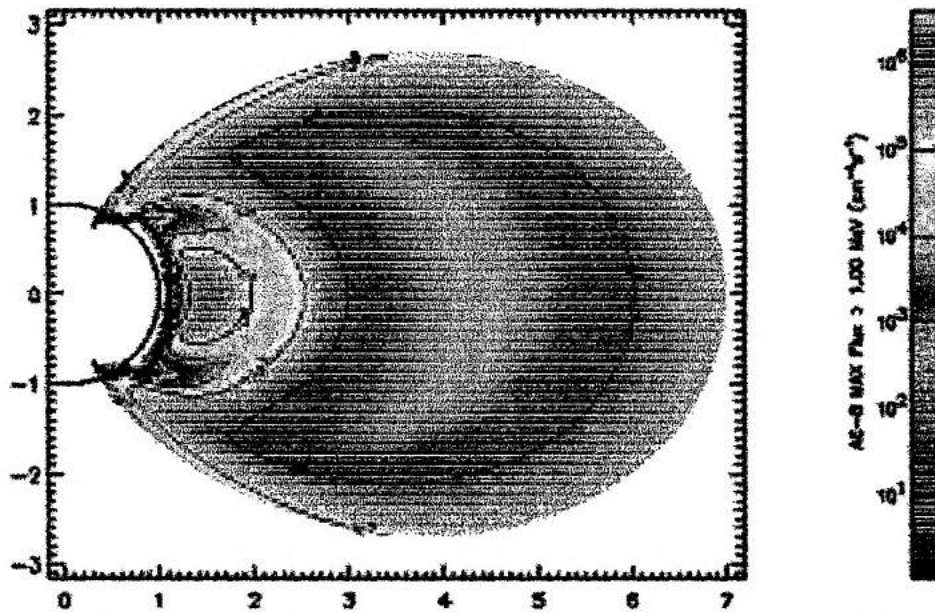


Figura 4 – Distribuição de elétrons de 1 MeV no plano meridional.

Na figura 5, mostramos a distribuição do fluxo global de elétrons de 1 MeV na altitude de 500 km. Podemos ver que o fluxo não é considerável apenas no Atlântico Sul, como já deve ser esperado, levando-se em consideração a figura 1.

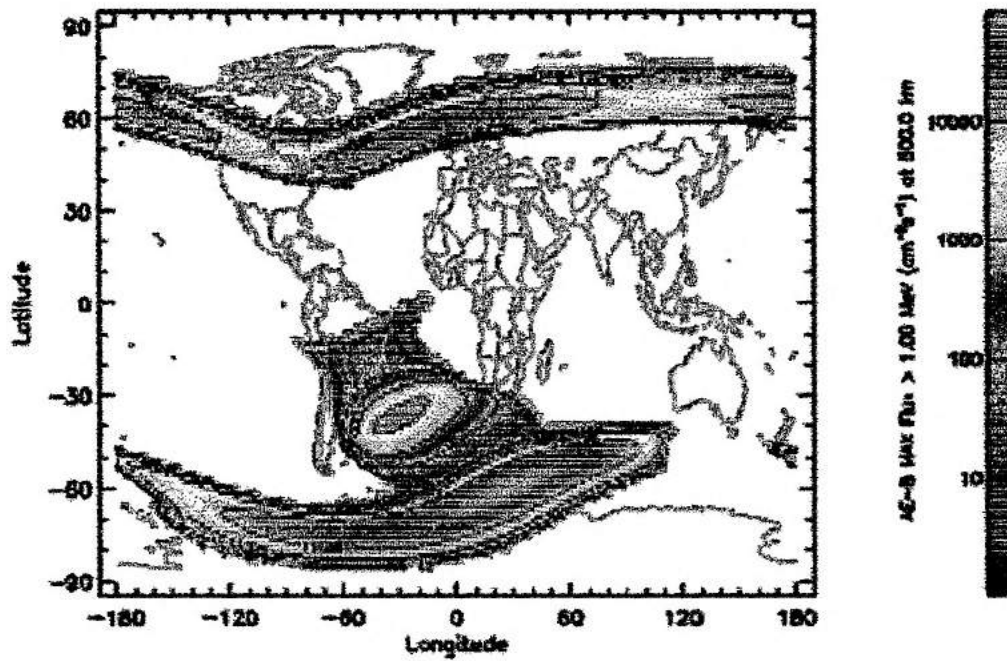


Figura 5 – Distribuição de fluxo global de elétrons de 1 MeV na altitude de 500 km



### **1.5 – Difusão radial induzida por flutuações magnéticas**

Um súbito aumento na pressão do vento solar pode fazer com que os cinturões de radiação tenham suas formas modificadas. Assim, partículas localizadas no lado sul do planeta serão carregadas para dentro (em direção ao planeta), enquanto partículas do outro lado do planeta serão carregadas para mais longe do planeta. Isso pode dar ao cinturões de radiação uma conformação de gota de água. Depois desse evento, os cinturões tendem a retornar a uma conformação mais esférica.

### **1.6 – Impacto do cinturão de Van Allen nas viagens espaciais**

Células solares, circuitos integrados e sensores podem ser danificados pela radiação. Em 1962, o cinturão de Van Allen foi temporariamente amplificado por uma explosão nuclear em elevada altitude e vários satélites pararam de funcionar. Tempestades magnéticas ocasionalmente danificam componentes nas espaçonaves. A miniaturização e digitalização da eletrônica e de circuitos lógicos tornaram os satélites mais vulneráveis a radiação. O telescópio espacial Hubble, entre outros satélites, frequentemente tem seus sensores desligados quando ele atravessa regiões de radiação intensa.

Um satélite blindado por 3 mm de alumínio receberá aproximadamente 2500 rem por ano.

### **1.7 – Os cinturões de Van Allen e porque eles existem**

É geralmente entendido que os cinturões de Van Allen são resutantes da interação do campo magnético terrestre com o vento solar. Dessa forma, a radiação do vento solar se torna capturada dentro da magnetosfera.

As partículas carregadas são repelidas de regiões que possuem campo magnético mais forte, ou seja, quando há convergência de linhas de força. Isso resulta na existência de pontos de reflexão do movimento da partícula. Sem esse tipo de reflexão, íons e elétrons não poderiam ser capturados na magnetosfera da Terra, mas poderiam em vez disso seguir suas linhas de campo em direção a atmosfera, onde seriam absorvidos e portanto, deixariam de ser capturados. O que acontece na verdade é que cada vez que uma partícula capturada se aproxima da Terra, ela é refletida no sentido contrário. Portanto, ela está confinada a uma seção da linha de campo mais distante da atmosfera.

## **2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 – Movimento de uma partícula carregada eletricamente em movimento mergulhada num campo magnético uniforme**

Quando uma partícula carregada eletricamente é submetida a ação de um campo magnético uniforme, ela sofre ação de uma força diretamente proporcional a carga elétrica da partícula e ao módulo do produto vetorial entre o vetor velocidade da partícula e o vetor campo magnético. Dessa forma, numa região desprovida de campo elétrico externo, temos:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

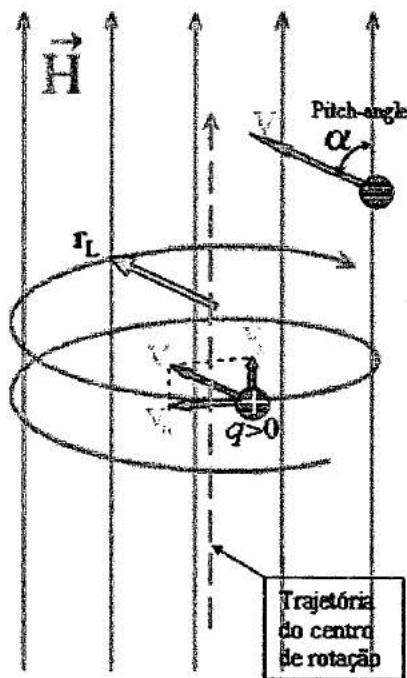


Figura 6 – Trajetória de um próton submetido a um campo magnético uniforme

portanto, é dado pelo arco tangente da razão entre a velocidade paralela e a velocidade perpendicular a linha de força.

Da primeira equação, podemos concluir que, a força  $F$ , também chamada de força de Lorentz, é perpendicular ao plano formado pelos vetores velocidade  $v$  da partícula e o vetor campo magnético  $B$  na posição da partícula. Assim, se a velocidade da partícula é perpendicular ao campo magnético, a força resultante sobre a partícula será perpendicular a direção do vetor velocidade, e portanto, a trajetória descrita pela partícula será uma circunferência.

Se a partícula tiver uma componente da velocidade paralela a direção do campo magnético, a componente de força magnética correspondente a essa velocidade será nula, e portanto, a partícula seguirá com movimento uniforme na direção da linha de força de campo magnético. Dessa forma, a trajetória da partícula será helicoidal, devido a superposição de movimentos na direção da linha de força e da rotação em torno dessa linha, como apresentado na figura 6.

Uma maneira de descrever a velocidade paralela e a velocidade perpendicular ao campo magnético é através do vetor velocidade e do “pitch angle”. O “pitch angle” indica a inclinação entre o vetor campo magnético e o vetor velocidade total da partícula, e

## 2.2 – Campo magnético não uniforme

Quando a partícula carregada com velocidade  $v$  é mergulhada num campo magnético não uniforme, a trajetória descrita pela partícula é diferente da trajetória decorrente de um campo uniforme. Isso ocorre porque quanto maior o campo magnético numa posição, maior a força de Lorentz, e portanto, menor é o raio da circunferência descrita pela partícula.

Dessa forma, numa região em que as linhas de força de campo magnético convergem, o campo magnético vai aumentando em intensidade, e portanto se uma partícula entra nessa região, ela descreverá uma trajetória espiral, em que a raio de circunferência vai diminuindo com deslocamento ao longo da linha do campo magnético. Obviamente, quando as linhas de força divergem, a intensidade de campo magnético diminui e portanto, a espiral se abrirá, ou seja, o raio de circunferência vai aumentando com deslocamento ao longo da linha do campo magnético.

Além disso, o estreitamento das linhas de campo magnético proporcionam uma desaceleração na partícula, devido a existência de uma componente de campo magnético perpendicular ao plano de rotação da partícula em torno da linha de campo. Essa desaceleração pode ser tal que a partícula vá diminuindo a componente da velocidade tangente a linha de campo magnético até que ela se anule e se movimente no sentido

contrário ao movimento inicial. Os pontos em que acontecem essa reflexão são denominados de espelhos magnéticos.

O campo magnético da Terra tem uma configuração semelhante a de uma “garrafa magnética”. Uma região com dois espelhos magnéticos nos limites da trajetória ao longo da linha do campo magnético, constituindo uma armadilha para partículas carregadas.

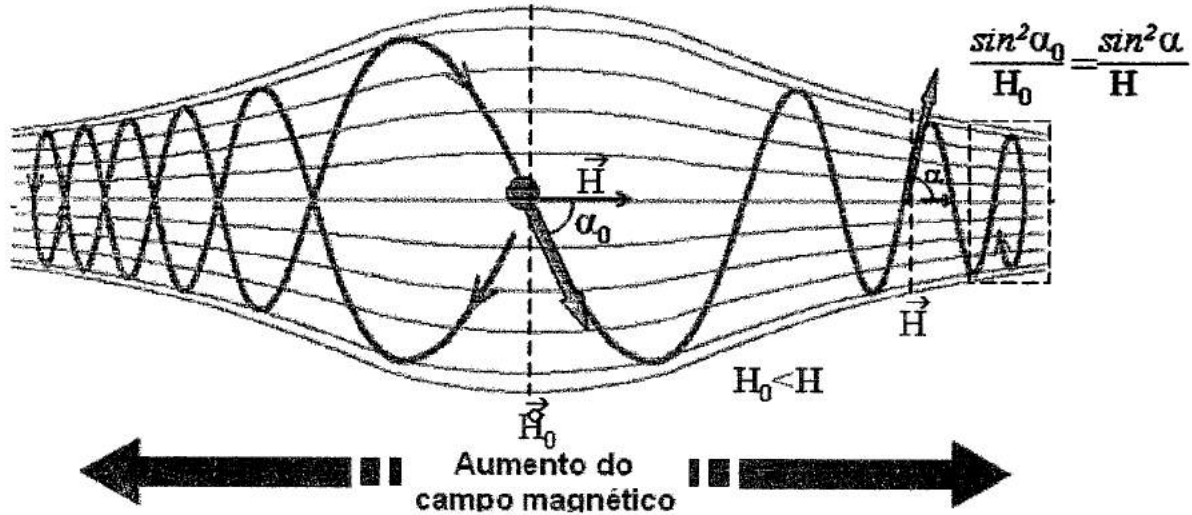


Figura 7 – Movimento da partícula situada em uma garrafa magnética

Devemos notar que nos espelhos magnéticos, o valor de pitch angle é  $90^\circ$ , pois já que a reflexão ocorre nesses pontos, a velocidade da partícula é perpendicular a direção da linha de campo, pois a velocidade ao longo da linha de campo é nula, e portanto, só teremos velocidade em torno da linha de campo, resultante da força de Lorentz, perpendicular a velocidade da partícula.

Deve ficar claro que se o pitch angle tem valor  $0^\circ$ , a velocidade da partícula será paralela a direção do vetor campo magnético e a partícula não sofrerá aceleração, pois não haverá forças atuando sobre a partícula, e portanto, não existirão pontos de reflexão nesse caso.

Assim, podemos notar que o menor valor de pitch angle para uma partícula confinada numa garrafa magnética ocorre no ponto médio entre os dois espelhos magnéticos, ao longo da linha de campo, para uma distribuição simétrica de linhas de força (em geral, o pitch-angle mínimo ocorre quando o campo magnético é mínimo), pois ao sair desse ponto, as linhas de força convergem, e conseqüentemente há desaceleração da partícula na direção da linha de força, diminuindo a velocidade ao longo dessa linha e fazendo com que o vetor velocidade esteja mais defasado do vetor campo magnético, ou seja, o pitch angle aumenta, atingindo no máximo  $90^\circ$ , onde a partícula começa ser acelerada no sentido contrário do movimento que a partícula estava executando ao longo da linha de campo, diminuindo o valor do pitch angle até chegar no ponto de menor intensidade de campo magnético entre os espelhos, ao longo da linha de campo.

Podemos concluir ainda que quanto menor o valor de pitch angle (diferente de zero) na posição de mínimo pitch angle, mais esse pitch angle vai variar até que assumo o valor de  $90^\circ$  e conseqüentemente, mais comprida vai ser a trajetória da partícula.

O aumento ou a diminuição da intensidade do campo magnético no plano de rotação também produz outro movimento, a “deriva”. Esse tipo de movimento pode ser descrito da figura 8, que ilustra que quando a intensidade de campo magnético aumenta, o raio da trajetória descrita pela partícula diminui. Dessa maneira, concluímos que a partícula realiza esse movimento em uma direção perpendicular ao gradiente do vetor campo magnético.

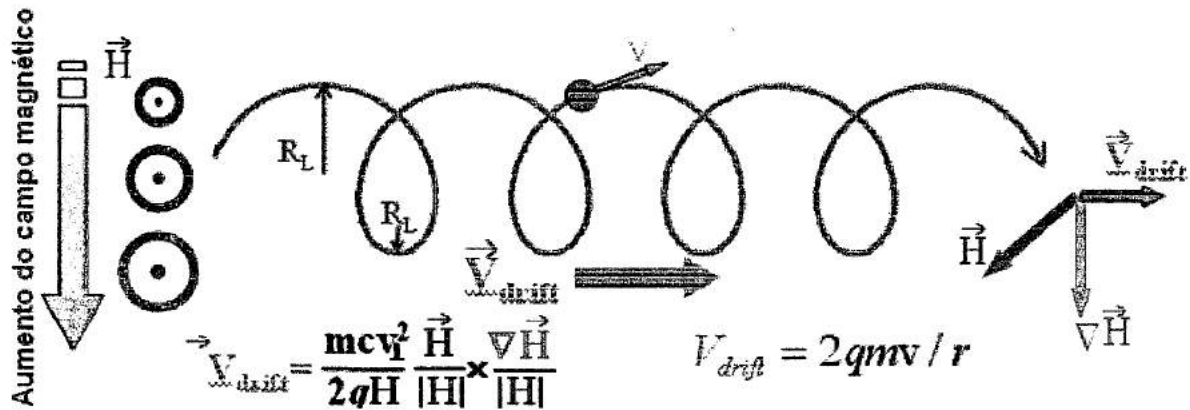


Figura 8 – “Drift” devido a variação do campo magnético com a distância

### 2.3 – Campo magnético dipolar

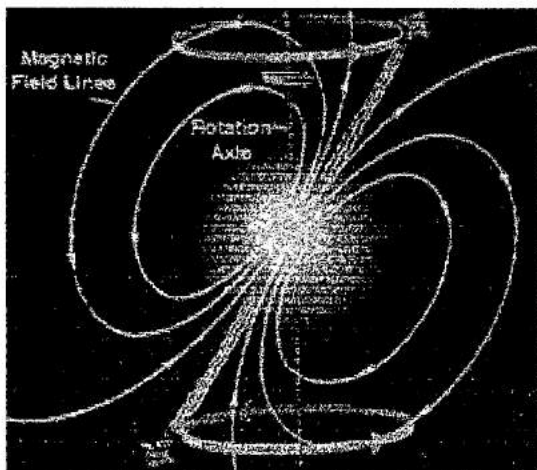


Figura 9 – Campo magnético dipolar e defasagem entre eixo magnético e eixo de rotação

A intensidades das componentes de campo magnético indicadas na figura acima, são dadas por:

$$H_r = -2k_0 \sin \lambda r^3$$

$$H_\lambda = -k_0 \cos \lambda r^3$$

$$r = r_0 \cos^2 \lambda$$

Considerando que o campo magnético terrestre pode ser visto em primeira aproximação como um campo magnético dipolar, percebemos que o campo magnético se torna mais fraco a medida que nos afastamos do dipolo e as linhas de campo magnético são curvas fechadas.

Podemos notar que o eixo de rotação da Terra e a orientação do dipolo magnético não são paralelos. Dessa forma, é importante saber que os polos magnéticos e os polos geográficos não são coincidentes.

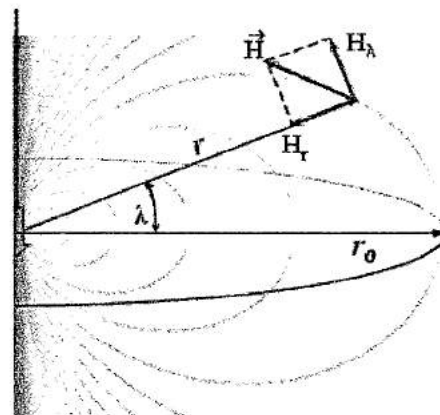


Figura 10 – Vetor campo magnético a uma

Em um campo magnético dipolar, teremos uma espécie de garrafa magnética encurvada contendo as partículas capturadas. Na figura 11, algumas linhas de força provenientes de um campo aproximadamente dipolar são mostradas, juntamente com os pontos de reflexão do movimento da partícula.

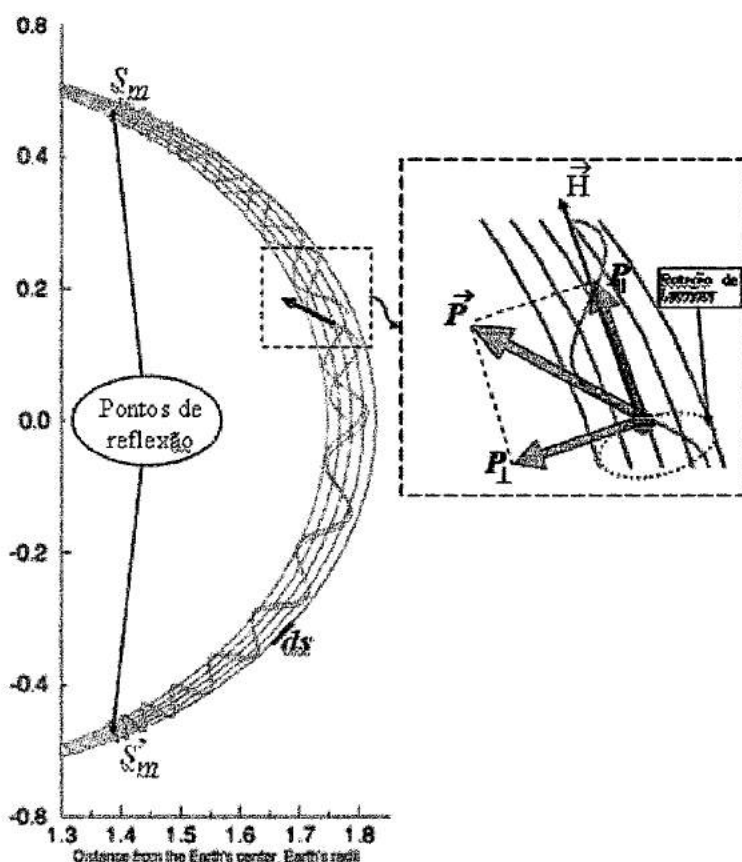


Figura 11 – Pontos de reflexão para uma partícula capturada no campo magnético dipolar

#### 2.4 – Descrição do movimento da partícula através da aproximação do centro guia

A energia das partículas capturadas no cinturão de radiação é bastante baixa, o que permite usar uma aproximação chamada de “adiabática”. O movimento da partícula utilizando essa aproximação pode ser descrito considerando o centro da rotação como guia. Esse movimento é resultado da superposição do movimento na direção da linha de força, da rotação em torno do centro guia e da deriva resultante da não-homogeneidade do campo magnético. Assim não precisamos mais acompanhar uma trajetória da partícula, mas somente a posição de seu centro guia.

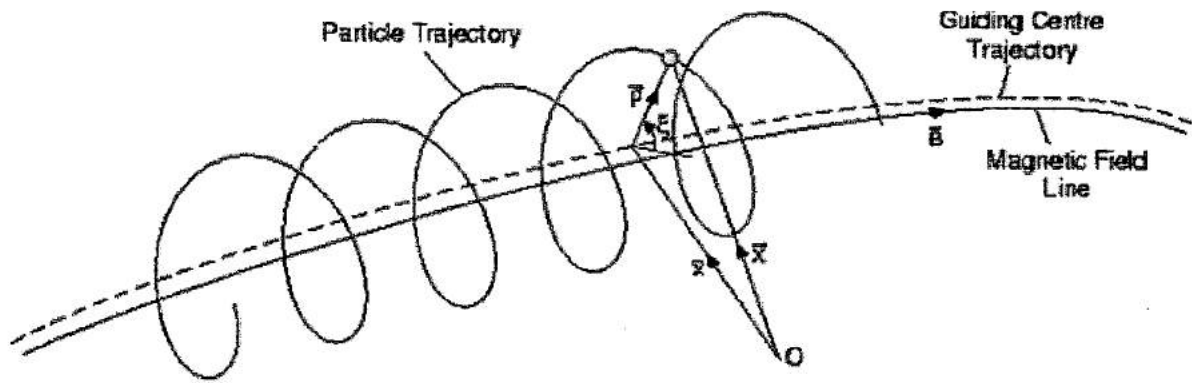


Figura 12 – Trajetória da partícula mergulhada num campo magnético não-uniforme.

### 2.5 – Fluxo integral e fluxo diferencial

O fluxo integral pode ser entendido como o somatório dos fluxos de partículas com energias superiores a um certo valor dado de energia, enquanto o fluxo diferencial, calculado numericamente como a derivada do fluxo integral para um certo valor de energia, pode ser entendido como o fluxo de partículas para esse certo valor de energia.

## 3 – MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 – Variáveis utilizadas para descrição do fluxo de partículas capturadas.

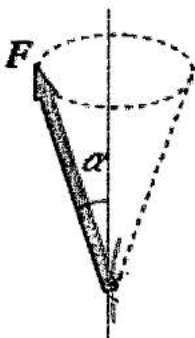


Figura 13 – Simetria em torno da linha tangente a linha de campo

Utilizamos um modelo baseado em medidas de fluxos globais de prótons para descrever a distribuição angular de fluxos de prótons em função da energia e posição na magnetosfera. A determinação de onde a partícula se encontra é feita indicando o valor de L-shell (distância do topo da linha de campo geomagnético passando por um ponto dado do centro do dipolo geomagnético) e da razão  $B/B_0$  (normalização do campo magnético em relação ao campo no equador na mesma linha de campo).

Podemos perceber que o número de variáveis utilizadas é menor que o máximo esperado, devido a existência de simetria para realizar a determinação espacial de onde se encontra a partícula. Na figura 13, podemos notar a existência de simetria em torno da linha tangente a linha de campo. Também temos simetria em relação ao eixo magnético da Terra e em relação ao equador magnético. É

importante ressaltar que a rigor essa simetria não ocorre, mas proporciona uma boa aproximação para esse modelo.

Na figura 13, a linha verde clara é uma linha de campo, a linha vermelha é tangente a linha de campo na posição em que a partícula se encontra e a seta representa o vetor velocidade. O ângulo indicado é o pitch angle.

### 3.2 – Modelos AE/AP de Fluxos de Partículas

Esses modelos contém fluxos globais e integrais para elétron (mapas AE) e prótons (mapas AP) no intervalo de energia de 0,04 MeV até 7 MeV para elétrons e de 0.1 MeV até 400 MeV para prótons nos cinturões de radiação da Terra ( $L = 1.2$  até 11 para elétrons e de  $L = 1.17$  até 7 para prótons).

Esses fluxos são armazenados como função da energia,  $L$  e  $B/B_0$ . Esses mapas são baseados em dados de mais que 20 satélites dos anos sessenta e setenta. AE-8 e AP-8 são as últimas edições em um série de atualizações começando com AE-1 e AP-1 em 1966. Os diferentes modelos de elétrons AE podem ser distinguidos como interno ( $L=1.2-3$ ) ou externo ( $L=3-11$ ) e como modelos para o ciclo solar, para condições de máxima ou mínima atividade. AE-8 é o primeiro modelo que cobre todos valores de  $L$  e ambos extremos solares. Os mapas AP diferem em energia e fase de ciclo solar. AP-8 é o primeiro modelo que cobre todos valores de energia e extremos do ciclo solar.

Nenhum dos mapas de fluxo consideram variações temporais a não ser a distinção entre máximo ou mínimo ciclo solar. Para zonas interiores, os seguintes efeitos devem ser considerados para o modelo AE-5: (1) Tempestades magnéticas afetam brutalmente os elétrons com energias maior de 0.7 MeV para valores de  $L$ -shell mais altos. (2) A explosão nuclear Starfish em 9 de julho de 1962, aumentou o número de elétrons em pequenos  $L$ -shells com energia intermediária (em torno de 1 MeV). (3) O efeito do ciclo solar é mais significativo para elétrons com energias abaixo de 0.7 MeV. Efeitos de tempestades magnéticas não estão incluídos ainda. Na zona exterior, devido as grande variações temporais, foram tomadas médias em grandes intervalos (seis anos ou mais).

Os maiores erros ocorrem onde existem gradientes notáveis em distribuição espacial e espectral e onde variações temporais não são bem entendidas. Uma grande estimativa de erro é um fator de 2. Um erro ainda maior deve ser considerado para fluxos diferenciais (em ângulo ou energia).

### 3.3 – Conversão de fluxo global para fluxo orientado

Para convertermos a tabela contendo fluxos globais para uma outra contendo fluxos orientados, devemos realizar a conversão de fluxo global para fluxo orientado. Isso foi feito através do cálculo do fluxo na direção perpendicular a tangente da linha de força.

Considerando que o modelo de fluxos globais utilizado contém uma tabela tridimensional de magnitudes de fluxos globais  $J(>E, L, B_p/B_0)$  em  $1/(cm^2 sec)$ , o fluxo na direção perpendicular a linha de força, pode ser obtido em função do fluxo integral de energia através da integral abaixo:

$$j_{\perp}(>E, L, B_p/B_0) = \frac{B_p^{3/2}}{2\pi^2} \int_{B_p}^{B_0} \frac{d}{dB} \left[ \frac{J(>E, L, B_p/B_0)}{B_p} \right] \frac{dB}{(B - B_p)^{1/2}}$$

Onde  $j$  expressa o fluxo para o conjunto de variáveis  $E$ ,  $L$  e  $B_p/B_0$  e é dado por  $1/(cm^2 sec MeV sr)$

Através de integração numérica, podemos obter os fluxos orientados para uma direção qualquer. Essa integração é realizada ao longo la linha de campo magnético do ponto  $B_p$  ao ponto  $B_0$ . O problema da singularidade no ponto  $B = B_p$  pode ser resolvido

diminuindo o passo de integração na vizinhança da singularidade até alcançarmos uma convergência desejada.

O procedimento foi realizado para cada ponto da tabela do modelo e o valor global do fluxo em cada ponto foi substituído com o valor do fluxo orientado. Portanto, essa nova tabela pode ser considerada como um modelo de fluxos unidirecionados de prótons capturados. Essa conversão foi feita utilizando o arquivo `generateter.f` (Apêndice F)

### 3.4 – FORTRAN 77

Devido ao grande número de simulações numéricas realizadas nesse ambiente e da tradição no meio científico, utilizamos o FORTRAN para utilizar o modelo indicado no item 3.2, utilizando o código indicado posteriormente no arquivo `trmfun.for` (Apêndice D) e para controlar a execução desse modelo, utilizamos o código `TesteUNIX.f` (Apêndice C)

### 3.5 – Perl

Para que pudéssemos aproveitar os programas escritos em FORTRAN, ligar esses programas com o formulário no site a ser criado e modificar permissões, utilizamos a linguagem de programação Perl, devido ao seu grande uso em ambientes Linux.

### 3.6 – Apache Web Server

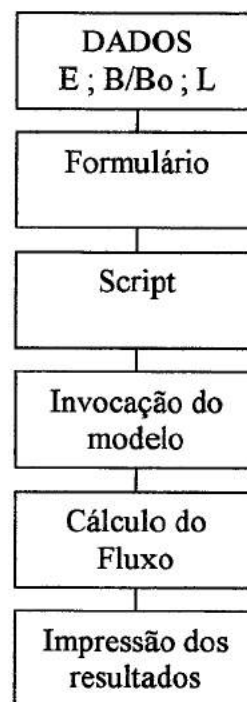
O servidor utilizado para hospedar a homepage e os demais arquivos foi o Apache Web Server, por já estar sendo usado pelo administrador para esse fim.

### 3.7 – Interação dos arquivos

A solução proposta para o problema foi organizada no diagrama ao lado. Os dados são introduzidos no formulário `testpost.html` (Apêndice A), que quando é submetido, manda o conteúdo de seus campos para o script `testpost.pl` (Apêndice B), que vai colocar os dados na forma correta para o programa de controla e invoca o modelo AP-8 MAX, para máxima intensidade da radiação solar.

Para cada valor de pitch angle indo de 0 até 90 graus, com um passo de 1 grau, é realizado o cálculo do fluxo de energia (`trmfun.for`) e os resultados são armazenados em arquivos e impressos na homepage .

Com os valores armazenados nos arquivos, montamos um gráfico mostrando a distribuição angular de fluxo (`testeChart.pl`) (Apêndice E) e o processo é terminado.



## 4 – RESULTADOS E ANÁLISES

### 4.1 – Arquivos utilizados e desenvolvidos



#### 4.1.1 – Formulário para recebimento de dados

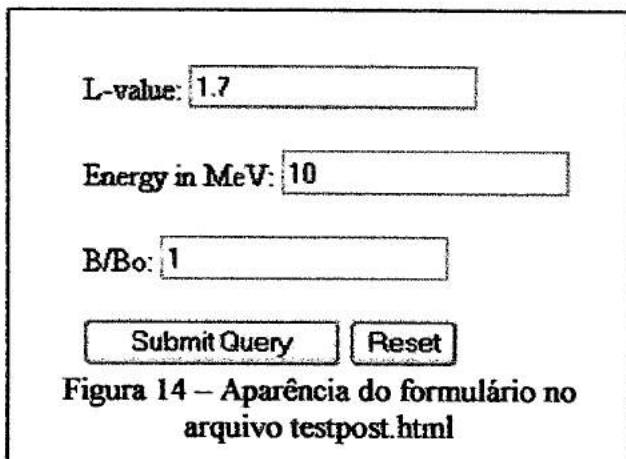
Para fazermos uma análise da distribuição angular do fluxo de prótons presentes em um cinturão de radiação, criou-se uma homepage para mostrar em uma forma gráfica como se dá essa distribuição de fluxo integral e diferencial. Dessa maneira, criamos uma página em formato HTML que contém um formulário com os seguintes campos:

- L-value
- Energy in MeV
- B/Bo

O campo “L-value” especifica a distância até o ponto em que se dá a análise, em unidades de L-shell, ou seja, uma unidade de distância com o tamanho do raio da Terra.

O campo “Energy in MeV”, especifica com que valores de energia dos prótons analisados. O campo B/Bo especifica o valor normalizado do campo magnético em relação ao campo no equador.

A homepage criada pode ser acessada em [www.das.inpe.br/~anatoly](http://www.das.inpe.br/~anatoly), na seção TrappedRadiationModel.



The image shows a screenshot of a web form. It contains three input fields: 'L-value' with the value '1.7', 'Energy in MeV' with the value '10', and 'B/Bo' with the value '1'. Below the input fields are two buttons: 'Submit Query' and 'Reset'. The entire form is enclosed in a rectangular border.

Figura 14 – Aparência do formulário no arquivo testpost.html

A forma escolhida para envio do formulário foi o método POST. A seguir, invocamos o script testpost.pl, como indicado na seguinte linha:

```
<FORM METHOD="post"  
ACTION="/testpost.pl">
```

Dessa maneira, podemos utilizar scripts CGI para interagir com o servidor através da entrada-padrão, e não como variável de ambiente, como acontece no método GET. Da mesma maneira que no

método GET, os dados são codificados como na variável de ambiente QUERY\_STRING, mas a variável de ambiente QUERY\_STRING não é ajustada. Em vez disso, o método POST ajusta a variável de ambiente CONTENT\_LENGTH para indicar o número de caracteres que foram enviados. Dessa forma, o script sabe exatamente quantos caracteres ele deve ler da entrada-padrão.

#### 4.1.2 – Arquivo testpost.pl

O formulário envia os dados contidos nesses campos para o script testpost.pl, escrito em linguagem Perl. Esse script trata esses dados, e os enviam para o programa TesteUNIX.f. Para interagir com o programa TesteUNIX.f, utilizamos os seguintes recursos:

- Variável de ambiente @proglis
- Subrotina system()

Com a variável de ambiente utilizada, escolhemos o que programa invocar (nesse caso, TesteUNIX.f) e que dados devemos passar para o programa indicado através da linha

de comando. Depois que a subrotina for executada, todos os dados terão sido passados para o programa TesteUNIX.f. Fazemos isso da seguinte forma:

```
@proglis = (“/a.out”, “@valores”);  
system(@proglis);
```

Além disso, nesse script invocamos os scripts que geram o gráficos, após todos os valores de fluxo e do logaritmo de fluxo integral e diferencial terem sido calculados, através da subrotina system:

```
system(“./testeChart.pl”);  
system(“./testeChart1.pl”);  
system(“./testeChart2.pl”);  
system(“./testeChart3.pl”);
```

#### 4.1.3 – Arquivo TesteUNIX.f

Nesse arquivo, realizamos conversões das strings inseridas no formulário para valores no formato de ponto flutuante. Para cada valor de pitch angle, de 0 até 90°, chama-se a subrotina que realiza o cálculo do fluxo integral de prótons para cada valor de ângulo e põe cada valor calculado de fluxo, logaritmo de fluxo e de ângulo em seus respectivos arquivos no formato txt que serão utilizados na construção do gráfico.

O fluxo diferencial de prótons é obtido através do cálculo de fluxo integral para um valor de energia um pouco maior que o valor inserido no formulário(5%). Com esses dois valores de fluxo integral para energia ligeiramente diferentes, efetuamos uma subtração e dividimos pelo valor da variação da energia. Em resumo, fazemos o processo de cálculo da derivada parcial do fluxo em relação a energia.

#### 4.1.4 – Arquivo trmfun.for

Esse arquivo realiza os cálculos de fluxos orientados integrais de partículas para valores de energia, B/Bo, L e pitch-angle, que são passados como argumentos para a subrotina DirectedFLux no arquivo TesteUNIX.f.

Dentro dessa subrotina, os argumentos são adaptados para serem enviados a subrotina TRARA1, no arquivo trmfun.for, onde os valores de fluxo integral são retornados.

#### 4.1.5 – Arquivo testeChart.pl

Esse é o arquivo utilizado para geração do gráfico dos fluxos de prótons em  $1/(cm^2 \text{ sec MeV sr})$  em função de cada valor de pitch angle desejado. A partir dos arquivos F.txt, logF.txt e valoresx.txt, que contém respectivamente os valores de fluxo integral, logaritmo decimal de fluxo integral e os valores de pitch angle, o gráfico de logaritmo de fluxo integral e de fluxo integral são construídos. A partir dos arquivos logFD.txt e FD.txt, que contém os valores do fluxo diferencial e logaritmo de fluxo diferencial, construímos o gráficos de fluxo diferencial e de logaritmo decimal de fluxo diferencial.

A geração de gráficos é realizadas através do uso do módulo Chart, obtido no site [www.cpan.org](http://www.cpan.org). O módulo Chart é um módulo para perl5 que cria saída PNG para um gráfico.

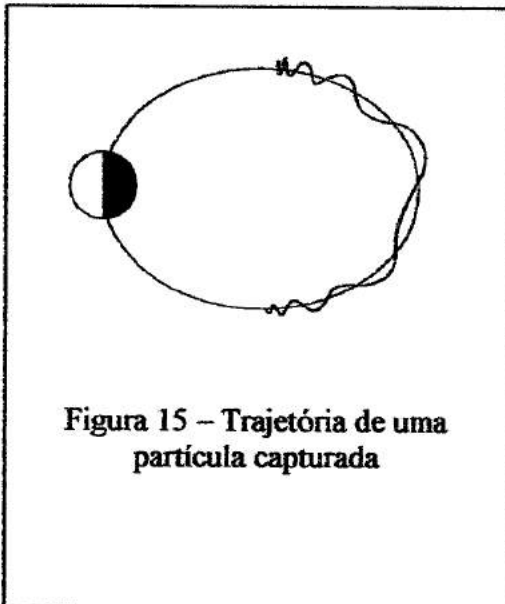
#### 4.1.6 – Arquivo generatester.f

Nesse arquivo, realizamos a conversão da tabela de fluxos globais para uma outra contendo os valores de fluxos orientados. Basicamente, ele efetua o cálculo da integral indicada no item 3.3, calculando o fluxo integral na direção perpendicular a linha de força.

#### 4.2 – Análise do gráfico obtido

##### 4.2.1 – Forma do gráfico

Na figura 15, podemos visualizar a reflexão das partículas em pontos de reflexão não tão próximos da Terra e também não tão próximos do equador. Para valores de pitch angle pequenos, a reflexão ocorrerá próximo a superfície da Terra (trajetória mais comprida) e para valores próximos de 90 graus, a reflexão ocorrerá bem longe da atmosfera. Logo, a medida que o valor de pitch angle diminui, a distância entre os pontos de reflexão ao longo da linha de campo vai aumentando e o movimento ao longo da linha de campo terá um período maior.



Para pequenos valores de pitch angle, o fluxo direcionado de prótons é muito pequeno. Isso acontece porque para esses ângulos, a reflexão ocorre próxima da superfície da Terra, existindo uma grande possibilidade de haver colisões entre a partícula capturada e átomos da atmosfera. Algumas dessas colisões serão inelásticas, ocasionando a perda de partículas capturadas. No caso de colisões elásticas o pitch-angle da partícula diminui, abaixando assim o ponto do reflexão e aumentando probabilidade de perda de partícula.

Para valores de pitch angle próximos de  $90^\circ$ , a partícula tem espelhos magnéticos muito próximos e conseqüentemente o movimento ao longo da linha de campo terá uma frequência elevada. Nesse caso, se o valor de  $L$  não for muito

pequeno de tal forma que as partículas capturadas não estejam próximas da atmosfera, não haverá contato com a atmosfera, e portanto, não haverá perdas de partículas devido ao contato com essa região. Assim, devemos esperar que para ângulos próximos de  $90^\circ$  tenhamos fluxos direcionados bem elevados e em particular, para pitch angle igual a  $90^\circ$ , tenhamos fluxo orientado máximo. Na verdade, quanto mais próximo de  $90^\circ$  estiver o pitch angle, menores serão as perdas e portanto, maior será o fluxo orientado.

Na Figura 16, mostramos um exemplo do gráfico obtido para  $L=2.0$ ,  $E=10$  MeV e  $B/B_0=1.0$ . O gráfico apresenta a forma esperada, visto que apresenta um máximo para o valor de pitch angle correspondente a  $90^\circ$  e tem valores menores para valores de pitch angle diferente deste. Em particular, para um pitch angle corresponde a  $0$  graus, temos um fluxo de partículas é zero.

#### 4.2.2 – Análise do fluxo global

O fluxo global, que pode ser entendido como somatório dos fluxos orientados de todas as orientações, é máximo no equador magnético porque todas as partículas que estão capturadas tem que passar por esse ponto, já que os espelhos magnéticos estão localizados simetricamente em relação a ele (neste modelo). Dessa forma, o fluxo será o somatório das contribuições de todas as partículas capturadas.

Para valores  $B/B_0$  maiores que 1, existirão partículas que sofrem reflexões em espelhos magnéticos localizados mais perto de equador e não atingirão o dado ponto da linha de campo. Assim eles não contribuem para o fluxo global neste ponto.

Dessa forma, podemos compreender que quanto maior o valor da razão  $B/B_0$ , menor o o valor do fluxo global de partículas.

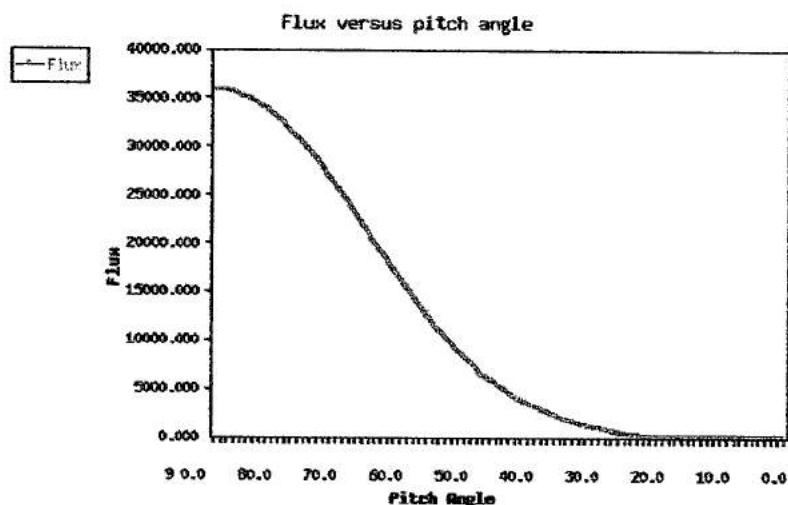


Figura 16 – Gráfico de fluxo integral orientado obtido para  $L=2.0$   $E=10$  MeV  $B/B_0=1.0$

#### 4.2.3 – Influência da variação de L

Ao aumentarmos o valor de  $L$  e deixarmos os valores de  $B/B_0$  e de energia fixos, vemos que há valores de  $L$ , para os quais o fluxo assume valor bem próximos do máximo. Para valores de  $L$  maiores ou menores que esse, teremos fluxos menores.

Na figura 17, plotamos um gráfico para partículas de energia de 10 MeV e para  $B/B_0=1$ , para diferentes valores de  $L$ . Podemos observar que para valores de  $L$  superiores a 2.5, a distribuição de fluxo vai apresentando máximos cada vez menores, e teremos uma diminuição mais suave de fluxo.

Construindo gráficos para valores de  $L$  contidos no intervalo 1.8-2.2, vemos que as curvas correspondentes a esses valores são praticamente coincidentes, e apresentam máximo fluxo para pitch angle igual a  $90^\circ$ .

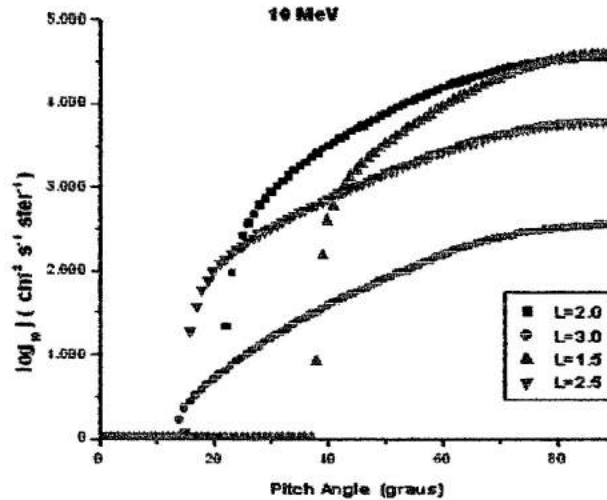


Figura 17 – Fluxo orientado integral para  $E = 10 \text{ MeV}$ ,  $B/B_0=1$  e  $L=1.5;2.0;2.5;3.0$

Na figura 18, podemos ver que o gráfico para fluxo orientado diferencial tem o mesmo comportamento do gráfico do fluxo orientado integral. Nesse caso, não exibimos os valores negativos do gráfico.

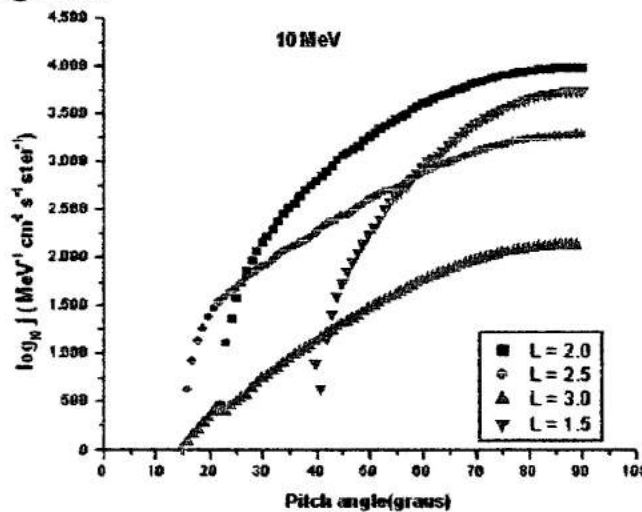


Figura 18 – Fluxo orientado diferencial para  $E = 10 \text{ MeV}$ ,  $B/B_0=1$  e  $L=1.5;2.0;2.5;3.0$

#### 4.2.4 – Influência na variação de E

Variando o valor de E e deixando os valores de B/Bo e de L fixos, vemos que há dependência entre fluxo orientado e energia, pois quanto menor o valor de energia, maior o fluxo integral correspondente ao pitch-angle normal, sendo esse valor de energia condizente com os valores indicados como limites do modelo (0.1 MeV a 400 MeV).

No gráfico da figura 20, podemos verificar que há uma convergência para uma máxima distribuição de fluxo integral de prótons, para pequenos valores de energia.

Na figura 21, podemos ver que o gráfico para fluxo orientado diferencial tem o mesmo comportamento do gráfico do fluxo orientado integral. Nesse caso, não exibimos os valores negativos do gráfico.

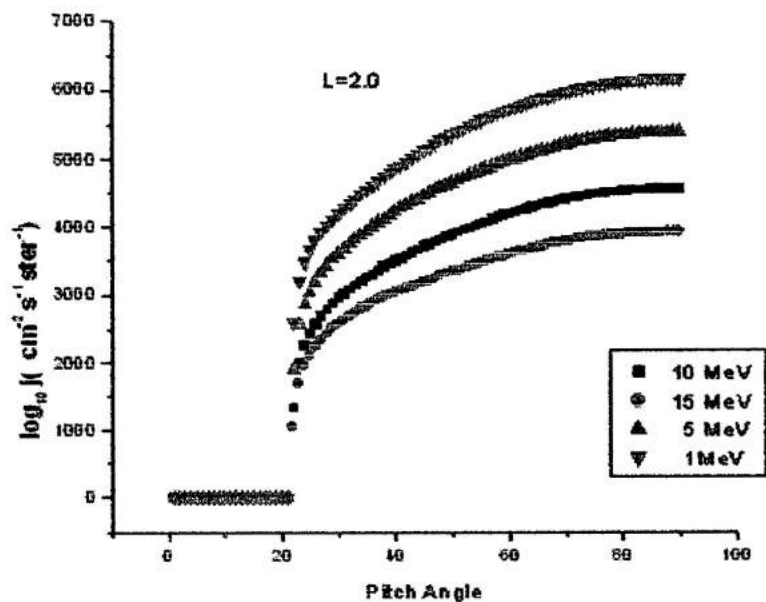


Figura 19 – Fluxo orientado integral para  $L=2.0$ ,  $B/B_0=1$  e  $E=1.5$ ;  $2.0$ ;  $2.5$ ;  $3.0$  MeV

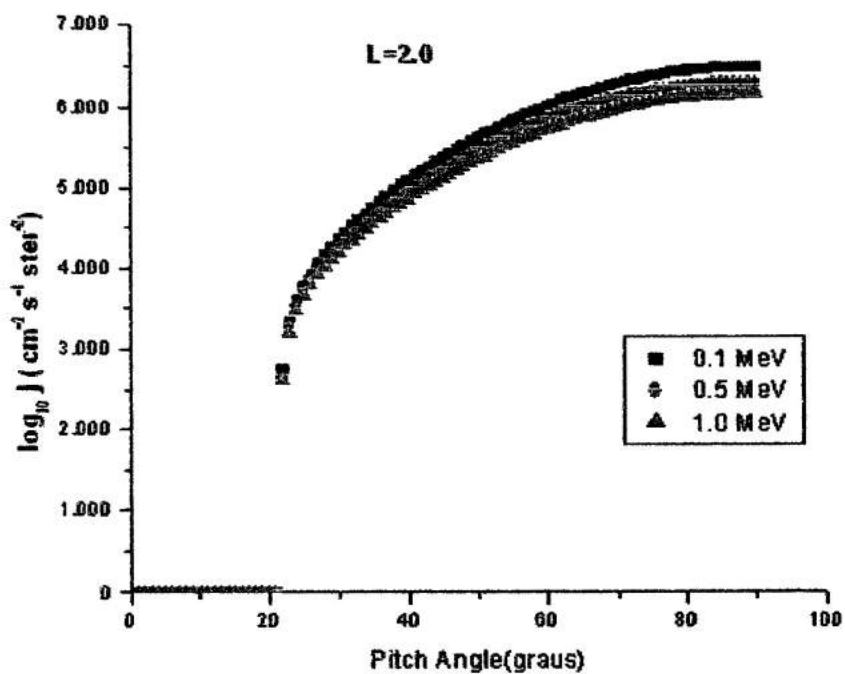


Figura 20 – Fluxo orientado integral para  $L=2.0$ ,  $B/B_0=1$  e  $E=0.1$ ;  $0.5$ ;  $1.0$  MeV

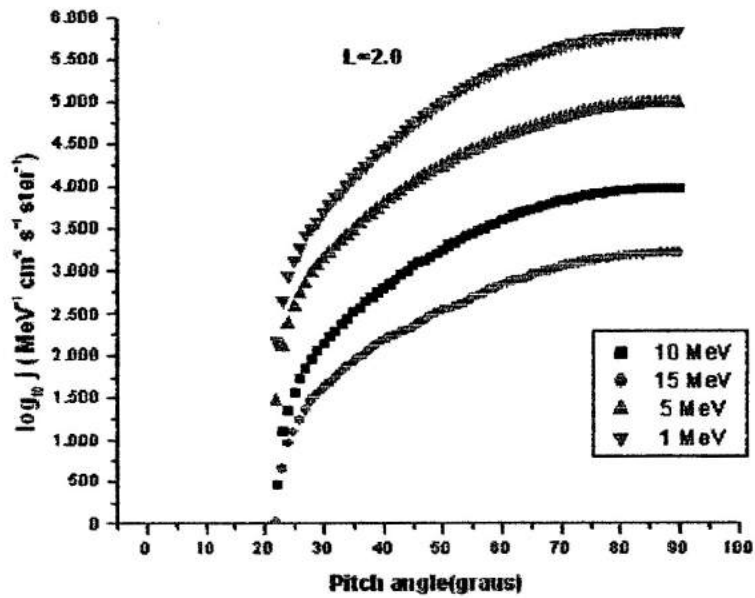


Figura 21 – Fluxo orientado diferencial para  $L=2.0$ ,  $B/B_0=1$  e  $E=1.5 ; 2.0 ; 2.5 ; 3.0$  MeV

#### 4.2.5 - Influência na variação de $B/B_0$

Variando o valor de  $B/B_0$  e deixando os valores de  $E$  e de  $L$  fixos, vemos que o quanto maior o valor de  $B/B_0$ , menor o fluxo correspondente ao pitch angle de  $90^\circ$  e a largura de distribuição angular vai diminuindo.

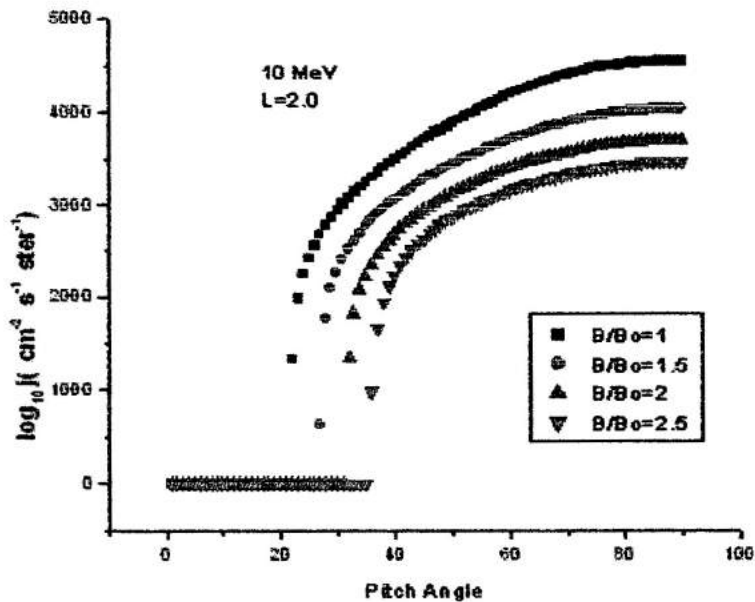


Figura 22 – Fluxo orientado integral para  $L=2.0$ ,  $E = 10$  MeV e  $B/B_0= 1 ; 1.5 ; 2.0 ; 2.5$

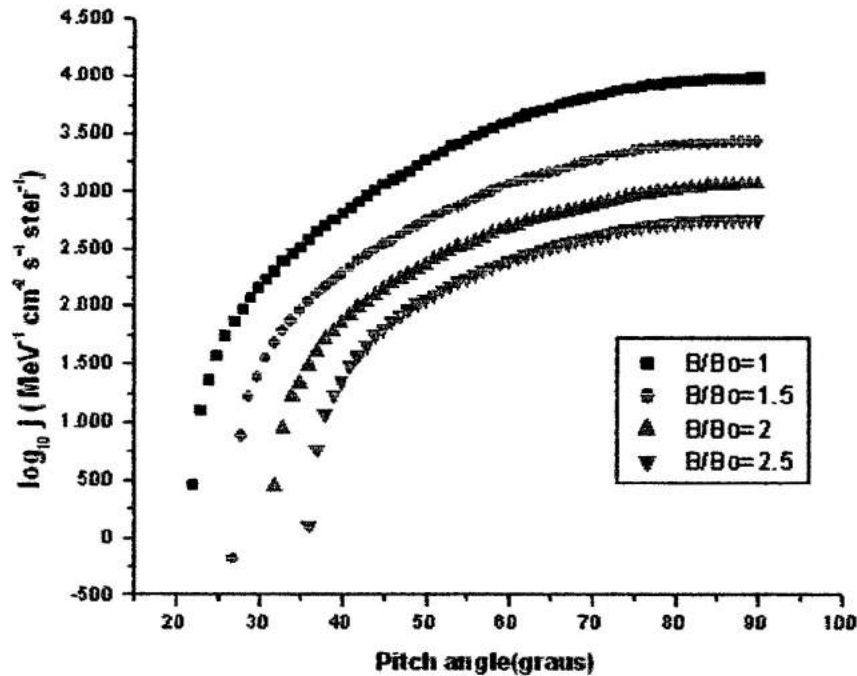


Figura 23 – Fluxo orientado diferencial para  $L=2.0$ ,  $E = 10$  MeV e  $B/B_0 = 1 ; 1.5 ; 2.0 ; 2.5$

Na figura 22, plotamos um gráfico para partículas de energia de 10 MeV e para  $L=2$ , para diferentes valores de  $B/B_0$ . Podemos observar que o máximo de fluxo orientado para pitch angle igual a  $90^\circ$  ocorre quando  $B/B_0=1$ .

Na figura 23, podemos ver que o gráfico para fluxo orientado diferencial tem o mesmo comportamento do gráfico do fluxo orientado integral. Nesse caso, não exibimos os valores negativos do gráfico.

#### 4.2.6 – Comparação com SALAMMBO e AP8 MAX

Para verificar a confiabilidade dos gráficos do logaritmo do fluxo diferencial orientado obtidos, comparamos os gráficos obtidos no site criado (linha azul) com gráficos do modelo SALAMMBO (linha escura preta) e do modelo AP8 MAX (linha pontilhada preta), superpondo-os.

Já que o modelo utilizado para construção do site foi o modelo AP8 MAX, deveríamos esperar que a linha azul sobrepusesse a linha pontilhada. Isso não ocorre para todos os valores de pitch-angle devido a forma que calculamos o fluxo diferencial, que pode não proporcionar uma boa aproximação para os valores de fluxo quando há grande variação nos valores de fluxo.

Na figura 24, mostramos a superposição dos gráficos para valores distintos de energia, dentro dos limites do modelo utilizado.



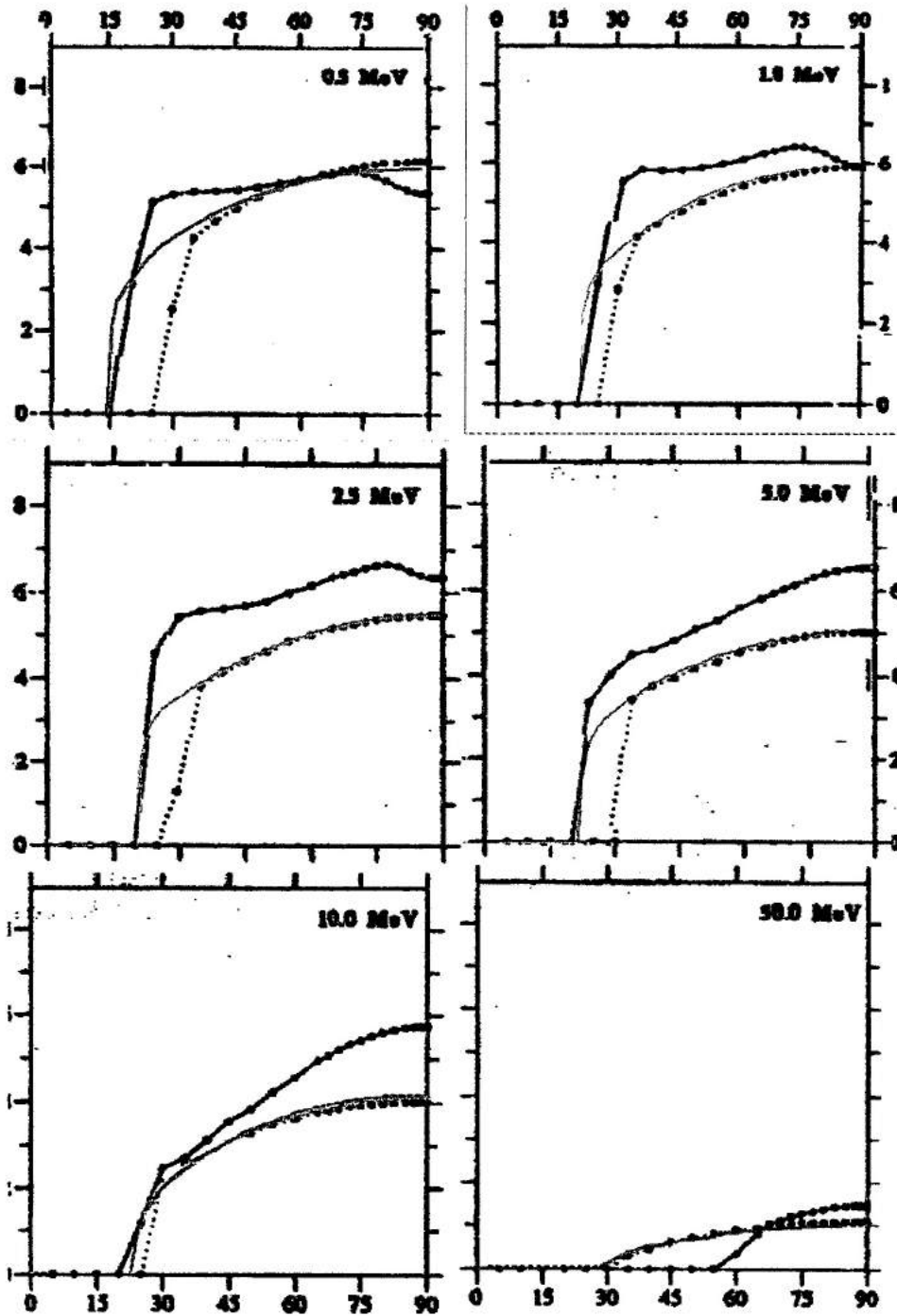


Figura 24 – Comparação do gráfico de fluxo diferencial orientado ( $\text{MeV}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{ster}^{-1}$ ) obtido no site (linha azul) com valores obtidos no modelo SALAMMBO (linha escura preta) e no modelo AP8 MAX (linha pontilhada). Todos os gráficos estão na mesma escala, com mesmos valores nos eixos.

## 5 – CONCLUSÃO

Uma homepage foi criada que permite simulação de distribuição angular de fluxos de prótons capturados na magnetosfera da Terra em regime interativo. Os resultados

apresentam-se em forma de uma tabela e um gráfico. Os resultados do trabalho podem ser usados para análise de dados de experimentos efetuados a bordo de satélites e também avaliação de ambiente de radiação na proximidades da Terra.

## 6 – REFERÊNCIAS BIOGRÁFICAS

Beutier, T., D. Boscher e M.France, SALAMMBO: A three-dimensional simulation of the proton radiation belt, J.Geophys. Res., 100, 17171, 1995.

H.M.Deitel, P.J.Deitel, T.R.Nieto e D.C.McPhie, Perl: Como Programar, trad. Carlos Arhur Lang Lisboa. – Porto alegre : Bookman, 2002.

CPAN(Comprehensive Perl Archive Network) [www.cpan.org](http://www.cpan.org)

PERLDOC [www.perldoc.org](http://www.perldoc.org)

NASA/National Space Science Data Center ([nssdc.gsfc.nasa.gov/space/model/](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/space/model/))

Enciclopédia WIKIPEDIA ([www.wikipedia.org/wiki/](http://www.wikipedia.org/wiki/))

## 7 - APÊNDICE A – Código fonte do formulário testpost.html

```
<html>
<body>
<font color=blue size=5><center><b> Directed Trapped Proton Flux
</b></center>
</font>
</td></table>
<hr width=85%>
<center>This page finds particle fluxes for given energies, magnetic
field strength and L-value</center>
<hr width=85%>
<FORM METHOD="post" ACTION="./testpost.pl">
L-value: <input type=text name=lvalue size="20"><br><br>
Energy in MeV: <input type=text name=energy size="20"><br><br>
B/Bo: <input type=text name=BBo size="20"><br><br>
<input type="submit" VALUE=" Submit Query ">
<input type=reset><br>
</form>
</body>
</html>
```

## 8 – APÊNDICE B – Código fonte do script testpost.pl

```
#!/usr/bin/perl

read (STDIN, $buffer, $ENV{'CONTENT_LENGTH'});
print "Content-type: text/html\n\n";
print "<HTML> <HEAD> <TITLE> TRAPPED PROTON MODEL </TITLE> <HEAD>
<BODY> \n";

# SEPARAÇÃO DOS CAMPOS : Lshell Energy e BBo
@campos = split ('&', $buffer);

# LAÇO PARA ORDENAÇÃO DOS VALORES INSERIDOS
foreach (@campos) {
($campo1, $campo2)=split ('=', $_);
```

```

$campo2=$campo2." ";
$valores[$i]=$campo2;
$i++;
}

# ENVIO DOS VALORES PARA a.out
@proglis=( "./a.out", "@valores");
system(@proglis);

# INVOCACÃO DOS SCRIPTS QUE GERAM OS GRAFICOS
system("./testeChart.pl");
system("./testeChart1.pl");
system("./testeChart2.pl");
system("./testeChart3.pl");

# IMPRIMIR FIGURAS GERADAS PELOS SCRIPTS
print "<img src=figChart1.png>";
print "<img src=figChart2.png>";
print "<img src=figChart3.png>";
print "<img src=figChart4.png>";
print "</body></html>";

```

## 9 – APÊNDICE C – Código fonte do TesteUNIX.f

```

C      USE MSFLIB

CHARACTER(80) buf,intwrite
integer n1
INTEGER iHEAD(8), MAP(20000)
REAL*4 L, BBo, Pitch, E(10), E1(10), F(10)

OPEN(1, file='ap8minDirTrar.asc')

READ(1, *) iHEAD
C      iHEAD(1), iHEAD(2), iHEAD(3), iHEAD(4),
C      & iHEAD(5), iHEAD(6), iHEAD(7), iHEAD(8)

READ(1, "(1X,12I6)") (MAP(I), I=1, IHEAD(8))
write(*, *) iHEAD

pitch=90

C      FLUXO INTEGRAL
C      FORMATO DO ARQUIVO AnDiFl.result : Pitch Angle, log F , F
C      FLUXO DIFERENCIAL
C      FORMATO DO ARQUIVO FluxDif.txt : Pitch Angle, log FD , FD

open(2, FILE='AnDiFl.result')
open(3, file='valoresx.txt')
open(4, file='logF.txt')
open(5, file='F.txt')
open(10, file='FluxDif.txt')
open(13, file='logFD.txt')
open(14, file='FD.txt')

C      Obtencao do valor de L vindo do formulario

```

```

n1=1
call getarg(n1,buf)
write(6,3) buf
3  format( // 'buf=',a80)

C  Conversao de character para float
write(intwrite,9) buf
9  format(a80)
read(buf,*) L,E(1),BBo
2  format( // 'L=',a80)

C  Impressao dos dados inseridos no formulario
write(6,12)
12 format(1x,'<h1>Resultados obtidos</h1>Para os seguintes dados
temos<br>')
write(6,13) L
13 format(1x,'L-value :',f12.5,'<br>')
write(6,14) E(1)
14 format(1x,'E(1) : ',f12.5,'<br>')
write(6,15) BBo
15 format(1x,'BBo : ',f12.5,'<br><br><br>')

C  Impressao dos resultados obtidos
C  WRITE(6,16)
C16 format(1x, 'Valores de Pitch, logaritmo do Fluxo e valor absoluto
de Fluxo<br>')
C  WRITE(6,17)
C17 format(1x, 'Pitch','log F','F','<br>')

DO WHILE (Pitch .gt. 0)

CALL DirectedFlux(iHEAD,MAP,L,BBo,Pitch,E,F,1)
c  write(6,18) Pitch,F(1),10**F(1)
c  write(6,18) Pitch
write(6,19) F(1)
write(2,*) Pitch,F(1),10**F(1)
FP1=10**F(1)

E(1)=1.05*E(1)
CALL DirectedFlux(iHEAD,MAP,L,BBo,Pitch,E,F,1)
! _____ 10 _____ 20 _____ 30 _____ 40 _____ 50 _____ 60 _____ 70 _____
! WRITE(*,
! &"(' L=',f6.1,', BBo=',f8.3,', Pitch=',f6.2,', E=',f7.3,$)")
! & L,BBo,Pitch,E(1)

c18 format(1x, f4.0 , ' ', f12.5 , '*' , lpe7.1, '<br>' )
c18 format(1x, f4.0, '<br>')
19 format(1x, f7.3, '<br>')

FP2=10**F(1)
E(1)=E(1)/1.05
FD=(FP1-FP2)/(0.05*E(1))
LFD=log10(FD)
write(10,*) Pitch,LFD,FD
write(13,*) LFD
write(14,*) FD
Pitch=Pitch-1

```

```

END DO

c   OS RESULTADOS OBTIDOS SAO IMPRESSOS NOS ARQUIVOS :
C   F.txt PARA VALORES DE FLUXO INTEGRAL
C   logF.txt PARA VALORES DE LOGARITMO DE FLUXO INTEGRAL
C   FD.txt PARA VALORES DE FLUXO DIFERENCIAL
C   logFD.txt PARA VALORES DE LOGARITMO DE FLUXO DIFERENCIAL
C   valoresx.txt PARA CADA VALOR DE PITCH ANGLE

close(2)
open(2,file='AnDiFl.result')
read(2,*) a,b,c
write(3,"(f4.0)") a
write(4,"(f7.3)") b
write(5,"(f12.0)") c

DO WHILE (Pitch .lt. 90)
read(2,*) a,b,c
write(3,"(f4.0)") a
write(4,"(f7.3)") b
write(5,"(f12.0)") c
Pitch=Pitch+1
END DO

close(2)
close(3)
close(4)
close(5)
close(10)
close(13)
close(14)
END

SUBROUTINE DirectedFlux(iHEAD,MAP,L,BBo,Pitch,E,F,N)

REAL*4 E,L,BBo,Pitch
DIMENSION iHEAD(*),MAP(*), E(*),F(*)
PARAMETER (RAD=57.2957795130823208852)
BBoPerp=BBo/sin(Pitch/RAD)**2
CALL TRARA1(iHEAD,MAP,L,BBoPerp,E,F,N)
RETURN
END
Include 'trmfun.for'

```

## 10 – APÊNDICE D – Código fonte do formulário trmfun.for

```

C TRMFUN.FOR      1987
C
C*****
C***** SUBROUTINES, FUNCTIONS *****
C*****
C***** TRARA1, TRARA2 *****
C*****
C
SUBROUTINE TRARA1(DESCR,MAP,FL,BB0,E,F,N)

```

```

C*****
C*** TRARA1 FINDS PARTICLE FLUXES FOR GIVEN ENERGIES, MAGNETIC FIELD ***
C*** STRENGTH AND L-VALUE. FUNCTION TRARA2 IS USED TO INTERPOLATE IN ***
C*** B-L-SPACE. ***
C*** INPUT: DESCR(8) HEADER OF SPECIFIED TRAPPED RADITION MODEL ***
C*** MAP(...) MAP OF TRAPPED RADITION MODEL ***
C*** (DESCR AND MAP ARE EXPLAINED AT THE BEGIN ***
C*** OF THE MAIN PROGRAM MODEL) ***
C*** N NUMBER OF ENERGIES ***
C*** E(N) ARRAY OF ENERGIES IN MEV ***
C*** FL L-VALUE ***
C*** BB0 =B/B0 MAGNETIC FIELD STRENGTH NORMALIZED ***
C*** TO FIELD STRENGTH AT MAGNETIC EQUATOR ***
C*** OUTPUT: F(N) DECADIC LOGARITHM OF INTEGRAL FLUXES IN ***
C*** PARTICLES/(CM*CM*SEC) ***
C*****
LOGICAL S0,S1,S2
DIMENSION E(N),F(N),MAP(1)
INTEGER DESCR(8)
COMMON/TRA2/FISTEP
DATA F1,F2/1.001,1.002/
C
FISTEP=DESCR(7)/DESCR(2)
ESCALE=DESCR(4)
FSCALE=DESCR(7)
XNL=AMIN1(15.6,ABS(FL))
NL=XNL*DESCR(5)
IF(BB0.LT.1.) BB0=1.
NB=(BB0-1.)*DESCR(6)
C
C I2 IS THE NUMBER OF ELEMENTS IN THE FLUX MAP FOR THE FIRST ENERGY.
C I3 IS THE INDEX OF THE LAST ELEMENT OF THE SECOND ENERGY MAP.
C L3 IS THE LENGTH OF THE MAP FOR THE THIRD ENERGY.
C E1 IS THE ENERGY OF THE FIRST ENERGY MAP (UNSCALED)
C E2 IS THE ENERGY OF THE SECOND ENERGY MAP (UNSCALED)
C
I1=0
I2=MAP(1)
I3=I2+MAP(I2+1)
L3=MAP(I3+1)
E1=MAP(I1+2)/ESCALE
E2=MAP(I2+2)/ESCALE
C
C S0, S1, S2 ARE LOGICAL VARIABLES WHICH INDICATE WHETHER THE FLUX FOR
C A PARTICULAR E, B, L POINT HAS ALREADY BEEN FOUND IN A PREVIOUS CALL
C TO FUNCTION TRARA2. IF NOT, S.. =.TRUE.
C
S1=.TRUE.
S2=.TRUE.
C
ENERGY LOOP
C
DO 3 IE=1,N
C
C FOR EACH ENERGY E(I) FIND THE SUCCESSIVE ENERGIES E0,E1,E2 IN
C MODEL MAP, WHICH OBEY E0 < E1 < E(I) < E2 .
C

```

```

1  IF( (E(IE).LE.E2).OR.(L3.EQ.0)) GOTO 2
      I0=I1
      I1=I2
      I2=I3
      I3=I3+L3
      L3=MAP(I3+1)
      E0=E1
      E1=E2
      E2=MAP(I2+2)/ESCALE
      S0=S1
      S1=S2
      S2=.TRUE.
      F0=F1
      F1=F2
      GOTO 1

C
C CALL TRARA2 TO INTERPOLATE THE FLUX-MAPS FOR E1,E2 IN L-B/B0-
C SPACE TO FIND FLUXES F1,F2 [IF THEY HAVE NOT ALREADY BEEN
C CALCULATED FOR A PREVIOUS E(I)].
C
2  IF(S1) F1=TRARA2(MAP(I1+3),NL,NB)/FSCALE
      IF(S2) F2=TRARA2(MAP(I2+3),NL,NB)/FSCALE
      S1=.FALSE.
      S2=.FALSE.

C
C FINALLY, INTERPOLATE IN ENERGY.
C
      F(IE)=F1+(F2-F1)*(E(IE)-E1)/(E2-E1)
      IF(F2.GT.0.0) GOTO 3
      IF(I1.EQ.0) GOTO 3

C
C ----- SPECIAL INTERPOLATION -----
C IF THE FLUX FOR THE SECOND ENERGY CANNOT BE FOUND (I.E. F2=0.0),
C AND THE ZEROth ENERGY MAP HAS BEEN DEFINED (I.E. I1 NOT EQUAL 0),
C THEN INTERPOLATE USING THE FLUX MAPS FOR THE ZEROth AND FIRST
C ENERGY AND CHOOSE THE MINIMUM OF THIS INTERPOLATIONS AND THE
C INTERPOLATION THAT WAS DONE WITH F2=0.
C
      IF(S0) F0=TRARA2(MAP(I0+3),NL,NB)/FSCALE
      S0=.FALSE.
      F(IE)=AMIN1(F(IE),F0+(F1-F0)*(E(IE)-E0)/(E1-E0))

C
C THE LOGARITHMIC FLUX IS ALWAYS KEPT GREATER OR EQUAL ZERO.
C
3  F(IE)=AMAX1(F(IE),0.)
      RETURN
      END

C
      FUNCTION TRARA2(MAP,IL,IB)
C*****
C*** TRARA2 INTERPOLATES LINEARLY IN L-B/B0-MAP TO OBTAIN ***
C*** THE LOGARITHM OF INTEGRAL FLUX AT GIVEN L AND B/B0. ***
C*** INPUT: MAP(..) IS SUB-MAP (FOR SPECIFIC ENERGY) OF ***
C*** TRAPPED RADIATION MODEL MAP ***
C*** IL SCALED L-VALUE ***
C*** IB SCALED B/B0-1 ***
C*** OUTPUT: TRARA2 SCALED LOGARITHM OF PARTICLE FLUX ***

```

```

C*****
C***  SEE MAIN PROGRAM 'MODEL' FOR EXPLANATION OF MAP FORMAT  ***
C***  SCALING FACTORS.                                         ***
C***  THE STEPSIZE FOR THE PARAMETERIZATION OF THE LOGARITHM  ***
C***  OF FLUX IS OBTAINED FROM 'COMMON/TRA2/'.                ***
C*****
      DIMENSION MAP(1)
      COMMON/TRA2/FISTEP
      FNL=IL
      FNB=IB
      ITIME=0
      I2=0

C
C FIND CONSECUTIVE SUB-SUB-MAPS FOR SCALED L-VALUES LS1,LS2,
C WITH IL LESS OR EQUAL LS2.  L1,L2 ARE LENGTHS OF SUB-SUB-MAPS.
C I1,I2 ARE INDECES OF FIRST ELEMENTS MINUS 1.
C
  1  L2=MAP(I2+1)
     IF(MAP(I2+2).GT.IL) GOTO 2
     I1=I2
     L1=L2
           I2=I2+L2
           GOTO 1
  2  CONTINUE
C
C IF SUB-SUB-MAPS ARE EMPTY, I. E. LENGTH LESS 4, THAN TRARA2=0
C
     IF((L1.LT.4).AND.(L2.LT.4)) GOTO 50
C
C IF FLOG2 LESS FLOG1, THAN LS2 FIRST MAP AND LS1 SECOND MAP
C
     IF(MAP(I2+3).GT.MAP(I1+3)) GOTO 10
  5  KT=I1
     I1=I2
     I2=KT
     KT=L1
     L1=L2
     L2=KT
C
C DETERMINE INTERPOLATE IN SCALED L-VALUE
C
  10  FLL1=MAP(I1+2)
     FLL2=MAP(I2+2)
     DFL=(FNL-FLL1)/(FLL2-FLL1)
     FLOG1=MAP(I1+3)
     FLOG2=MAP(I2+3)
     FKB1=0.
     FKB2=0.
     IF(L1.LT.4) GOTO 32
C
C B/B0 LOOP
C
     DO 17 J2=4,L2
        FINCR2=MAP(I2+J2)
           IF(FKB2+FINCR2.GT.FNB) GOTO 23
           FKB2=FKB2+FINCR2
  17  FLOG2=FLOG2-FISTEP

```



```

        ITIME=ITIME+1
        IF(ITIME.EQ.1)GO TO 5
        GO TO 50
23  IF(ITIME.EQ.1)GO TO 30
        IF(J2.EQ.4)GO TO 28
        SL2=FLOG2/FKB2
        DO 27 J1=4,L1
            FINCR1=MAP(I1+J1)
            FKB1=FKB1+FINCR1
            FLOG1=FLOG1-FISTEP
            FKBJ1=((FLOG1/FISTEP)*FINCR1+FKB1)/((FINCR1/FISTEP)*SL2+1.)
            IF(FKBJ1.LE.FKB1) GOTO 31
27  CONTINUE
        IF(FKBJ1.LE.FKB2) GOTO 50
31  IF(FKBJ1.LE.FKB2) GOTO 29
        FKB1=0.
30  FKB2=0.
32  J2=4
        FINCR2=MAP(I2+J2)
        FLOG2=MAP(I2+3)
        FLOG1=MAP(I1+3)
28  FLOGM=FLOG1+(FLOG2-FLOG1)*DFL
        FKBM=0.
        FKB2=FKB2+FINCR2
        FLOG2=FLOG2-FISTEP
        SL2=FLOG2/FKB2
        IF(L1.LT.4) GOTO 35
        J1=4
        FINCR1=MAP(I1+J1)
        FKB1=FKB1+FINCR1
        FLOG1=FLOG1-FISTEP
        SL1=FLOG1/FKB1
        GOTO 15
29  FKBM=FKBJ1+(FKB2-FKBJ1)*DFL
        FLOGM=FKBM*SL2
        FLOG2=FLOG2-FISTEP
        FKB2=FKB2+FINCR2
        SL1=FLOG1/FKB1
        SL2=FLOG2/FKB2
15  IF(SL1.LT.SL2) GOTO 20
        FKBJ2=((FLOG2/FISTEP)*FINCR2+FKB2)/((FINCR2/FISTEP)*SL1+1.)
        FKB=FKB1+(FKBJ2-FKB1)*DFL
        FLOG=FKB*SL1
        IF(FKB.GE.FNB) GOTO 60
        FKBM=FKB
        FLOGM=FLOG
        IF(J1.GE.L1) GOTO 50
        J1=J1+1
        FINCR1=MAP(I1+J1)
        FLOG1=FLOG1-FISTEP
        FKB1=FKB1+FINCR1
        SL1=FLOG1/FKB1
        GOTO 15
20  FKBJ1=((FLOG1/FISTEP)*FINCR1+FKB1)/((FINCR1/FISTEP)*SL2+1.)
        FKB=FKBJ1+(FKB2-FKBJ1)*DFL
        FLOG=FKB*SL2
        IF(FKB.GE.FNB) GOTO 60

```

```

        FKBM=FKB
        FLOGM=FLOG
        IF(J2.GE.L2) GOTO 50
        J2=J2+1
        FINCR2=MAP(I2+J2)
        FLOG2=FLOG2-FISTEP
        FKB2=FKB2+FINCR2
        SL2=FLOG2/FKB2
        GOTO 15
35      FINCR1=0.
        SL1=-900000.
        GOTO 20
60     IF(FKB.LT.FKBM+1.E-10) GOTO 50
        TRARA2=FLOGM+(FLOG-FLOGM)*((FNB-FKBM)/(FKB-FKBM))
        TRARA2=AMAX1(TRARA2,0.)
        RETURN
50     TRARA2=0.
        RETURN
        END

```

## 11 – APÊNDICE E – Código fonte do script testeChart.pl

```

#!/usr/bin/perl

use Chart::Lines;

my $line1 = new Chart::Lines(600,400);
my $file1 = "figChart1.png";
#GRÁFICO SERA GERADO NO ARQUIVO figChart1.png

#COR E TÍTULO DO GRAFICO
my @label1=("log Flux");
my %colors=("dataset0"=>[100,100,255],
"dataset1"=>[255,100,100],
"background"=>[255,255,255]
);

#ATRIBUIÇÃO DE REFERÊNCIA AS LINHAS
$line1->set("title"=>"log Flux versus pitch angle", "x_label"=>"Pitch Angle");
$line1->set("y_label"=>"log Flux", "legend"=>"left");
$line1->set("legend_labels"=>\@label1, "colors"=>\%colors);
$line1->set("grey_background"=>0);

#OBTENCAO DOS VALORES ARMAZENADOS NOS ARQUIVOS
#logF.txt ; valoresx.txt

$filer='valoresx.txt';
open(INFO,$filer);
my @xlabels=<INFO>;
close(INFO);
my @Xlabels=('
          90.0  80.0  70.0  60.0  50.0  40.0  30.0  20.0
10.0  0.0');
my $filer='logF.txt';
open(INFO,$filer);
my @dataset1=<INFO>;
close(INFO);

```

```
#DADOS DO GRAFICO
my @data1 = (\@Xlabels,\@dataset1);
```

```
#CRIAÇÃO DO GRAFICO E PERMISSOES DE ARQUIVO
$line1->png($file1,\@data1);
chmod(0777,$file1);
```

## 12 – APÊNDICE F – Código fonte do generatester.f

```
C***** DESCRIPTION OF MODEL DATA FILE FORMAT *****
C*****
C*** THE FILE CONSISTS OF A HEADER ARRAY (IHEAD(8)) AND A MODEL MAP
C*** ARRAY (MAP(...)). ALL ELEMENTS ARE INTEGER.

C***

C*** IHEAD(1) MODEL MAP TYPE (SEE ABOVE)

C*** (2) INCREMENTS PER DECADE OF LOGARITHMIC FLUX
C*** (3) EPOCH OF MODEL

C*** (4) SCALE FACTOR FOR ENERGY; E/MEV=E(MAP)/IHEAD(4)
C*** =6400 (AE-8), =100 (AP-8)

C*** (5) SCALE FACTOR FOR L-VALUE =2100 (AE-8), =2048 (AP-8)
C*** (6) SCALE FACTOR FOR B/B0 =1024 (AE-8), =2048 (AP-8)
C*** (7) SCALE FACTOR FOR LOGARITHM OF FLUXES =1024 (AE,AP-8)
C*** (8) NUMBER OF ELEMENTS IN MAP =13548 (AE8MAX),
C*** =13168 (AE8MIN), =6509 (AP8MAX), =6688 (AP8MIN)
C***

C*** LAYOUT OF MAP:

C*** MAP CONSISTS OF SEVERAL VARIABLE-LENGTH SUB-MAPS, EACH FOR A DIFFERENT
ENERGY.
C*** EACH SUB-MAP CONSISTS OF SEVERAL VARIABLE-LENGTH SUB-SUB-MAPS EACH FOR
A DIFFERENT L-VALUE.
C*** EACH SUB-SUB-MAP CONTAINS THE CURVE LOG(F) [DECADIC LOGARITHM OF
OMNIDIRECTIONAL INTEGRAL PARTICLE FLUX]
C*** VERSUS B/B0 [MAGNETIC FIELD STRENGTH NORMALIZED TO THE EQUATORIAL
VALUE].
C*** THE CURVE IS PARAMETERIZED BY USING EQUAL INCREMENTS IN LOG(F);
C*** THE NUMBER OF INCREMENTS PER DECADE IS LISTED IN THE HEADER ARRAY
[IHEAD(2)]:
C***

C*** I B(I)/B(0) (B(I)-B(I-1))/B(0) LOG(F(I))
C*** -----
C*** 0 1 - Y
C*** 1 B(1)/B(0) (B(1)-B(0))/B(0) Y-1/IHEAD(2)
C*** 2 B(2)/B(0) (B(2)-B(1))/B(0) Y-2/IHEAD(2)
C*** . ....
C***
```

C\*\*\* THE SUB-SUB-MAP CONTAINS THE EQUATORIAL FLUX LOGARITHM Y  
 C\*\*\* AND THE B/B0-INCREMENTS (THIRD COLUMN) MULTIPLIED BY THEIR  
 CORRESPONDING SCALE VALUES ( IHEAD(7) AND (8) ).  
 \*\*\*  
 C\*\*\*

C\*\*\* MAP(1) NUMBER OF ELEMENTS IN SUB-MAP

C\*\*\* MAP(2) ENERGY FOR THIS SUB-MAP; MAP(2)=E/MEV\*IHEAD(4)  
 C\*\*\* MAP(3) NUMBER OF ELEMENTS IN SUB-SUB-MAP

C\*\*\* MAP(4) L-VALUE FOR THIS SUB-SUB-MAP; MAP(4)=L\*IHEAD(5)  
 C\*\*\* MAP(5) LOGARITHM OF FLUX AT EQUATOR; MAP(5)=LOG(F0)\*IHEAD(7)  
 C\*\*\* MAP(6) =(B1-B0)/B0; B1 IS THE MAGNETIC FIELD STRENGTH THAT CORRESPONDS  
 TO LOG(F1)=LOG(F0)-1/IHEAD(2)  
 C\*\*\* MAP(7) =(B2-B1)/B0; LOG(F2)=LOG(F1)-1/IHEAD(2)  
 C\*\*\* ... ..

C\*\*\* MAP(L) LAST ELEMENT IN SUB-SUB-MAP; L=MAP(3)+2  
 C\*\*\* MAP(I) NUMBER OF ELEMENTS IN NEXT SUB-SUB-MAP; I=L+1  
 C\*\*\* ... ..  
 C\*\*\* ... ..  
 C\*\*\* MAP( ) NUMBER OF ELEMENTS IN LAST SUB-SUB-MAP  
 C\*\*\* ... ..

C\*\*\* MAP(K) LAST ELEMENT IN SUB-MAP; K=MAP(1)  
 C\*\*\* MAP(J) NUMBER OF ELEMENTS IN NEXT SUB-MAP; J=MAP(1)+1  
 C\*\*\* ... ..  
 C\*\*\* ... ..  
 C\*\*\* ... ..  
 C\*\*\* MAP( ) NUMBER OF ELEMENTS IN LAST SUB-MAP  
 C\*\*\* ... ..  
 C\*\*\* ... ..

C\*\*\* MAP(M) LAST ELEMENT OF MAP; M=IHEAD(8)  
 C\*\*\*\*\*

C\*\* ENERGY/MEV GRID  
 C\*\* AE-8: 0.04 0.1 0.25 0.5 0.75 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0  
 C\*\* 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 (18 GRID P)  
 C\*\* AE-5,6: 0.04 0.1 0.25 0.5 0.75 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0  
 C\*\* 4.0 4.5 (12 GRID POINTS)  
 C\*\* AE-4: 0.04 0.1 0.3 0.5 1.0 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0  
 C\*\* 4.1 4.25 4.35 4.5 4.65 4.85 (16 GRID POINTS)  
 C\*\*

C\*\* L-VALUE GRID  
 C\*\* BEGIN STEP END STEP END STEP END STEP END  
 C\*\* AE-8: 1.2 0.05 1.5 0.1 2.0 0.2 2.4 0.1 3.0  
 C\*\* 3.0 0.2 3.4 0.1 3.6 0.2 4.4 0.1 4.6  
 C\*\* 4.6 0.2 5.0 0.5\* 8.0 1.0 12.0 (43 GRID P.)  
 C\*\* \* 6.6 INSTEAD OF 6.5  
 C\*\* AE-5,6: 1.2 0.05 1.5 0.1 2.0 0.2 2.8 (15 GRID P.)  
 C\*\* AE-4: 2.8 0.2 4.0 0.5 6.0 0.6 6.6 0.4 7.0  
 C\*\* 7.0 1.0 11.0 (16 GRID POINTS)  
 C\*\*\*\*\*

PROGRAM GenerateSter

INTEGER iHEAD(8), MAPinp(20000), Ne, NI, MAPout(20000)  
 COMMON /APEMOD/ iHEAD,MAPinp

```

REAL*4 E, LFE, L, IFb, IdIF, Bout(100),lgFout(100),Fout(100)
REAL*4 MAXinp, MINinp, MAXout, MINout
DATA MAXinp/-1e20/,MINinp/1e20/,MAXout/-1e20/,MINout/1e20/
REAL*8 Bcrv(100), IFcrv(100), Glob_To_Uni_BBo
REAL*8 X,F,FCT,XLI,XRI,EPS,BBo
COMMON/GlobUnit/Bcrv,IFcrv,XRI,IdIF,Lcrv,Nst,E,L
DATA Nst/1000000/
COMMON/ITTER/FLUXo
EXTERNAL FCT
WRITE(*,
&"(' Convert global fluxes to directed perpendicular',
' ' to a magnetic field line.')"

```

```

OPEN(1,file='ap8min.asc')
*****
C*** IHEAD(1) MODEL MAP TYPE (SEE ABOVE) ***
C*** (2) INCREMENTS PER DECADE OF LOGARITHMIC FLUX ***
C*** (3) EPOCH OF MODEL ***
C*** (4) SCALE FACTOR FOR ENERGY; E/MEV=E(MAP)/IHEAD(4) ***
C*** =6400 (AE-8), =100 (AP-8) ***
C*** (5) SCALE FACTOR FOR L-VALUE =2100 (AE-8), =2048 (AP-8) ***
C*** (6) SCALE FACTOR FOR B/B0 =1024 (AE-8), =2048 (AP-8) ***
C*** (7) SCALE FACTOR FOR LOGARITHM OF FLUXES =1024 (AE,AP-8) ***
C*** (8) NUMBER OF ELEMENTS IN MAP =13548 (AE8MAX), ***
C*** =13168 (AE8MIN), =6509 (AP8MAX), =6688 (AP8MIN) ***
*****

```

```

READ(1,*)IHEAD(1),IHEAD(2),IHEAD(3),IHEAD(4),
& IHEAD(5),IHEAD(6),IHEAD(7),IHEAD(8)
WRITE (*,"(' HEADER:', 8i9)")IHEAD(1),IHEAD(2),IHEAD(3),IHEAD(4),
& IHEAD(5),IHEAD(6),IHEAD(7),IHEAD(8)

read(*,"()")
MMT=IHEAD(1) ! MODEL MAP TYPE
IdIF=IHEAD(2) ! INCREMENTS PER DECADE OF LOGARITHMIC FLUX
Se=IHEAD(4) ! SCALE FACTOR FOR ENERGY
SI=IHEAD(5) ! SCALE FACTOR FOR L-VALUE
Sb=IHEAD(6) ! SCALE FACTOR FOR B/B0
Sf=IHEAD(7) ! SCALE FACTOR FOR LOGARITHM OF FLUXES
Nmap=IHEAD(8) ! NUMBER OF ELEMENTS IN MAP
READ(1,1301) (MAPinp(I),I=1,Nmap)
1301 FORMAT(1X,12I6)
CLOSE(1)
read(*,"()")

i=0

DO 10 WHILE ( i .le. Nmap )

i=i+1

Ne=MAPinp(i) ! Element 1 of SUB-MAP i.e length of the SUB-MAP for the energy
MAP(2)

MAPout(i)=MAPinp(i)

```

```

i=i+1
E=MAPinp(i)      ! element 2      of SUB-MAP
MAPout(i)=MAPinp(i)

E=E/Se          ! energy, MeV

                ! Ep=Ep/f;
WRITE(*,"(' SUB-MAP for E',f8.3,' length=',I6)")E,Ne
c read(*,"()")
Jsm=i+Ne-2      ! The last element of the SUB-MAP

DO 20 WHILE(i.lt.Jsm)

i=i+1
Ni=MAPinp(i) ! element 1      of SUB-SUB-MAP i.e length of the SUB-SUB-MAP

MAPout(i)=MAPinp(i)

i=i+1
L=MAPinp(i) ! element 2      of SUB-SUB-MAP: L-shell
MAPout(i)=MAPinp(i)

L=L/SI ! L-shell

WRITE(*,"(' SUB-SUB-MAP for L',f8.4,' length=',I3,$)")L,Ni
i=i+1
LFE=MAPinp(i) ! element 3 of SUB-SUB-MAP: lg(Equatorial flux)
Ic=i
C MAPout(i)=MAPinp(i)

LFE=LFE/Sf ! lg(Equatorial flux)
WRITE(*,"(' lg(Equatorial flux)=' ,1pe8.2)")LFE

I1=i+1 ! The first element of the curve
i=i+Ni-3 ! The last element of the curve=the last one of the SUB-SUB-MAP
I2=i ! The last element of the curve=the last one of the SUB-SUB-MAP

C DO J=I1,I2
C MAPout(J)=MAPinp(J)
C END DO

Lcrv=I2-I1+2 ! Length of the curve, including element with B/Bo
BBo=1.0 ! Equatorial Bo, corresponding to LFE
Bcrv(1)=BBo ! array with B/Bo
IFcrv(1)=LFE ! array with lg(Flux)

DO 50 Ib=I1,I2
ic=Ib-I1+2 ! index for arrays Bocrv and IFcrv
dBBo=MAPinp(Ib)
dBBo=dBBo/Sb
BBo=BBo+dBBo
IFb=LFE-float(ic-1)/IdIF
Bcrv(ic)=BBo
IFcrv(ic)=IFb
50 CONTINUE
MAXinp=MAX(MAXinp,IFcrv(1))

```

```

MINinp=MIN(MINinp,IFcrv(Lcrv))

DO 60 ic=1, Lcrv
60 WRITE(*,"(i3,f9.3,f8.4,f8.3, f7.3, 1pe8.1)")
& ic,E, L, Bcrv(ic),IFcrv(ic),10**IFcrv(ic)
c read(*,"()")

IF(Nl.gt.3)THEN
BBo=Bcrv(1) !
Fo=Glob_To_Uni_BBo(BBo) ! Perpendicular flux at the top of the field line
Fout(1)= Fo
lgFout(1)=aLog10(Fo)
MAPout(Io)=lgFout(1)*Sf

WRITE(*,"(' NEW ARRAY)")
write(*,*)' 1 ',Fout(1)
DO J=2, Lcrv
lgFout(J)= lgFout(J-1)-1./ldIF ! Creates a new array of lg(FLUX_perpendicular)
Fout(J)=10**lgFout(J) ! Creates a new array of
FLUX_perpendicular
write(*,*)J,Fout(J)
END DO

MAXout=MAX(MAXout,lgFout(1))
MINout=MIN(MINout,lgFout(Lcrv))

Bout(1)=Bcrv(1)
DO J=2, Lcrv
FLUXo=Fout(J)
XLI=Bcrv(1)
XRI=Bcrv(Lcrv)+20.*(Bcrv(Lcrv)-Bcrv(Lcrv-1))
EPS=(Bcrv(J)-Bcrv(J-1))/100.0
IEND=100
5 CALL dRTMI(X,F,FCT,XLI,XRI,EPS,IEND,IER)

IF(IER.eq.2)THEN
XRI=1.01*XRI
& WRITE(*,"(' IER=',I2,' Right boundary is advanced.',f11.6)")
IER, XRI
GOTO 5
ENDIF

IF(IER.eq.1)THEN
FF=F/FLUXo
IF(FF .gt. 0.01)read(*,"()")
END IF

Bout(J)=X
& WRITE(*,"(' IER=',I1,' X=',f11.6,' F=',2(1pe11.3))")
IER, X, F,FLUXo

END DO

WRITE(*,"(' OUTPUT:')")
JJ=1

```

```

WRITE(*,*) Io,Bcrv(JJ),Bout(JJ),Fout(JJ)
DO J=I1,I2
JJ=J-I1+2
WRITE(*,*) J,Bcrv(JJ),Bout(JJ),Fout(JJ)
MAPout(J)=(Bout(JJ)-Bout(JJ-1))*Sb
END DO
c      read(*,"()")
ENDIF

20      CONTINUE      ! WHILE inside a SUB-MAP

Cc      read(*,"()")

10      CONTINUE      ! WHILE inside the MAP
write(*,"(' INP:',2f8.3,' OUT:',2f8.3)")
&      MINinp,MAXinp,MINout,MAXout

OPEN(1,file='ap8minDir.asc')
write(1,"(1x,8I6)")(IHEAD(K),K=1,8)
write(1,"(1x,12I6)")(MAPout(K),K=1,Nmap)
CLOSE(1)

write(*,"(' PRONTO!)")

read(*,"()")
read(*,"()")

END

*-----
REAL*8 FUNCTION FCT(BBo)
COMMON /TTTER/FLUXo
REAL*8 Glob_To_Uni_BBo,S, BBo
c      WRITE(*,"(' FCT)")
S=Glob_To_Uni_BBo(BBo)
FCT=S-FLUXo
RETURN
END

*-----
* Calculation of angle distribution from APE.8 model using
* equation (4.13) from J.G.Roederer, p.116
*
*
*
*
* 
$$J_{perp}(B_p) = B_p^{3/2} / (2\pi^2) * \int_{B_p}^{B_e} d(J_{glob}(B)) / dB * dB / (B - B_p)$$

*
* For B/B0 the expression is the same, only to change B for B/B0, Bp for Bp/B0,
* Be for Be/B0, dB for d(B/B0).
*
*
* REAL*8 Function Glob_To_Uni_BBo(BBo) !(Equation (4.13) from J.G.Roederer, p.116)
* Calculates perpendicular flux in thi point B/B0 from a curve from AP8 from SUB-SUB-MAP for a given L

PARAMETER (pi=3.1415)

```



```

REAL*8 Binp(100),lgFinp(100)
REAL*4 IdIF, EEE(1),FFF(1)
REAL*8 lgFl, lgF, lgFr, lgFend,XRI
REAL*8 DXL,BI,Br,B1,B2,dS,S,BBo,GF,SBBo,BBoEND

```

```

COMMON/GlobUnit/
i Binp, ! input array of B/Bo values corresponding to
i lgFinp, ! input array of lg(Flux(B/Bo))
i XRI, !
i IdIF, !=IHEAD(2) INCREMENTS PER DECADE OF LOGARITHMIC FLUX
i Na, ! Length of the array
i N, ! Number of Integration steps
i Ep, ! Proton energy
i fl ! L-shell
COMMON /APEMOD/ iHEAD(8),MAPinp(20000)

```

```

c DO ic=1, Na
c WRITE(*,"(i3,f8.3, f7.3, 1pe8.1)")
c & ic,Binp(ic),lgFinp(ic),10**lgFinp(ic)
c END DO
c read(*,"()")

```

```

*** _____ Calculates a flux at the top of the field line _____

```

```

c DO I=1,N
c UniFlux(I)=0
c UniBBo(I)=0
c END DO
lgFend=lgFinp(Na)-2.
BBoEND=Binp(Na)+50.*(Binp(Na)-Binp(Na-1))
DXL=( dLog10(Binp(Na)/Binp(1))/(float(1000)) )
DXL=10**DXL
c write(*,"(I8,I3,2f8.3,' DXL=',f17.15)")N,Na,Binp(1),Binp(Na),DXL
c read(*,"()")

```

```

DO I=1,Na ! Choose the initial interval
IF(BBo.le. Binp(I)) GOTO 5
END DO
c write(*,*)I
I=Na
lgFend=lgFinp(Na)-1.+
+ (BBo-Binp(Na))*(lgFinp(Na)-lgFinp(Na-1))/(Binp(Na)-Binp(Na-1))

```

```

5 iB=I-1
c write(*,*) ' Na=', Na, ' I=',I, ' iB=', iB
IF(I .le. 1 )iB=1 ! Left
IF(I .ge. Na)iB=Na-1
BI= Binp(iB)
lgFl=lgFinp(iB)

iB=iB+1 ! Right
Br= Binp(iB)
lgFr=lgFinp(iB)
c write(*,*) BI=',BI,', Br=',Br'
c read(*,"()")

lgF=lgFl+(BBo-BI)*(lgFr-lgFl)/(Br-BI)

```

```

GF=10**lgF

S=0.0
B1=BBo
R1=GF/BBo

c WRITE(*,"(' B:',3f15.12)") B1,B1,Br
c WRITE(*,"(' F:',4f8.3,2(1pe8.1))")lgFl,lgF,lgFr,lgFend,GF,R1
c read(*,"()")

DO 10 I=1,N
B2=B1*DXL
! _____ 10 _____ 20 _____ 30 _____ 40 _____ 50 _____ 60 _____ 70 _____
c WRITE(*,"(I6,3f14.8,3f8.5,1pe11.3,$)")I,B1,B2,Br,lgFl,lgF,lgFr,GF
c read(*,"()")
1 IF(B2.le.Br) GOTO 3 ! if Bleft<B2<=Bright, then linear interpolation
IF(iB.lt.Na) THEN ! The next interval of Binp()
BI=Br
lgFl=lgFr
iB=iB+1
Br=Binp(iB)
lgFr=lgFinp(iB)
c write(*,"(' Next interval:',2I3, 2f13.6,2f6.2,I10)")
c & iB,Na,BI,Br, lgFl,lgFr,I
c read(*,"()")
GOTO 1
END IF ! if NO, then linear extrapolation

3 lgF=lgFl+(B2-BI)*(lgFr-lgFl)/(Br-BI) ! Linear interpolation/extrapolation
EEE(1)=Ep
BBB=B2
CALL TRARA1(iHEAD, MAPinp, fl,BBB,EEE,FFF,1)
lgF=FFF(1)
c WRITE(*,"(' E=',f6.2,' L=',f5.3,' B=',f10.6,' lgF:', 2f10.5)")
c & Ep,fl,BBB,lgF,FFF(1)
c RF=abs(lgF-FFF(1))/lgF
c if(RF. ge. 0.3) read(*,"()")

GF=10**lgF
R2=GF/B2
dS=(R1-R2)/SQRT(B2-BBo)
S=S+dS
Cc write(*,"(' S',2(1PE13.5))")dS,S
c UniFlux(I)=S
c UniBBo(I)=B2

c IF(lgF. le. lgFend) GOTO 2
IF(B2. ge. BBoEND) GOTO 2
B1=B2
R1=R2
Cc read(*,"()")
10 CONTINUE
write(*,*)' Array size was exceeded'
c read(*,"()")
2 SBB0=S*BBo**1.5/(2.0*pi**2)
C write(*,

```

```

C      &"(I7,' steps were performed, S='E12.6,', lgF='f4.1,' B2='f9.3)"
C      &) I          ,S,          lgF,    B2

c      IF(lgF .gt. lgFinp(Na)) THEN
c      write(*,*) ' lgF>lgFinp(Na)', lgF,lgFinp(Na)
c      read(*,"()")
c      ENDIF

      Glob_To_Uni_BBo=SBBo
      RETURN
      END

C      .....
C      .....
C
SUBROUTINE dRTMI(X,F,FCT,XLI,XRI,EPS,IEND,IER)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C
C  PREPARE ITERATION
IER=0
XL=XLI
XR=XRI
X=XL
TOL=X
F=FCT(TOL)
IF(F)1,16,1
1 FL=F
X=XR
TOL=X
F=FCT(TOL)
IF(F)2,16,2
2 FR=F
IF(SIGN(1.,FL)+SIGN(1.,FR))25,3,25
C
C  BASIC ASSUMPTION FL*FR LESS THAN 0 IS SATISFIED.
C  GENERATE TOLERANCE FOR FUNCTION VALUES.
3 I=0
TOLF=100.*EPS
C
C
C  START ITERATION LOOP
4 I=I+1
C
C  START BISECTION LOOP
DO 13 K=1,IEND
X=.5*(XL+XR)
TOL=X
F=FCT(TOL)
IF(F)5,16,5
5 IF(SIGN(1.,F)+SIGN(1.,FR))7,6,7
C
C  INTERCHANGE XL AND XR IN ORDER TO GET THE SAME SIGN IN F AND FR
6 TOL=XL
XL=XR
XR=TOL
TOL=FL

```

```

FL=FR
FR=TOL
7 TOL=F-FL
A=F*TOL
A=A+A
IF(A-FR*(FR-FL))8,9,9
8 IF(I-IEND)17,17,9
9 XR=X
FR=F
C
C TEST ON SATISFACTORY ACCURACY IN BISECTION LOOP
TOL=EPS
A=DABS(XR)
IF(A-1.)11,11,10
10 TOL=TOL*A
11 IF(DABS(XR-XL)-TOL)12,12,13
12 IF(DABS(FR-FL)-TOLF)14,14,13
13 CONTINUE
C END OF BISECTION LOOP
C
C NO CONVERGENCE AFTER IEND ITERATION STEPS FOLLOWED BY IEND
C SUCCESSIVE STEPS OF BISECTION OR STEADILY INCREASING FUNCTION
C VALUES AT RIGHT BOUNDS. ERROR RETURN.
IER=1
14 IF(DABS(FR)-DABS(FL))16,16,15
15 X=XL
F=FL
16 RETURN
C
C COMPUTATION OF ITERATED X-VALUE BY INVERSE PARABOLIC INTERPOLATION
17 A=FR-F
DX=(X-XL)*FL*(1.+F*(A-TOL)/(A*(FR-FL)))/TOL
XM=X
FM=F
X=XL-DX
TOL=X
F=FCT(TOL)
IF(F)18,16,18
C
C TEST ON SATISFACTORY ACCURACY IN ITERATION LOOP
18 TOL=EPS
A=DABS(X)
IF(A-1.)20,20,19
19 TOL=TOL*A
20 IF(DABS(DX)-TOL)21,21,22
21 IF(DABS(F)-TOLF)16,16,22
C
C PREPARATION OF NEXT BISECTION LOOP
22 IF(SIGN(1.,F)+SIGN(1.,FL))24,23,24
23 XR=X
FR=F
GO TO 4
24 XL=X
FL=F
XR=XM
FR=FM

```

```
GO TO 4
C  END OF ITERATION LOOP
C
C
C  ERROR RETURN IN CASE OF WRONG INPUT DATA
25 IER=2
RETURN
END
    include 'trmfun.for'
```



Título

1187

AMBIENTE DE RADIAÇÃO NA MAGNETOSFERA: ORGANIZAÇÃO, VISUALIZAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS DE SATÉLITE EXPERIMENTOS.

Autor

Eduardo Fonsêca Rodrigues.

Vidya Shankaram Jayanthi  
Anatoly Goussier

Tradutor

Não há.

Editor

Origem	Projeto	Série	No. de Páginas	No. de Fotos	No. de Mapas
DMC	Pibic		44	24	0

Tipo

RPQ  PRE  NTC  PRP  MAN  PUD  TAE

Divulgação

Externa  Interna  Reservada  Lista de Distribuição Anexa

Periódico / Evento

Seminário de Iniciação Científica do INPE - SICINPE 2003

Convênio

Autorização Preliminar

\_\_\_/\_\_\_/\_\_\_  
Data

*[Signature]*  
Mello Raul Rugg  
Coordenador Geral da Unidade

Revisão Técnica

Solicitada  Dispensada

Recebida \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Devolvida \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

*[Signature]*  
Leonel Fernando Perondi  
Coordenador Geral  
Engenharia e Tecnologia Especial  
Titular de Nível "A"

Assinatura do Revisor

Revisão de Linguagem

Solicitada  Dispensada

Recebida \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Devolvida \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

*[Signature]*  
Leonel Fernando Perondi  
Coordenador Geral  
Engenharia e Tecnologia Especial  
Titular de Nível "A"

Assinatura do Revisor

Autorização Final

\_\_\_/\_\_\_/\_\_\_  
Data

\_\_\_\_\_  
Titular da Unidade

Palavras Chave

Radiação, Magnetosfera, Satélites Experimentos



# AMBIENTE DE RADIAÇÃO NA MAGNETOSFERA: VISUALIZAÇÃO E

## ANÁLISE DE DADOS DE SATÉLITES EXPERIMENTOS

Eduardo Fonsêca Rodrigues[1] (ITA, Bolsista PIBIC/CNPq)  
Dr. Udaya Bhaskaram Jayanthi[2] (DAS/CEA/INPE)

### RESUMO

Este trabalho, iniciado em abril de 2002, tem como objetivo iniciar a abordagem do tema magnetosfera, analisando os tipos de movimentos realizados pelas partículas localizadas nessa região, a entrada e as perdas de partículas nessa região, bem como a distribuição angular do fluxo de energia de prótons. Para realizar a construção de uma homepage que fosse capaz de mostrar a distribuição angular de prótons, segundo variações de ângulo (“pitch angle”) de 1°(um grau), utilizamos como ferramenta as linguagens de programação FORTRAN e PERL, o módulo Chart para geração de gráficos, além da interação através de CGI com um servidor Apache, onde está hospedada a homepage, e trabalhamos com o sistema operacional Linux para realizar o gerenciamento das aplicações no servidor, como a instalação de módulos apropriados para suportar a utilização de scripts PERL para a criação de gráficos e de arquivos. No início, trabalhamos com servidores SUN station, mas no meio do trabalho, passamos a utilizar servidores Linux/PC. Nessa etapa, algumas modificações foram realizadas para que a nova configuração fosse suportada. Os resultados obtidos foram o aprendizado da linguagem de programação PERL, uma poderosa linguagem de manipulação de textos, como fazer sua interação com CGI, a configuração e utilização do servidor Apache para suportar scripts PERL e para instalar novos módulos, a utilização do módulo Chart para criação de gráficos e como se fazer a interação entre PERL, FORTRAN e o módulo Chart e alguns arquivos textos contendo dados característicos do modelo utilizado. A escolha da utilização do módulo Chart foi realizada através do levantamento através da internet, de que módulo presente na biblioteca PERL, localizada no site [www.cpan.org](http://www.cpan.org), seria mais conveniente para realizar criação de gráficos. Além disso, alguns modelos utilizados para abordagem dos fenômenos que ocorrem na magnetosfera, foram estudados, principalmente os que traram de invariantes adiabáticas, para tentar obter uma aproximação do campo magnético terrestre, numa certa posição no espaço, dentro da magnetosfera. Para dar continuidade a esse projeto de Iniciação Científica, estão programadas as seguintes atividades: aperfeiçoamento da homepage existente com a inclusão de novos tópicos relativos a magnetosfera, como análise dos períodos dos movimentos realizados em relação as linhas de forças de campo magnéticos, como “drift” e de “bounce-back”, acriação de um novo modelo para aproximar o campo magnético da Terra e desenvolvimento de um programa capaz de resolver certos tipos de equações diferenciais parciais que proporcionariam uma melhor interpretação dos fenômenos que ocorrem na magnetosfera.

[1] Aluno do Curso de Engenharia Eletrônica, ITA. E-mail: [fonseca@h8.ita.br](mailto:fonseca@h8.ita.br)

[2] Pesquisador da Divisão de Astrofísica, Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas. E-mail: [jayanthi@das.inpe.br](mailto:jayanthi@das.inpe.br)