

# **INVESTIGAÇÃO DE FENÔMENOS SOLARES ENERGÉTICOS E DESENVOLVIMENTO DE MÉTODOS PARA PREVISÃO DE SUA OCORRÊNCIA**

Mateus Vallim Martins

Relatório Final de Projeto do Programa  
Institucional de Bolsas de Iniciação  
Científica (PIBIC/CNPq), orientado pelo  
Dr. José Roberto Cecatto.

INPE  
São José dos Campos  
2019



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Comitê do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) do CNPq pela bolsa concedida.

E agradeço à DIDAS/CGCEA-INPE por proporcionar as condições para a realização das tarefas e atividades deste projeto de pesquisa.

Agradecimentos também às equipes do Space Weather Prediction Center - National Oceanic and Atmospheric Administration (SWPC-NOAA) e da série de satélites Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) pela geração e disponibilização dos dados do fluxo de raios-X solares.



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 – Exemplo de interface gráfica do MatLab. ....	4
Figura 2.2 - Amostra selecionada das Tabelas contendo os dados de tempo UT e fluxo solar integrado medido em raios-X correspondente, ambos obtidos do banco de dados da SWPC-NOAA. ....	6
Figura 2.3 – Exemplo de gráfico de 3 dias de fluxo. ....	7
Figura 2.4 – Exemplo de lista de eventos disponibilizado pela SWPC-NOAA. ...	9
Figura 3.1 – Diagrama de blocos das ações realizadas pelo software. ....	14
Figura 3.2 – Exemplo de geração de gráfico do software .....	15
Figura 3.3 – Distribuição dos botões pelo software .....	16
Figura 4.1 – Trecho da lista de informações das explosões detectadas. ....	17
Figura 4.2 – Gráfico e análise gerados pelo software FAFRAX. ....	20
Figura 4.3 – Listagem de eventos detectados pela SWPC-NOAA. ....	21
Figura 4.4 – Gráfico de fluxo de raios-X do satélite GOES-15. ....	21



## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 – Fragmento de um arquivo de dados de fluxo integrado do disco solar medido em raios-X na banda (1-8 A) disponibilizados pela SWPC-NOAA.5	
Tabela 2.2 – Definição de faixas de explosões solares em raios-X da banda de 1 – 8 A e seus tipos. ....	8
Tabela 4.1 – Trecho da tabela de fluxo de raios-X por linha de base em 2011.	





## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 Materiais e Metodologia.....	3
2.1 Materiais Usados .....	3
2.1.1 Máquina Utilizada.....	3
2.1.2 Plataforma Computacional .....	3
2.1.3 Base de Dados de Parâmetros de Explosões Solares.....	4
2.1.4 Base de Dados de Explosões Solares para Validação do Software .....	6
2.2 Metodologia .....	9
3 Atividades Desenvolvidas do Projeto.....	11
3.1 Banco de Dados .....	11
3.2 Algoritmo do Software.....	12
3.3 Software Criado .....	12
3.4 Interface Gráfica .....	14
4 Resultados.....	17
4.1 Comparação com a Base de Dados para Validação .....	19
5 Conclusões .....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	24



## 1 INTRODUÇÃO

Fulgurações (“flares”) solares, como esses fenômenos são conhecidos na banda do visível, são designados por explosões solares em outros comprimentos de onda. Trata-se de fenômenos energéticos transientes que correspondem à liberação de grandes quantidades ( $10^{26} - 10^{32} \text{ erg}$ ) de energia, na forma de radiação eletromagnética geralmente com amplo espectro (de ondas de rádio a raios-X e raios gama). Esses fenômenos, com duração de dezenas de segundos a poucas horas, ocorrem em arcos magnéticos existentes na atmosfera solar (alta cromosfera/baixa coroa) designados por regiões ativas, devido a uma grande quantidade de episódios de reconexão magnética que ocorrem abruptamente e quase simultaneamente, como uma avalanche, em alguma região ativa. A intensidade do campo magnético nas regiões ativas varia de centenas a poucos milhares de Gauss. Além disso, também podem ocorrer ejeções de massa coronal (CME) e/ou jatos de partículas energéticas (centenas de keV a centenas de MeV) associados às explosões.

O fato mais importante é que as explosões solares afetam o ambiente terrestre, causando desde influência e perturbações até danos, prejuízos e grandes riscos tanto a sistemas/serviços tecnológicos quanto a seres humanos. Isso porque a radiação eletromagnética emitida da explosão solar atinge a Terra após cerca de 8 minutos de sua ocorrência no Sol.

Como os detectores que monitoram e registram uma explosão solar encontram-se em solo ou órbita da Terra, seus efeitos e influências são notados praticamente ao mesmo tempo com sua detecção. Então, atualmente no caso das explosões não existe tempo hábil para alertas ou ações de prevenção. Sendo assim, a única forma de alertar ou executar ações preventivas é a capacidade de prever, com a devida antecedência, a ocorrência, as características e os efeitos que o fenômeno deve causar no ambiente terrestre.

Devido a tudo o que foi exposto acima, foi criada esta proposta de participação de um aluno de iniciação científica no projeto de desenvolvimento de uma ferramenta computacional para auxiliar na tarefa de previsão da ocorrência de

explosões solares. Como etapa inicial, deve ser desenvolvida uma ferramenta computacional para usar as bases de dados de explosões solares que permitirá um levantamento estatístico, a partir das medidas de fluxo solar realizadas pelo satélite GOES na banda dos raios-X de 1 – 8 Angstrom, da razão entre os valores de pico medidos para as explosões solares registradas e o nível base do fluxo integrado sobre todo o disco solar medido para os respectivos dias.

Neste relatório apresentamos as atividades do projeto desenvolvidas, desde a procura das bases de dados de interesse, consulta dessas bases remotas, captura dos dados dessas bases e criação da base de dados local, criação do algoritmo computacional, criação dos “softwares” necessários até os resultados obtidos. A expectativa é estender o trabalho realizado para todo o período de 2001 a 2019, o que vai auxiliar na tarefa de previsão da ocorrência de explosões solares futuras durante o próximo ciclo de atividade solar. Por esse motivo está sendo solicitada a renovação desta bolsa de iniciação científica.

## **2 MATERIAIS E METODOLOGIA**

### **2.1 Materiais Usados**

#### **2.1.1 Máquina Utilizada**

Para realizar o projeto foi utilizado um notebook Acer modelo Nitro 5 (ou Nitro AN515-51) para desenvolver e executar o programa final. O notebook possui o sistema operacional Windows 10 (64-bit) e o seguinte hardware: processador Intel® Core™ i5-7300HQ CPU @ 2.50GHz, 8Gb de memória RAM DDR4 e NVIDIA® GeForce® GTX1050 com 4GB. Os programas desenvolvidos serão migrados para e executados num Desktop com sistema operacional Linux Ubuntu-Bionic (64-bit) e o seguinte hardware: Intel® Core™ i7-4790 CPU @ 3.60GHz x 8, com 8 Gb de memória RAM.

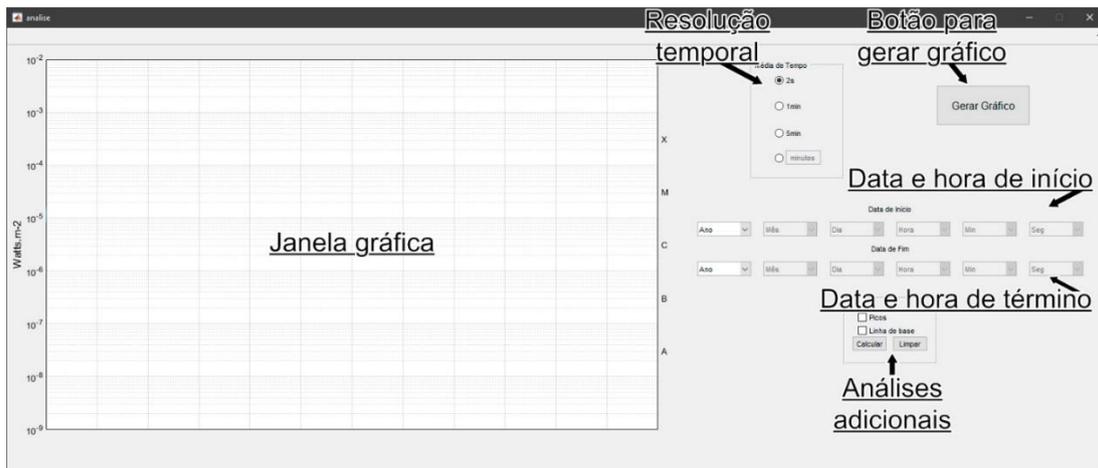
#### **2.1.2 Plataforma Computacional**

A criação do software se baseia na plataforma MatLab, programa com linguagem própria direcionado para análise de dados e cálculo numérico. O MatLab possui um ambiente de fácil uso a fim de apresentar um resultado excelente de forma prática.

Em sua página inicial temos a opção de escrever comandos diretamente, na aba Command Window, para que o programa execute as funções de forma sequenciada. Outra forma de escrita de um software é por meio de um “Script”, com uma relação de funções, na ordem desejada de execução, no qual é possível a partir de uma única ação ordenar a execução dessas funções.

O programa também permite a criação de interfaces gráficas ligadas a funções para que se torne mais intuitivo para qualquer usuário. A Figura 2.1 apresenta um exemplo de interface do MatLab.

Figura 2.1 – Exemplo de interface gráfica do MatLab.



Fonte: produção do autor.

As indicações apresentadas na Figura 2.1 serão descritas no item 3.4 adiante.

A escolha da plataforma MatLab foi feita devido à sua disponibilidade de uso na máquina de trabalho, familiaridade do bolsista com a plataforma e pela facilidade que ela oferece para montar uma interface gráfica, pois contém ferramentas dedicadas a simplificar o procedimento de criação de GUIs (“Graphical User Interfaces”). Essas mesmas ferramentas também utilizam a linguagem do programa para seus cálculos e análises.

### 2.1.3 Base de Dados de Parâmetros de Explosões Solares

O banco de dados do sensor de raios-X que se encontra a bordo dos satélites GOES-14 e GOES-15 está no site da Space Weather Prediction Center (SWPC) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Os dados são disponibilizados online pelo SWPC no formato de arquivo “Comma-Separated Values” (.csv) diariamente em forma de tabelas como mostra o exemplo da Tabela 2.1, com medições estabelecidas aproximadamente a cada 2 segundos e apresentados na coluna B\_FLUX.

Tabela 2.1 – Fragmento de um arquivo de dados de fluxo integrado do disco solar medido em raios-X na banda (1-8 A) disponibilizados pela SWPC-NOAA.

data:						
time_tag	A_QUAL_FLAG	A_COUNT	A_FLUX	B_QUAL_FLAG	B_COUNT	B_FLUX
2011-01-01 00:00:01.703	0	1,78E+08	1,0000E-05	0	1,83E+08	1,8084E-03
2011-01-01 00:00:03.750	0	1,78E+08	1,0000E-05	0	1,82E+08	1,7559E-03
2011-01-01 00:00:05.797	0	1,78E+08	1,0000E-05	0	1,82E+08	1,7822E-03
2011-01-01 00:00:07.847	0	1,78E+08	1,0000E-05	0	1,82E+08	1,7559E-03
2011-01-01 00:00:09.893	0	1,78E+08	1,0000E-05	0	1,82E+08	1,7559E-03
2011-01-01 00:00:11.943	0	1,78E+08	1,0000E-05	0	1,82E+08	1,7559E-03

Fonte: banco de dados online da SWPC-NOAA<sup>1</sup>.

Todas as medições são feitas na unidade Watt por metro quadrado ( $W/m^2$ ) e na banda de  $1,0 \times 10^{-10} m$  até  $8,0 \times 10^{-10} m$ , apresentando as lacunas e erros nos dados na forma do número -99999. Como a quantidade de dados é elevada para o período de interesse (um ciclo solar completo de 11 anos), contendo cerca de 42000 medições diárias, todos os dados úteis (emissão em raios-X e tempo) foram capturados e separados em bancos de dados distintos, um para tempo e outro para fluxo de raios-X, que foram criados numa máquina local, com o objetivo de agilizar o processo de consulta pelo software a ser criado. Uma amostra dos bancos locais criados pode ser vista nas tabelas da Figura 2.2.

Segundo o arquivo de leitura para informações sobre o sensor raios-X dos satélites GOES disponível no site da NOAA<sup>2</sup> a obtenção dos valores reais de fluxo da banda de 1,0 – 8,0 A é feita ao dividir todos os valores por 0,7. Este valor é utilizado para normalizar o fluxo com os dados obtidos pelos sensores dos satélites anteriores ao GOES 8. A base de dados que servirá de validação deste relatório e está retratada na próxima seção não utiliza a normalização dos dados, portanto também não utilizaremos para que a validação do software seja realizada.

---

<sup>1</sup> Disponível em:

[https://satdat.ngdc.noaa.gov/sem/goes/data/full/2011/01/goes15/csv/g15\\_xrs\\_2s\\_20110101\\_20110101.csv](https://satdat.ngdc.noaa.gov/sem/goes/data/full/2011/01/goes15/csv/g15_xrs_2s_20110101_20110101.csv) Acesso em jan. 2019.

<sup>2</sup> Disponível em: [https://ngdc.noaa.gov/stp/satellite/goes/doc/GOES\\_XRS\\_readme.pdf](https://ngdc.noaa.gov/stp/satellite/goes/doc/GOES_XRS_readme.pdf) Acesso em jul. 2019

Figura 2.2 - Amostra selecionada das Tabelas contendo os dados de tempo UT e fluxo solar integrado medido em raios-X correspondente, ambos obtidos do banco de dados da SWPC-NOAA.

	1	2
1	7.345040000197106e+05	
2	7.345040000434028e+05	
3	7.345040000670949e+05	
4	7.345040000908218e+05	
5	7.345040001145023e+05	
6	7.345040001382292e+05	

	1	2	3
1	1.8084e-07		
2	1.7559e-07		
3	1.7822e-07		
4	1.7559e-07		
5	1.7559e-07		
6	1.7559e-07		

Fonte: produção do autor.

As notações de tempo foram alteradas para notações em número com formato de potência de 10 para minimizar o seu tamanho de forma que a linguagem de programação ainda o reconheça como um banco de dados de datas sem perder nenhum tipo de informação, pois o formato de data pode ser recuperado facilmente fazendo a operação inversa. Essa informação de tempo – Ano, Mês, Dia, Hora, Minuto, Segundo e Milésimo de Segundo - é transformada em números de dias, seguindo uma sequência que se inicia às 00:00:00.000 UT do dia 1 de janeiro do ano 0 A.D. – seguindo o processo interno do MatLab no qual existe o ano 0 A.D. e este participa da contagem de dias – quando o valor utilizado é  $1,0E + 00$ . Deve ser ressaltado que o número de dígitos após a vírgula corresponde à representação do respectivo dia de interesse até a casa do milésimo de segundo. Enquanto isso, os dados de fluxo continuam no mesmo formato sendo convertidos para o seu valor real com a multiplicação pelo fator de correção de  $10^{-4}$ .

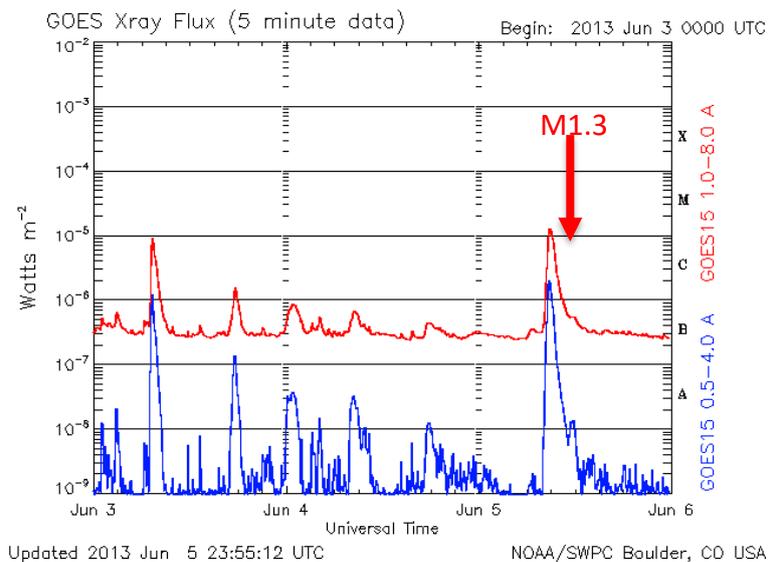
#### 2.1.4 Base de Dados de Explosões Solares para Validação do Software

No mesmo site da SWPC-NOAA existe um banco de dados com gráficos apresentando os últimos 3 dias das medidas do fluxo de raios-X do disco solar

integrado e listas de eventos solares gerados diariamente. A Figura 2.3 mostra um desses gráficos como exemplo. Ela mostra também a escala logarítmica de fluxo à esquerda e as correspondentes classes dos eventos à direita obtidas a partir da banda de 1,0 – 8,0 A (linha vermelha). Por exemplo, a faixa  $10^{-5}$  a  $10^{-4} W/m^2$  corresponde a eventos de classe M. A seta vertical identifica um evento de classe M1.3 na linha em vermelho.

Os dados do gráfico apresentam uma média a cada 5 minutos em duas faixas de comprimentos de onda, 1,0 – 8,0 A e 0,5 – 4,0 A dos mesmos sensores utilizados para a construção das bases de dados comentados anteriormente. Estes dados são apresentados numa imagem do formato “Graphics Interchange Format” (.gif) com um gráfico de escala logarítmica numa faixa de  $10^{-9}$  à  $10^{-2} W/m^2$  conforme a Figura 2.3. Além disso, a classificação é apresentada na Tabela 2.2 abaixo.

Figura 2.3 – Exemplo de gráfico de 3 dias de fluxo.



Fluxo integrado do disco solar medido em raios-X nas bandas (1,0-8,0 A - vermelho e 0,5-4,0 A - azul) disponibilizados pela SWPC-NOAA.

Fonte: Banco de dados online da SWPC-NOAA<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Disponível em:

[ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/warehouse/2013/2013\\_plots/xray/20130605\\_xray.gif](ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/warehouse/2013/2013_plots/xray/20130605_xray.gif) Acesso em jan. 2019.

Tabela 2.2 – Definição de faixas de explosões solares em raios-X da banda de 1 – 8 Å e seus tipos.

Classes de explosões em raio-X	Nível mínimo (W/m <sup>2</sup> )	Nível máximo (W/m <sup>2</sup> )	Tipo de explosões
banda 1-8 Å			
A	1,0x10 <sup>-8</sup>	1,0x10 <sup>-7</sup>	mais fracas
B	1,0x10 <sup>-7</sup>	1,0x10 <sup>-6</sup>	fracas
C	1,0x10 <sup>-6</sup>	1,0x10 <sup>-5</sup>	moderadas
M	1,0x10 <sup>-5</sup>	1,0x10 <sup>-4</sup>	fortes
X	1,0x10 <sup>-4</sup>	1,0x10 <sup>-3</sup>	extremas

Fonte: Produção do autor.

Além desta classificação, existe a variante presente na Figura 2.3 na qual a letra correspondente pela classe é acompanhada por um número, isso indica uma referência a um valor específico equivalente ao número indicado multiplicado pelo valor mínimo da classe, como por exemplo a classificação M5.4 indica o valor  $5,4 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$ .

Um exemplo de lista de eventos solares está dado na Figura 2.4 abaixo. Esse arquivo está disponível em formato de texto apresentando informações de vários tipos de eventos – por exemplo explosões em raios-X, representado pela sigla XRA – tais como o registro do horário UT (início, máximo – pico – e fim), banda de frequências e a região ativa que produziu o evento.

Figura 2.4 – Exemplo de lista de eventos disponibilizado pela SWPC-NOAA.

#	#Event	Begin	Max	End	Obs	Q	Type	Loc/Frq	Particulars	Reg#
	4770	0000	////	0005	LEA	C	RSP	025-180	III/2	1928
	4810	0009	////	0025	LEA	3	EPL	////	0.15	1928
	4810	0017	0027	0032	LEA	3	FLA	S17W61	SF	1928
	4810	0019	////	0019	LEA	C	RSP	025-055	III/1	1928
	4820	0043	0045	0107	LEA	3	FLA	S17W61	SF ERU	1928
	4830	0109	0114	0116	LEA	3	FLA	S17W60	SF	1928
	4830	0110	0114	0119	G15	5	XRA	1-8A	C2.7 1.0E-03	1928
	4830	0113	////	0142	LEA	C	RSP	025-180	VI/1	1928

Este trecho representa especificamente o dia 23 de dezembro de 2013.

Fonte: Banco de dados da SWPC-NOAA<sup>4</sup>.

## 2.2 Metodologia

Para atender à necessidade apresentada no projeto científico, devido ao grande volume dos dados, disponíveis apenas remotamente, e a facilidade oferecida, o meio encontrado foi a criação de um software para realizar as atividades de suporte prévias ao levantamento estatístico dos dados científicos de explosões solares. Uma base para o software foi estabelecida por meio da criação de dois bancos de dados – um para tempo e outro para fluxo de raios-X – nos quais foram reunidas todas as informações necessárias obtidas a partir do site SWPC-NOAA. Um software inicial faz uma busca dos dados para cada ano desejado e armazena-os no banco de dados local para uso do software criado para realizar a análise destas informações.

<sup>4</sup> Disponível em: [ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/warehouse/2013/2013\\_events.tar.gz](ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/warehouse/2013/2013_events.tar.gz) Acesso em jan. 2019.

Por fim, foi estabelecido um algoritmo que serviu de base para a criação do software que realiza as tarefas e permite a análise do período. Este software é descrito na próxima seção. Após o processamento dos dados, um segundo algoritmo é utilizado no mesmo software para fazer a análise gerando dois arquivos: um com uma lista de todas as explosões solares com suas características e outro com a relação de quantidade de explosões para um período.

### **3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DO PROJETO**

#### **3.1 Banco de Dados**

A primeira etapa do projeto foi encontrar dados para dar início ao procedimento estabelecido pelo projeto de análise dos dados do fluxo de raios-X emitidos pela atividade solar. Para isso foi pesquisado e consultado o banco de dados online da SWPC-NOAA que gerencia os satélites GOES-14 e GOES-15 que fazem medidas com sensores na banda de raios-X requerida de 1,0 – 8,0 Å.

Por conta da quantidade de dados a serem adquiridos ser muito grande (cerca de ~1GB de dados anuais), um primeiro software, feito na linguagem de MatLab, foi desenvolvido somente para capturar os dados e armazená-los na máquina local para que possa ser feita uma busca mais rápida pelo software a ser criado. Esse armazenamento foi feito por meio de dois bancos de dados criados na máquina local.

Como a leitura destas informações é feita pelo MatLab e a quantidade de dados é muito grande, para que o software consiga fazer a leitura a cada vez que a busca é solicitada, os bancos de dados foram armazenados num formato de arquivo adequado para o MatLab, somente com as informações a serem utilizadas, de forma a agilizar todo o seu processo de leitura. O formato de arquivo utilizado foi o .mat (próprio da linguagem do MatLab), que é carregado mais rapidamente pelo MatLab ao invés do formato Comma-Separated Values (.csv) utilizado para armazenar os dados da SWPC-NOAA. A segunda medida tomada para agilizar este processo é a de iniciar o banco de dados criado toda vez que o software é executado utilizando uma função do MatLab de criar uma variável em formato de tabela. Com o intuito de agilizar o procedimento de leitura, os dados foram manipulados para que o MatLab consiga utilizá-los em sua própria linguagem. Desta maneira, os dados estão sempre de fácil acesso e não necessitam que o software precise entrar em contato com o sistema operacional toda vez que fizer uma busca de dados.

Os dados do fluxo de raios-X também foram editados para que o gráfico futuramente gerado não mostre nenhum dos números característicos de erro do sensor que se apresentam como -99999. Estes números foram trocados pelo

termo “NaN” (Not A Number) para que o MatLab consiga identificá-lo mais facilmente como uma medida inválida.

### **3.2 Algoritmo do Software**

Para a finalidade do projeto, foi criado um algoritmo pensando em como o usuário pode fazer uma análise do período desejado. Para conseguir este resultado, primeiro é necessário que o software seja preparado para receber como os dados são apresentados, tanto em termos de tempo como de fluxo de raios-X. Partindo desta definição, é necessário também que ocorra a escolha do período de tempo desejado pelo usuário. A data inicial e final também são convertidas em números para que o software possa localizar todos os dados a serem utilizados e apresentá-los em forma de um gráfico com o eixo y na escala logarítmica para que seja possível fazer a identificação da classe de cada “flare” como já mencionado na Figura 2.3.

Após a geração do gráfico, o algoritmo identifica a linha de base do fluxo e os picos dos eventos registrados para o dia de interesse, os quais vão permitir o acesso aos dados para a análise.

Com os dados das explosões agrupadas, o programa analisa e separa por faixa de fluxo e monta uma tabela com a quantidade de explosões detectadas naquele período por fluxo da linha de base. Assim é possível monitorar a quantidade de explosões por tempo também.

### **3.3 Software Criado**

Para implementar o algoritmo, foi desenvolvido o software principal, designado por FAFRAX (Ferramenta de Análise do Fluxo RAios-X solar). Ele é constituído por 5 principais ações que direcionam funções ao software com base em seu banco de dados local. Estas ações são utilizadas em sequência para obter o gráfico para análise. As primeiras ações a serem realizadas no software são a de escolha de duas datas, inicial e final para estabelecer o período de interesse, e escolha da resolução dos dados a serem analisados (é possível escolher a totalidade de dados utilizando a opção de máxima resolução ou então escolher a resolução desejada para que o software faça uma média aritmética dos dados para o gráfico final). Estas datas são analisadas e a faixa de tempo determinada

por elas é buscada nos bancos de dados de tempo e de fluxo de radiação quando o botão “Gerar gráfico” é acionado. Assim o software cria um gráfico com base na resolução escolhida.

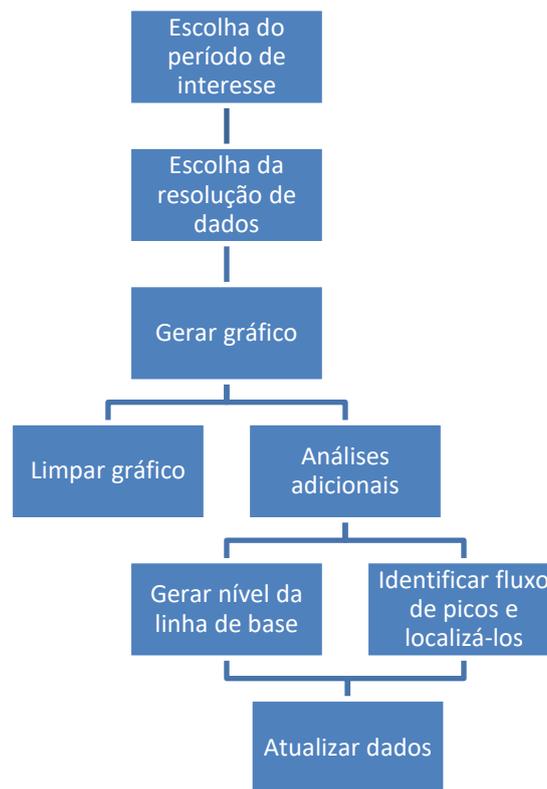
Outra tarefa do software é a de análise básica do gráfico produzido, gerando uma linha de base para o dia de interesse, para servir de nível de fluxo de referência. O cálculo da linha de base é feito com a média dos 25% menores valores registrados num período de 8 (oito) horas: 00:00 até 07:59, 08:00 até 15:59 e 16:00 até 23:59. Para que o cálculo seja feito mesmo se a escolha do horário inicial e final não coincidirem com os trechos citados anteriormente, é agregada mais 8 (oito) horas de dados antes e após o período selecionado. Também é calculado e apresentado uma margem de tolerância obtida a partir do desvio padrão de todos os pontos no mesmo trecho de 8 (oito) horas, estabelecendo uma margem de  $3\sigma$ , o que corresponde a um nível de confiança de 99,73%. Essa margem é usada como patamar mínimo de intensidade acima do qual um pico será considerado como evento a ser contabilizado na estatística.

Também são identificados os picos (máximos) de fluxo dos eventos registrados no período de interesse, os quais vão permitir a identificação da classe de cada um dos eventos para que possa ser feita uma melhor análise dos dados apresentados de acordo com o propósito do usuário. Esses picos são comparados com os registros de eventos diários do SWPC-NOAA para conferência e validação. Estas ações podem ser feitas em conjunto ou separadas.

A identificação e localização de picos é feita com base no cálculo da derivada durante o período selecionado na resolução de 1 (um) minuto para que não haja interferência de ruídos causados pelo próprio sensor. A detecção de um pico ocorre quando o valor da derivada passa de positivo para negativo, então, no trecho entre os dois pontos de derivadas, é indicado como o pico ou maior valor detectado. É considerada uma explosão caso exista um crescimento do fluxo por pelo menos 5 (cinco) minutos seguidos desde que o fluxo do pico esteja acima do nível de tolerância selecionado (linha de base mais  $3\sigma$ ). A Figura 3.1 mostra um diagrama das tarefas do software.

A qualquer momento o usuário também pode limpar o gráfico para que possa ser feita a análise de outro intervalo de tempo. Há também a opção de limpar somente as análises adicionais, para que possa voltar a apresentação do gráfico somente com os dados básicos em apresentação.

Figura 3.1 – Diagrama de blocos das ações realizadas pelo software.



Fonte: Produção do autor.

Para executar o software e fazer a análise de 1 mês a máquina utilizada realizou o tempo de 4 minutos e 20 segundos para terminar todo o processo, sendo utilizado como referência o mês de dezembro de 2014.

### 3.4 Interface Gráfica

As opções que a interface do software oferece ao usuário já foram mostradas na Figura 2.1.

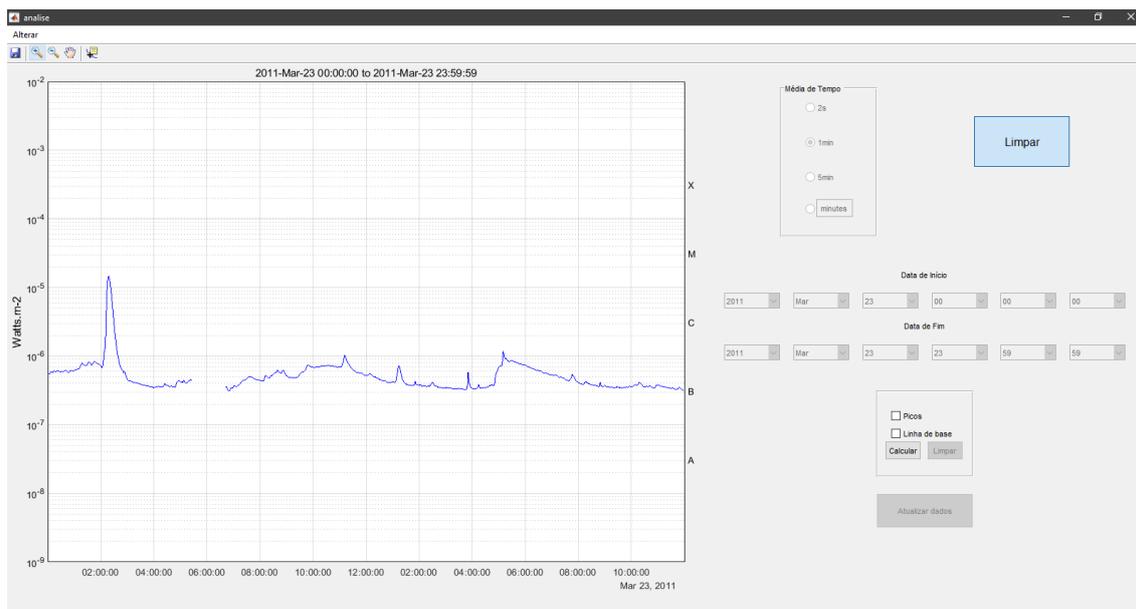
Abaixo, na Figura 3.2 mostramos um exemplo de uso do software para dados do período escolhido de 00:00:00 UT de 23 de março de 2011 a 23:59:59 UT do mesmo dia.

Após a escolha do período de interesse, é escolhida a resolução dos dados, as opções são: resolução máxima, 1 min, 5 min e escolha do usuário. Após toda a preparação com os dados e parâmetros de entrada, o usuário tem a opção “Gerar gráfico” para que este possa visualizar o resultado e iniciar a análise.

Também podemos ver mais duas opções para análises adicionais no gráfico gerado da Figura 3.3: (1) calcular e mostrar a linha de base (apresentada em vermelho com a margem de tolerância em vermelho e traçado) e/ou (2) identificar os picos de fluxo dos eventos no período escolhido (apresentados em pontos com o símbolo “∇” em magenta).

Após feita a análise é possível executar a opção “Atualizar dados” que identifica a existência de um banco de dados e o atualiza com as novas análises caso já exista ou cria um arquivo.

Figura 3.2 – Exemplo de geração de gráfico do software



O gráfico gerado é respectivo ao dia 23 de março de 2011 e está com a resolução de 1 minuto.

Fonte: Produção do autor.

Figura 3.3 – Distribuição dos botões pelo software

The image shows a software interface with the following elements:

- Média de Tempo:** A group box containing four radio buttons: "2s", "1min" (selected), "5min", and "minutes".
- Limpar:** A large blue button located to the right of the "Média de Tempo" group.
- Data de Início:** A row of six dropdown menus showing "2011", "Mar", "23", "00", "00", and "00".
- Data de Fim:** A row of six dropdown menus showing "2011", "Mar", "23", "23", "59", and "59".
- Additional Analysis Options:** A group box containing two checkboxes: "Picos" and "Linha de base", both unchecked. Below them are two buttons: "Calcular" and "Limpar".
- Atualizar dados:** A grey button located at the bottom center of the interface.

Fonte: Produção do autor.

É possível ainda limpar o gráfico para a geração de outro com um intervalo de tempo diferente com o próprio botão de Gerar gráfico ou então limpar somente as análises adicionais com o botão da caixa de análises adicionais.

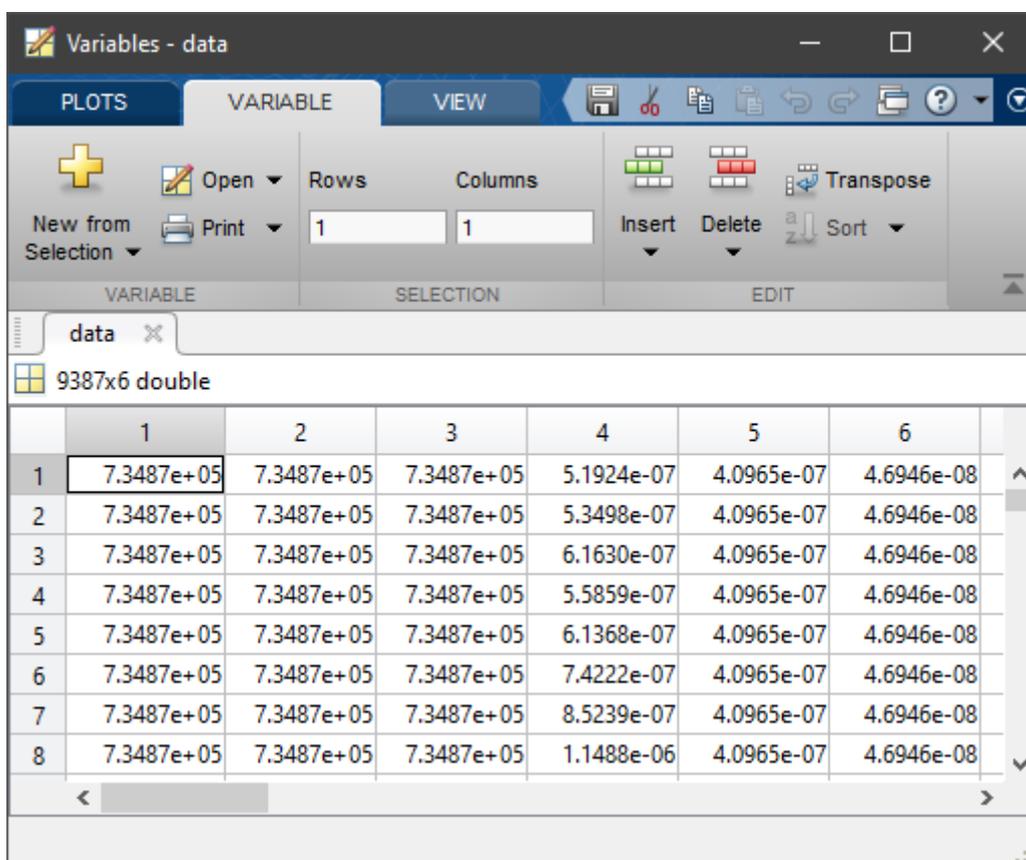
Na próxima seção mostramos os resultados obtidos.

## 4 RESULTADOS

O software permite seleccionar um período de dados para a determinação de parâmetros de interesse do usuário gerando uma lista com os resultados.

A lista foi montada com 6 (seis) dados de cada explosão detectada, estas estão apresentadas na Figura 4.1 na respectiva ordem por: horário de início da explosão; horário de pico da explosão; horário de fim da explosão; fluxo de pico da explosão; linha de base no trecho de 8 (oito) horas correspondente ao horário de pico; e margem de tolerância do respectivo trecho.

Figura 4.1 – Trecho da lista de informações das explosões detectadas.



The screenshot shows a software window titled 'Variables - data' with a menu bar (PLOTS, VARIABLE, VIEW) and a toolbar. Below the toolbar, there are options for 'New from Selection', 'Open', 'Print', 'Rows' (set to 1), 'Columns' (set to 1), 'Insert', 'Delete', and 'Sort'. The main area displays a data table with 8 rows and 6 columns. The first column is labeled '1' and the other five columns are labeled '2' through '6'. The data values are in scientific notation.

	1	2	3	4	5	6
1	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	5.1924e-07	4.0965e-07	4.6946e-08
2	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	5.3498e-07	4.0965e-07	4.6946e-08
3	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	6.1630e-07	4.0965e-07	4.6946e-08
4	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	5.5859e-07	4.0965e-07	4.6946e-08
5	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	6.1368e-07	4.0965e-07	4.6946e-08
6	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	7.4222e-07	4.0965e-07	4.6946e-08
7	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	8.5239e-07	4.0965e-07	4.6946e-08
8	7.3487e+05	7.3487e+05	7.3487e+05	1.1488e-06	4.0965e-07	4.6946e-08

Fonte: Produção do autor.

A tabela é gerada pela soma da quantidade de explosões detectadas de mesma classe para que seja feita uma análise de grandes períodos com relação à quantidade de explosões por cada faixa de linha de base e a análise de explosões pelo tempo decorrido.

Trecho da tabela compacta da relação de quantidade de fluxos da explosão (indicados na parte superior) com suas respectivas linhas de base (indicadas na parte esquerda) do ano de 2011.

Tabela 4.1 – Trecho da tabela de fluxo de raios-X por linha de base em 2011.

	A	B	C	M	X	
A1	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	0	0	0	0
A3	27	1	0	0	0	0
A4	52	13	0	0	0	0
A5	82	43	0	0	0	0
A6	59	77	2	0	0	0
A7	73	124	2	0	0	0
A8	6	134	2	0	0	0
A9	0	105	2	0	0	0
B1	0	1340	35	3	0	0
B2	0	1381	108	3	0	0
B3	0	1110	159	7	0	0
B4	0	1063	344	14	1	1
B5	0	581	345	11	1	1
B6	0	269	330	8	1	1
B7	0	107	244	4	0	0
B8	0	23	239	7	1	1
B9	0	2	266	10	0	0
C1	0	0	400	49	3	3
C2	0	0	39	15	1	1
C3	0	0	4	11	0	0
C4	0	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	0	0
C6	0	0	0	0	0	0
C7	0	0	0	0	0	0
C8	0	0	0	0	0	0
C9	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>299</b>	<b>6373</b>	<b>2521</b>	<b>142</b>	<b>8</b>	<b>9343</b>

Esta tabela mostra apenas as linhas de base entre A1 e C9 porque, no ano de 2011, a menor e maior linhas de base registradas decorrentes de uma explosão detectada foram, respectivamente, A3 e C3.

Fonte: Produção do autor.

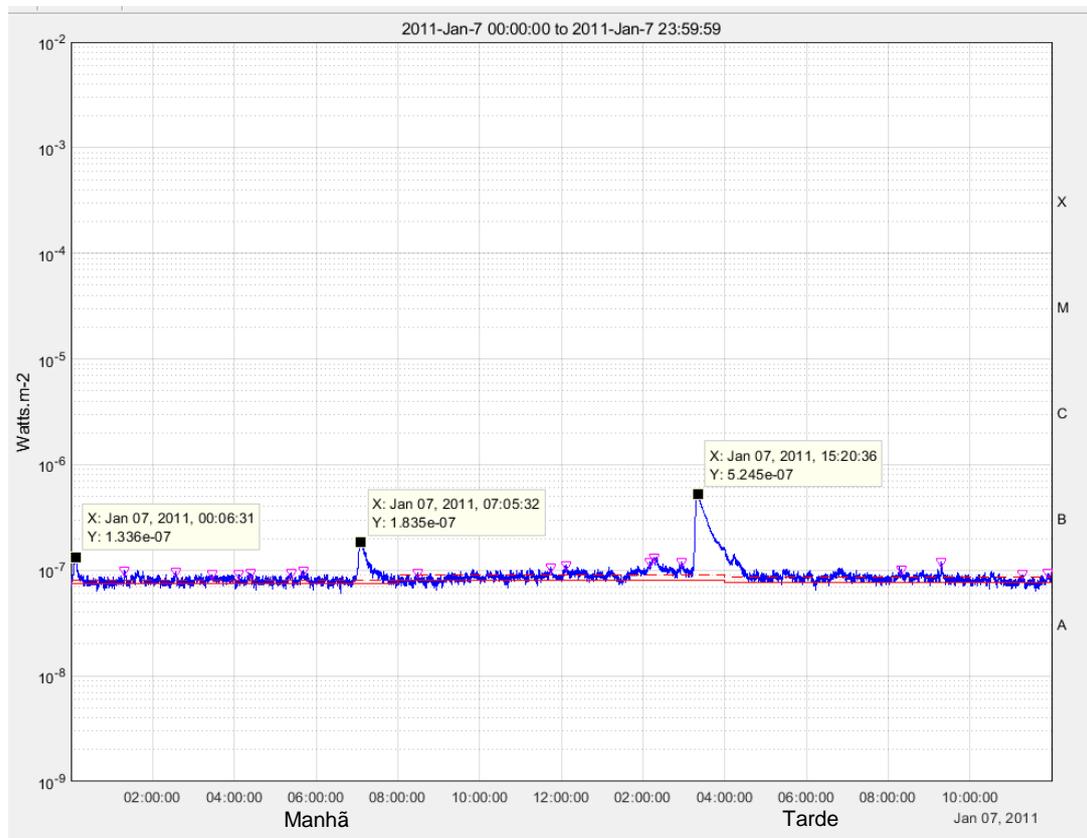
O ciclo solar atual (24) apresentou dois máximos, o primeiro em 2012 e o segundo e maior do ciclo em 2014. Para ilustrar o desenvolvimento realizado e os resultados obtidos até o presente, apresentamos os resultados do ano de 2011, correspondente à fase de subida do ciclo, próximo ao primeiro máximo mencionado. A Tabela 4.1 exibe em relativo detalhe os resultados obtidos. Pode-se observar na tabela que a grande maioria dos eventos ocorre na classe B com quase 6400 eventos registrados, seguido por cerca de 2500 na classe C. Além disso, também foram observados próximo a 300 eventos na classe A – classe

de eventos mais fracos – 142 na classe M e 8 na classe X. Este comportamento de predominância de eventos B e C é característico da atividade e fase do ciclo solar. Também é característico o registro de quantidade bastante significativa de eventos M e alguns eventos X - respectivamente eventos fortes e extremos - pois 2011 encontra-se próximo ao ano do primeiro máximo do ciclo e, conseqüentemente eventos fortes e extremos já são registrados nessa fase. Observe-se também na tabela que existe um deslocamento da linha de base em direção a valores de fluxo mais elevados, inclusive passando à classe seguinte, conforme os eventos vão sendo registrados em classes de intensidade maiores. Contudo, a linha de base não ultrapassou o nível C3 ( $3 \times 10^{-6} W/m^2$ ) nessa fase do ciclo.

#### **4.1 Comparação com a Base de Dados para Validação**

Para a validação dos dados foi escolhido um dia com eventos solares que podem ser facilmente identificados em meio aos ruídos e outras variações do nível de fluxo de raios-X. O dia escolhido foi o de 7 de janeiro de 2011 e analisado pelo software como mostra a Figura 4.2.

Figura 4.2 – Gráfico e análise gerados pelo software FAFRAX.



Fonte: Produzido pelo autor.

Com a análise do trecho é possível verificar a detecção de vários picos, sendo 3 deles mais relevantes que o resto das detecções marcados com quadrados pretos correspondentes aos eventos detectados pela SWPC-NOAA mostrada na Figura 4.3. São eles:

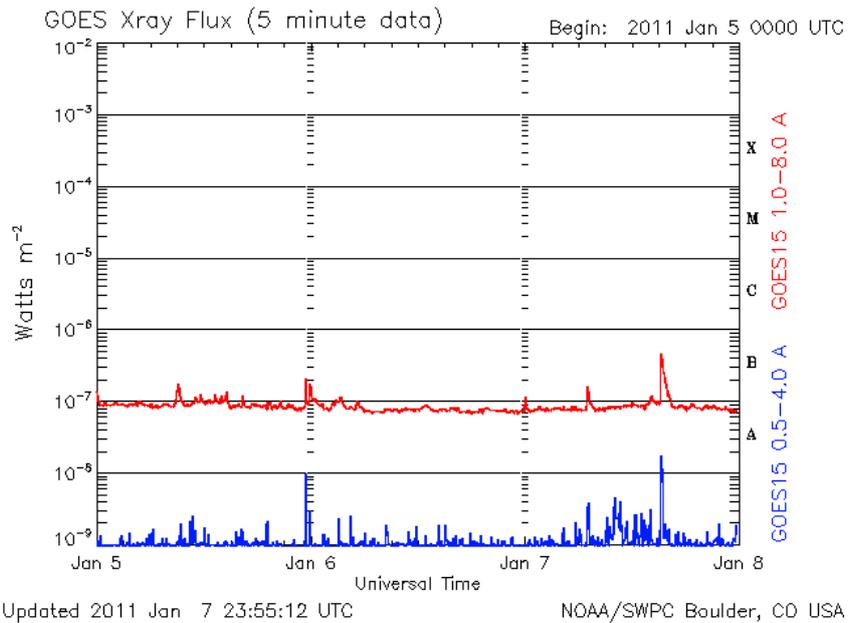
- a) B1.3 às 00:06:31 UT;
- b) B1.8 às 07:05:32 UT;
- c) B5.2 às 15:20:36 UT

Figura 4.3 – Listagem de eventos detectados pela SWPC-NOAA.

Edited Events for 2011 Jan 07									
#	#Event	Begin	Max	End	Obs	Q	Type	Loc/Frq	Particulars
3020	1139	0001	0006	0009	G15	5	XRA	1-8A	B1.2 4.2E-05
3030	1141	0659	0705	0714	G15	5	XRA	1-8A	B1.7 1.2E-04
3040		1512	1520	1534	G15	5	XRA	1-8A	B5.1 4.6E-04

Fonte: Bancos de dados online da SWPC-NOAA<sup>5</sup>.

Figura 4.4 – Gráfico de fluxo de raios-X do satélite GOES-15.



Na figura é possível verificar a detecção das bandas de 0,5-4,0 A (azul) e 1,0-8,0 A (vermelho) dos dias 5, 6 e 7 de janeiro de 2011.

Fonte: Banco de dados online da SWPC-NOAA<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Disponível em: [ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/warehouse/2011/2011\\_events.tar.gz](ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/warehouse/2011/2011_events.tar.gz) Acesso em jul. 2019.

<sup>6</sup> Disponível em: [ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/warehouse/2011/2011\\_plots/2011\\_xray.tar.gz](ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/warehouse/2011/2011_plots/2011_xray.tar.gz) Acesso em jul. 2019.

Desta forma é possível notar que o software detectou mais alguns picos além dos registros divulgados pela SWPC-NOAA. Isso mostra que o software está com uma sensibilidade elevada para o registro de picos, o que necessita de um ajuste. Mas, todos os picos correspondentes aos verdadeiros eventos foram detectados corretamente, o que valida o software.

## **5 CONCLUSÕES**

Foram desenvolvidas as seguintes atividades do plano de trabalho durante o período de bolsa: pesquisa das bases de dados solares de interesse disponíveis em sites específicos da internet, consulta dessas bases, criação da base de dados local com a captura dos dados de interesse do trabalho, criação do algoritmo computacional, criação dos “softwares” necessários para a realização do trabalho, testes, ajustes e validação dos “softwares” criados, apresentação dos resultados obtidos e preparação dos relatórios. Os resultados obtidos até o presente mostram o funcionamento adequado dos “softwares” criados. Em adição, a aplicação dos “softwares” para o ano de 2011 permitiu a obtenção da quantidade de eventos e valores medidos das respectivas linhas de base. A quantidade de eventos registrados para cada classe de intensidade mostrou-se compatível com a fase do ciclo de atividade do ano escolhido. Também, mostrou-se que a linha de base apresentou um deslocamento em direção a valores maiores acompanhando o aumento da intensidade de pico dos eventos registrados. Desta maneira, os “softwares” criados mostraram-se adequados e muito úteis. Esses resultados serão extremamente importantes pois deverão auxiliar na tarefa de previsão da ocorrência de explosões solares, contribuindo para minimizar os efeitos dessas explosões nos sistemas e serviços tecnológicos que servem aos seres humanos. Finalmente, o trabalho desenvolvido e os resultados obtidos são plenamente favoráveis à continuidade e extensão do trabalho, para o período de 2001 a 2019, a ser realizado durante a renovação da bolsa que está sendo solicitada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HUNT, B. R.; LIPSMAN, R. L.; ROSENBERG, J. M. **A guide to matlab: for beginners and experienced users**. [S. l.]: Cambridge University Press, 2001.

SPACE WEATHER PREDICTION CENTER - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Direct Access to GOES and POES Data | NCEI**. [S. l.], [2019]. Disponível em: <https://satdat.ngdc.noaa.gov/sem/goes/data/full/>. Acesso em: 1 fev. 2019.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). **GOES X-ray Sensor (XRS) Measurements**. 2016. 14 p. Disponível em: [https://ngdc.noaa.gov/stp/satellite/goes/doc/GOES\\_XRS\\_readme.pdf](https://ngdc.noaa.gov/stp/satellite/goes/doc/GOES_XRS_readme.pdf). Acesso em: 23 jul. 2019.

SPACE WEATHER PREDICTION CENTER - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Historical SWPC Products and Data Displays**. [S. l.], [2019]. Disponível em: <ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/warehouse/>. Acesso em: 1 fev. 2019.