

**ESTUDO DAS IRREGULARIDADES DO PLASMA
DA REGIÃO EQUATORIAL
DURANTE PERÍODO DE ATIVIDADE SOLAR MÍNIMA**

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

Felipe Costa Rufino (UNIFESP, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: felipe.costa.rufino@hotmail.com

Dra. Claudia Nicoli Candido (DAE/CEA/INPE, Orientadora)
E-mail: Claudia@laser.inpe.br

Colaboradores:
Maria Goreti S. Aquino – DAE/CEA/INPE - MCTI

1. Introdução

O objetivo deste trabalho é o de estudar irregularidades no plasma ionosférico na região equatorial brasileira em períodos de baixa atividade solar, obter noções gerais sobre irregularidades e traçar sua climatologia e assim ampliar o conhecimento do ambiente ionosférico nesses períodos.

Na fase inicial o estudante foi orientado na leitura de textos sobre a ionosfera, sobre a pesquisa ionosférica no Brasil, e noções sobre sondagem ionosféricas com Digissondas.

Em seguida o aluno foi treinado em identificar e processar gráficos da ionosfera, chamados de ionogramas, suas características e informações que deles pode-se extrair.

O processamento dos dados obtidos com digissondas é realizado através de um *software* disponibilizado pelo fabricante das mesmas, e com este programa computacional é possível extrair parâmetros como altura da camada ionosférica, densidade eletrônica bem como ocorrências de irregularidades o que permite contextualizar o comportamento ionosférico.

O treinamento com o software SAO Explorer envolve além da análise de ionogramas para identificação dos eventos de interesse.

Na terceira fase acontece o trabalho de classificação dos eventos analisados, levantamento estatístico e interpretação de resultados.

2. Resumo do que foi realizado no período a que se refere o relatório

As atividades do trabalho começaram em agosto de 2012 quando foi apresentado ao aluno bolsista, material bibliográfico para consulta e pesquisa. O aluno também teve acesso, à internet, e a mais informação sobre tema, bem como sobre o Sol, campo magnético terrestre, e institutos internacionais que pesquisam ciências afins, temas até então desconhecidos para o aluno.

Foram estudados gráficos representativos do comportamento ionosférico obtidos com instrumentos denominados ionossondas, e o software utilizado para processamentos de dados para criar ionogramas, o SAO Explorer. Nesta apresentação, foram discutidos os parâmetros extraídos dos ionogramas, e como vem sendo o desenvolvimento desta área de pesquisa no Brasil pelo INPE.

A primeira fase do projeto consistiu no treinamento. Durante as primeiras semanas foram processados um conjunto de dados utilizando o referido *software* e discutidas dúvidas sobre os procedimentos. Foram discutidas as diferenças entre processamento automático fornecido pelo software e o manual a ser efetuado pelo aluno. Observou-se que os dados de Digissonda processados de modo automático necessitam de avaliação e devido à complexidade de interpretação dos dados e à qualidade dos mesmos.

3. Detalhamento das atividades desenvolvidas

Conforme relatado na seção anterior, na fase inicial deste projeto de iniciação científica foram realizadas as primeiras leituras e discussões de textos relacionados à ionosfera e à instrumentação utilizada na sua investigação, especialmente digissondas.

Na seção seguinte são descritos os principais aspectos relacionados a estes tópicos e uma descrição detalhada do *software* utilizada no processamento dos dados de ionossondas digitais utilizadas no desenvolvimento deste projeto.

3.1 - A Ionosfera

A ionosfera é um plasma parcialmente ionizado e está situada entre 60 e 1000 km de altitude, sendo o meio através do qual se transmitem e se propagam ondas de rádio; o que torna o seu estudo fundamental para na área de telecomunicação e sistemas de navegação e posicionamento global.

A ionosfera é dividida em três regiões, D, E e F, de acordo o perfil de densidade eletrônica, em função da altitude. Este perfil pode variar em relação às latitudes, intensidade da radiação solar.

A região D fica situada entre 70 e 90 km de altitude. Sendo a região mais baixa da ionosfera, recebe menos radiação e assim a ionização nessa região é, também, baixa.

A região E está situada entre 90 e 150 km onde aparecem camadas de ionização normalmente durante o dia, podendo em alguns casos permanecer esporadicamente à noite, recebendo o nome de camada E esporádica.

Já a região F, acima da região E, divide-se em F1, F2 e ocasionalmente uma camada extra F3 é encontrada na região equatorial.

A Figura 1 demonstra uma indicação de nomenclaturas em função da densidade eletrônica.

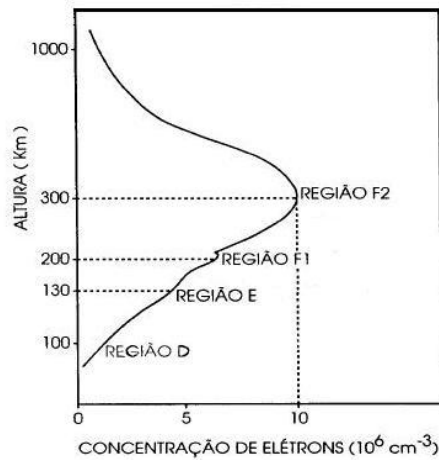


Figura1 – Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas.

FONTE: Modificado de: Kirchhoff (1991, p. 77)

3.2 – Irregularidades ionosféricas

As irregularidades do plasma ionosférico são caracterizadas como flutuações na densidade do plasma em ampla escala espacial (alguns centímetros a centenas de quilômetros). Tais irregularidades estão presentes em todas as latitudes, longitudes e praticamente em todas as altitudes ionosféricas e apresentam diferentes assinaturas na ampla gama de instrumentos que as detectam. Adicionalmente apresentam características sazonais e longitudinais distintas ao longo do equador magnético.

As irregularidades de plasma de grande escala se originam em processos de instabilidades eletrodinâmicas na região equatorial ao anoitecer (instabilidade de Rayleigh-Taylor) e são denominadas genericamente de spread-F equatorial ou bolhas de plasma. Neste período de transição entre o dia e a noite, a ação conjunta de campos elétricos zonais para leste e o campo magnético promove um movimento vertical abrupto da base da camada ionosférica F após a qual surgem regiões de baixa densidade de plasma (irregularidades) imersas no plasma ambiente que evoluem verticalmente a altitudes que podem superar 2000 km. Durante sua evolução vertical as irregularidades se mapeiam ao longo das linhas de campo geomagnético podendo atingir latitudes afastadas do equador (Abdu et al. 1981). O estudo das bolhas de plasma empreendido por algumas décadas pela comunidade científica internacional já revelou algumas de

suas mais importantes características, como a sazonalidade, a dependência com o ciclo solar, a morfologia e a sua dinâmica. Sobre o setor brasileiro, o período de maior ocorrência das bolhas ocorre entre os meses de outubro e março (estação do *spread-F*) e durante o período de atividade solar alta. A direção de propagação das bolhas é predominantemente de oeste para leste, com velocidades entre 50 a 300 m/s (Sobral et al., 1985). No entanto, já foram observadas propagações para oeste no período em torno da meia noite na região equatorial (Sobral et al., 2011).

Uma das questões mais pertinentes e que tem suscitado amplas investigações na atualidade está relacionada ao prolongado período de baixa atividade solar do ciclo solar 23. Este ciclo solar teve seu máximo entre os anos 2001 e 2002, com altos índices de fluxo solar (> 180 SFU). Em 2003 foi observado um grande número de dias magneticamente perturbados, após o qual entrou em declínio progressivo. Esperava-se que o período de mínima atividade solar fosse centrada entre os anos de 2006 e 2007, porém, uma inesperada e baixa atividade solar se estendeu até pelo menos o ano de 2011, sendo os anos de 2008 e 2009 os que apresentaram os mais baixos níveis de fluxo solar (representados pelo índice F10.7 e pelo número de manchas solares). O ano de 2009 apresentou o maior número de noites geomagneticamente calmas, chegando a zero o número de manchas solares no mês de agosto (Kane et al., 2011). Neste peculiar período de baixa atividade solar foram observadas irregularidades na região de baixas latitudes que parecem estar mais fortemente relacionadas a fenômenos oriundos de médias latitudes (Candido et al., 2011). Devido a suas características peculiares, o trabalho se estendeu a investigação da região equatorial, parte do qual é analisado neste projeto.

3.3 – Instrumentação

Estudos pioneiros da ionosfera utilizaram um instrumento denominado ionossondas analógicas e tiveram uso muito difundido. Atualmente utilizam-se ionossondas digitais, que consistem basicamente em antenas transmissoras de pulsos de radiofrequência enviados à região ionosférica e por antenas receptoras que captam o sinal refletido pelas mesmas. Os dados são armazenados digitalmente, trazendo também ampliação no número de parâmetros observáveis. Em geral, a sondagem é feita em uma faixa de frequência entre 1 e 20 MHz.

No caso dos instrumentos utilizados neste trabalho, utilizamos ionossondas digitais denominadas Digissondas. Os dados obtidos por estes instrumentos são processados automaticamente pelo *Automatic Real-Time Ionogram Scaler with True-height* (ARTIST), que é de uma série de programas de computador que geram os ionogramas.

Os ionogramas são representações gráficas da sondagem ionosférica que mostram a variação da altura virtual da camada que refletiu o pulso eletromagnético em função da frequência desse pulso. A altura é obtida proporcionalmente ao tempo que se recebe o eco do pulso, e a altura real onde a reflexão ocorreu é sempre menos que a altura virtual, pois o pulso de radiofrequência viaja mais rápido no espaço livre que na camada ionizada.

Muitas informações podem ser extraídas de um ionograma, como por exemplo:

$h'F$ – Altura da base da camada F.

$foF2$ – Máxima frequência refletida pela camada F2.

$hmF2$ – Altura do pico da camada F2,

$h'E$ – Altura virtual da camada E

$h'Es$ – altura da camada esporádica E

$fbEs$ – frequência de bloqueio da camada esporádica E

fxI = frequência máxima de ecos espalhados durante evento de spread-F

Adicionalmente os ionogramas podem revelar também a presença de irregularidades ionosféricas cuja assinatura é genericamente chamada spread-F e também a presença de camadas esporádicas região E, ou Es.

No entanto, é importante mencionar que a redução automática necessita, muitas vezes, de verificação e correção, pois nem sempre é satisfatória, já que existem diversos irregularidades da ionosfera de difícil interpretação pelos *softwares*.

3.4 – O software SAO Explorer

O *software* utilizado para processamento dos dados obtidos da digissonda é SAO Explorer, desenvolvido por UMLCAR (*University of Massachusetts Lowell Center of Atmospheric Research*).

Este *software* interpreta dados de ionogramas e apresenta um pré processamento. No entanto na maioria dos casos é necessário efetuar correções manualmente. Além de

ampla variedade de visualização dos ionogramas, sequência de ionogramas, e parâmetros ionosféricos, o software permite ~~possui funções como~~ abrir todos os arquivos de determinado formato de uma pasta, gerar figuras, e exportar dados em arquivo de texto, dentre outros.

Na Figura 2 é apresentada a tela inicial do *software* em sua exibição inicial.



Figura 2 - Software SAO Explorer em sua tela inicial

Após abrir um arquivo contendo dados da sondagem ionosférica de determinado período temos várias opções de análise dos dados e processamento.

A janela principal mostra uma tabela de características com os parâmetros ionosféricos de cada sondagem, conforme mostra a Figura 3.

SAOExplorer v.3.4.17 (dab is online)

File View Scaler Export Help

List of Records 2009.04.21 12:00:00.000 ST Save as SAO file All Current

Total records: 144 IML CAR station ID: 903 Name: Sao Luis Model DPS-4 IARSI code: SAAOK

Show	Color	Units	Value	Q	D	Flags	Characteristic description
✓	Blue	Hz	6.363	/		EV	F2 layer critical frequency
✓	Blue	Hz	7.71	/	P		Predicted value of foF2
✓	Blue	Hz	4.16	/	EV		F1 layer critical frequency
✓	Blue	Hz	4.33	/	P		Predicted value of foF1
✓	Blue	Hz	3.85	/	EV		Minimum frequency of F-layer echoes
✓	Blue	Hz	3.23	/	V		E layer critical frequency
✓	Blue	Hz	3.84	/	P		Predicted value of foE
✓	Blue	Hz	2.80	/	V		Minimum frequency of E-layer echoes
✓	Blue	Hz	2.80	/	V		Minimum frequency of ionogram echoes
✓	Blue	km	340.2	/	EV		Minimum virtual height of F2 trace
✓	Blue	km	254.9	/	A	EV	Minimum virtual height of F trace
✓	Blue	km	98.3	/	V		Minimum virtual height of E trace
✓	Blue	km	6.70	/	V		Maximum frequency of F trace
✓	Blue	Hz	0.89	/	V		Frequency spread between F2 and M3000
✓	Blue	NoValue		/	V		Frequency spread beyond foE
✓	Blue	NoValue		/	V		Average range spread of F-layer
✓	Blue	NoValue		/	V		Average range spread of E-layer
✓	Blue	NoValue		/	V		Highest ordinary wave critical frequency of region patch trace
✓	Blue	NoValue		/	V		Minimum virtual height of the trace used to determine foF
✓	Blue	Hz	9.35	/	V		E5 layer critical frequency
✓	Blue	km	105.0	/	EV		Minimum virtual height of E5 trace
✓	Blue	Hz	3.25	/	V		Minimum frequency of E5-layer
✓	Blue	Hz	4.87	/	V		Spreading frequency of E5-layer
✓	Blue	NoValue		/	V		Type E5
✓	Blue	NoValue		/	V		Critical frequency of auroral E-layer
✓	Blue	km	NoValue	/	EV		Minimum virtual height of auroral E-layer trace
✓	Blue	km	0.813	/	EV		Adjustment to the scaled for 3 during profile inversion
✓	Blue	km	309.0	/	V		Peak height F2-layer
✓	Blue	km	148.5	/	V		Half-thickness of F2-layer, parabolic model
✓	Blue	km	172.4	/	V		Peak height F1-layer
✓	Blue	km	99.8	/	V		Half-thickness of F1-layer, parabolic model
✓	Blue	km	101.5	/	V		Peak height of E-layer
✓	Blue	km	11.2	/	V		Half-thickness of E-layer
✓	Blue	TECU	19.5	/	V		Total electron content
✓	Blue	Hz	2.79	/	EV		MUF(D)foF2
✓	Blue	Hz	17.71	/	EV		Maximum usable frequency for ground distance D
✓	Blue	Hz	9.70	/	EV		MUF3000

9033.02.93 10:44:56.903: SAOExplorer 3.4.17 started...

All null files from C:\Users\Usuario\Desktop\Felipe\SL\SLO\ directory are opened now

Figura 3 - Tabela de características do ionograma no SAO Explorer

A Figura 4 apresenta a tela do editor onde se processa os dados.

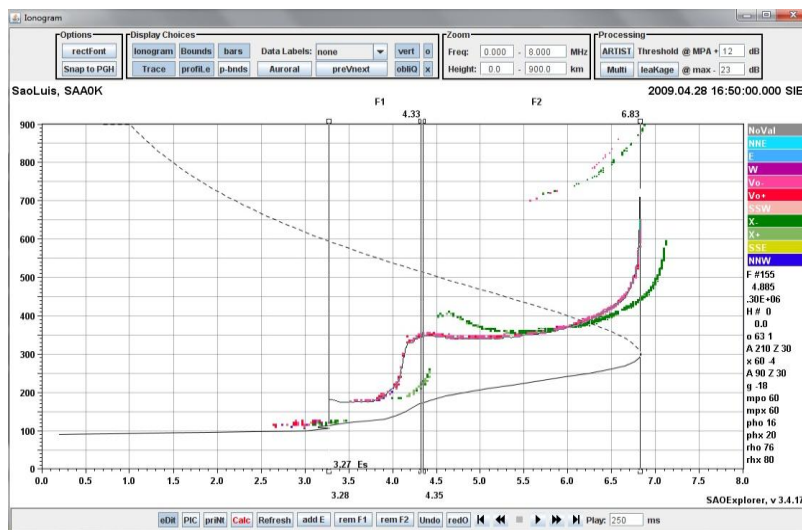


Figura 4 - Editor de ionograma do SAO Explorer

O editor apresenta um ionograma onde o eixo vertical é a altura, em quilômetros, e o eixo horizontal é a frequência, em Megahertz. As curvas rosa e verde representam traços ordinários e extraordinário e representam a variação da altura da camada em função da frequência. À direita do gráfico há uma legenda com o código de cores representando as direções de onde vieram as reflexões da camada. Os traços verticais limitam a frequência máxima e mínima para cada porção da camada, e a partir da curva traçada sobre os pontos que indicam a reflexão do traço ordinário da camada

(curva rosa), o software calcula o perfil de densidade ionosférica e a apresenta no ionograma.

A Figura 5 apresenta um exemplo de ionograma obtido na noite de 28 de dezembro de 2008, às 21:00 horas (hora universal) ou 18:00 horas (hora local), onde se apresenta um perfil obtido a partir da redução automática. O perfil de densidade eletrônica (variação da densidade em função da altura) mostra que o pico de densidade da camada encontra-se em torno de 250 km.



Figura 5 – Ionograma obtido às 21h (UT) do dia 25 de dezembro de 2008, em Fortaleza – CE e perfil ionosférico gerado após redução manual.

A Figura 6 mostra um ionograma que inclui o perfil traçado a partir da redução manual efetuada pelo usuário. Nota-se, após a redução manual, uma pequena mudança na parte inferior da curva e quase nenhuma alteração na altura da frequência máxima da camada F. No entanto, há situações em que a altura e a frequência podem ser significativamente alteradas após redução manual, modificando o perfil de densidade eletrônica.



Figura 6 – Ionograma obtido às 21h do dia 25 de dezembro de 2008, em Fortaleza – CE e perfil ionosférico gerado a partir da redução automática do SAO Explorer.

O processamento automático apresenta dificuldades de traçar o perfil ionosférico durante a ocorrência de irregularidades, como no caso de espalhamento da camada F o que ocorre nas sondagens no período noturno. O espalhamento da camada F ou *spread-F* consiste na presença de traços difusos em altura e frequência, conforme é apresentado na Figura 7. Estes traços espalhados estão associados à ocorrência de irregularidades da região equatorial ou bolhas de plasma.

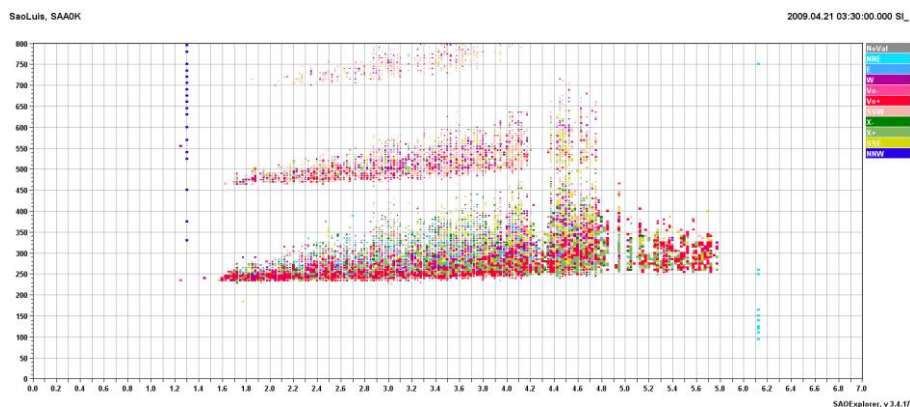


Figura 7 – Ionograma obtido às 03h30 (UT) do dia 21 de abril de 2009 pela digissonda em São Luís – MA registrando a ocorrência de espalhamento da camada F ou spread-F.

Outro exemplo de ocorrência que dificulta a redução é mostrado na Figura 8. Nesta sequência de ionogramas são mostradas além das curvas características da camada ionosférica F, a ocorrência de camadas E esporádicas (~100 km).

As camadas E esporádicas, ou Es, aparecem numa altura aproximada entre 90 e 120 km e estão associadas à concentração da densidade eletrônica provocada pela ação

de ventos nesta região. Em algumas situações a camada Es pode bloquear o sinal enviado à camada F, interferindo no perfil de densidade eletrônica.

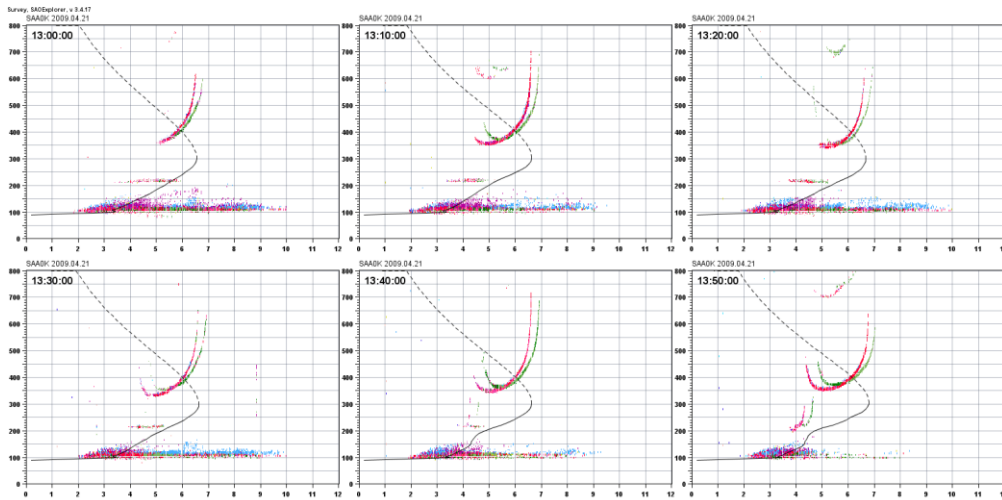


Figura 8 - Sequência de ionogramas obtido pela sondagem do dia 21 de abril de 2009 em São Luís – MA, das 13h00 às 13h50 e respectivo perfil ionosférico.

Com os ionogramas devidamente reduzidos é possível gerar gráficos com os parâmetros ionosféricos: a Altura virtual mínima da camada F ($h'F$); a frequência crítica da camada F ($foF2$); e a altura do pico da camada F ($hmF2$).

A Figura 9 mostra a variação temporal destes parâmetros após uma redução automática.

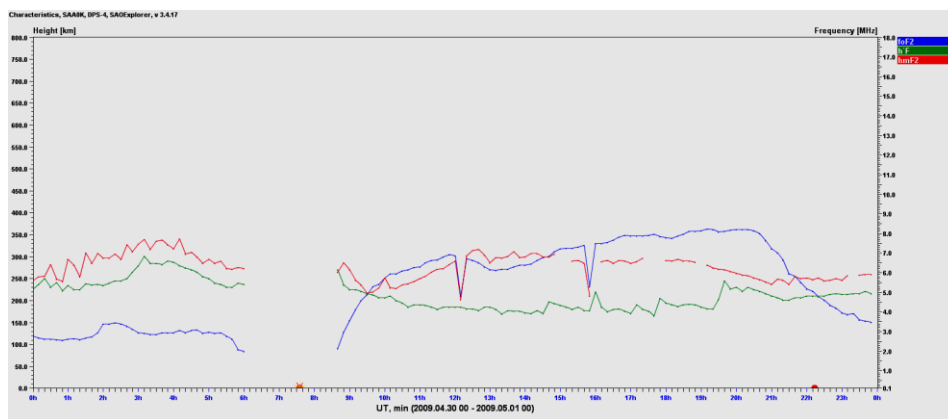


Figura 9 – Variação temporal dos parâmetros $h'F$, $hmF2$ e $foF2$ após redução automática no SAO Explorer no dia 30 de abril de 2009. São Luís - MA.

Por outro lado, a Figura 10 mostra a variação temporal destes parâmetros após uma redução manual dos dados. Nota-se uma melhora considerável nas curvas após a redução manual, com suavização e mesmo a eliminação de alguns picos indesejáveis.

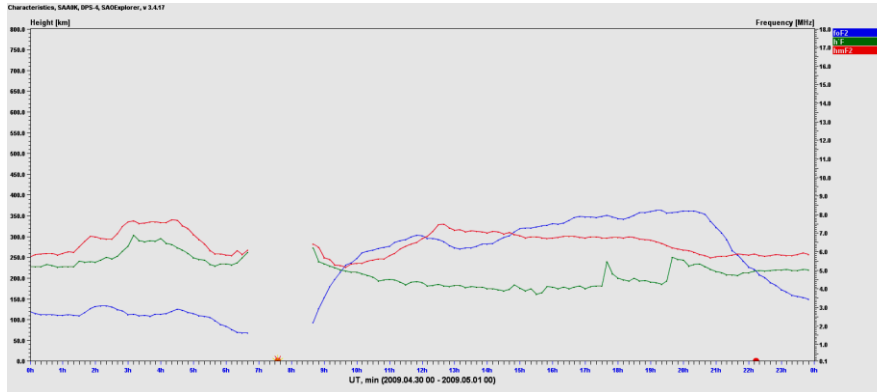


Figura 5 - Gráfico com parâmetros $h'F$, $hmF2$ e $foF2$ em função do tempo após redução manual no SAO Explorer referente ao dia 30 de abril de 2009. Digissonda de São Luís – MA

O SAO Explorer ainda oferece outros recursos gráficos como o *Contours* mostrado na Figura 11, que são gráficos onde aparecem a curva de $hmF2$ em frequências fixas.

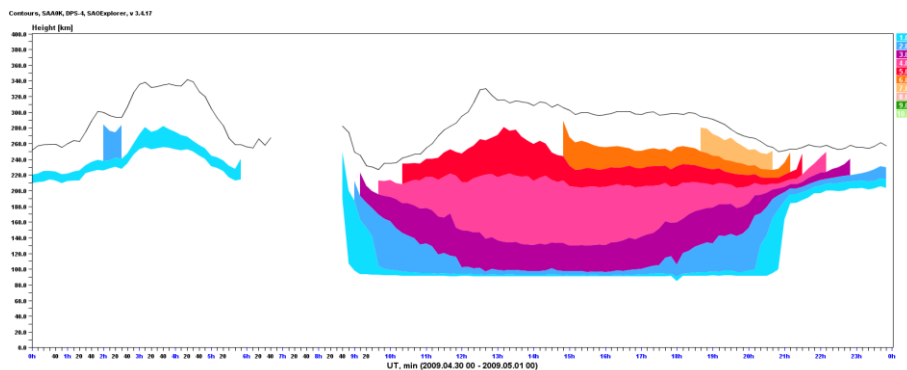


Figura 6 – *Contours* ou isolinhas gerado pelo SAO Explorer referente ao dia 30 de abril de 2009.

A Figura 12 mostra um gráfico representativo da distribuição da densidade eletrônica em função da altura e do tempo.

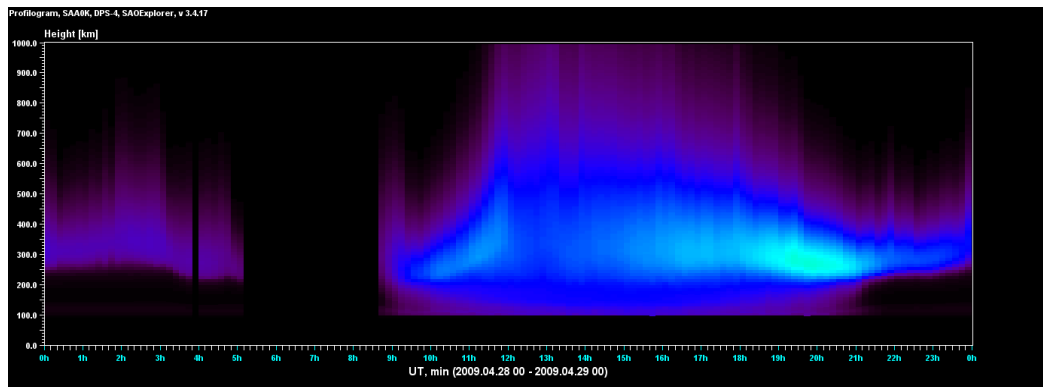


Figura 7 – Perfilograma gerados pelo SAO Explorer referente ao dia 30 de abril de 2009.

4. Resultados Obtidos

Durante este projeto foram selecionados e processados dados de diferentes períodos de duas Digissondas para estudar as características das irregularidades ionosféricas na região equatorial brasileira no período proposto no projeto. As digissondas que coletaram os dados utilizados neste estudo ficam localizadas em São Luis (44.2° W, 2.33° S, inclinação: -6.9°) and Fortaleza (38.45°W, 3.9° S, inclinação: -16°), conforme mostra a Figura 13.



Figura 13 - Mapa com a localização das Digissondas em São Luís e Fortaleza e localização do Equador Magnético

O período selecionado para este estudo foi caracterizado pelos baixos níveis de atividade solar, que está intimamente ligado ao número de manchas na superfície do sol.

Na Figura 14 temos a o registro do número de manchas solares nos anos de 1994 a 2012. No detalhe é apresentado o baixíssimo índice nos anos de 2008 e 2009, com números de manchas solares menores que 15 ou até nulos.

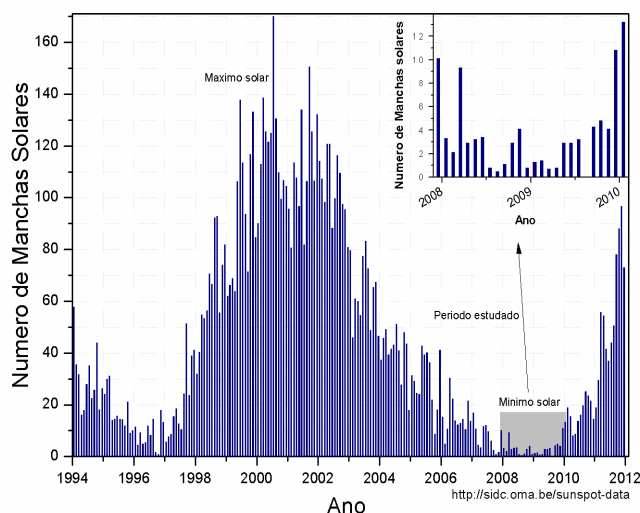


Figura 14 – Número de manchas solares registrado entre 1994 a 2012. No detalhe o número de manchas entre 2008 e 2010 (mínima atividade solar)

A seguir são mostrados dois exemplos de ocorrência de irregularidades no plasma ionosférico ocorridos em diferentes épocas do ano de 2008 em Fortaleza, bem como os parâmetros ionosféricos a elas associados.

A Figura 15 apresenta uma sequência de ionogramas obtidos no solstício de junho, que registram a ocorrência de irregularidades na noite de 03 de junho de 2008. Observa-se que a frequência crítica máxima da camada F não ultrapassa 3MHz, indicando que a densidade da camada F é bastante baixa. O espalhamento da camada apresenta na sua fase inicial um traço acima da curva de foF2 e de h'F e é em geral classificado como espalhamento em frequência. No entanto, a presença deste traço extra representa a ocorrência de reflexões oblíquas, indicando que a irregularidade não se desenvolveu localmente, mas está se aproximando horizontalmente da estação.

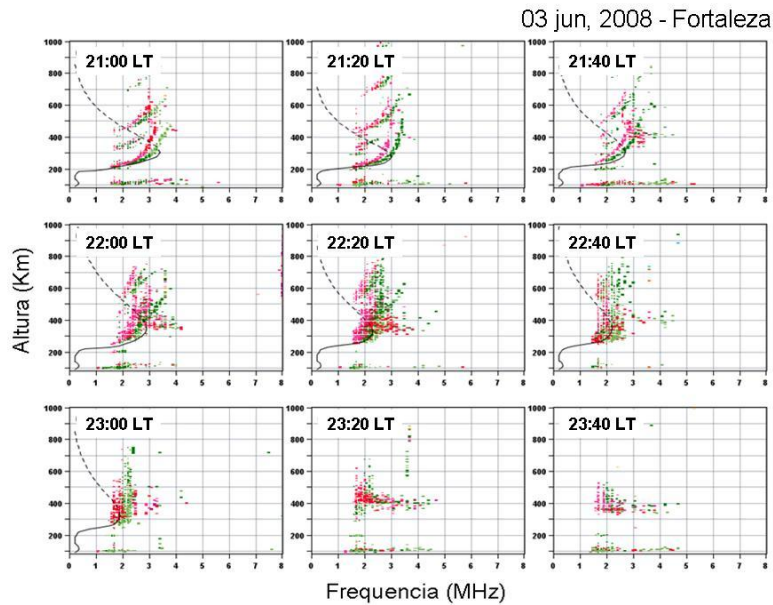


Figura 15 – Sequência de ionogramas obtidos das 21h00 às 23h40 LT do dia 03 de junho de 2008, em Fortaleza – CE

Na Figura 16 são mostrados os principais parâmetros ionosféricos: a altura da base da camada F ($h'F$), a máxima frequência refletida pela camada F2 ($foF2$) e a altura do pico da camada F2 ($hmF2$), em função do tempo, no dia 03 de junho de 2008. Observa-se que entre 19:00 horas e 22:00 horas (hora local) há algumas oscilações nos parâmetros $h'F$ e $hmF2$, com uma aparente subida da altura camada F bem como uma redução da densidade eletrônica, conforme mostra a curva do parâmetro $foF2$. Há ainda períodos onde há ausência de reflexões, como por exemplo, entre 23:00 e 00:30 LT e entre 01:00 e 05:00 horas, indicando que a densidade da camada estava abaixo do limite detectável pela Digissonda.

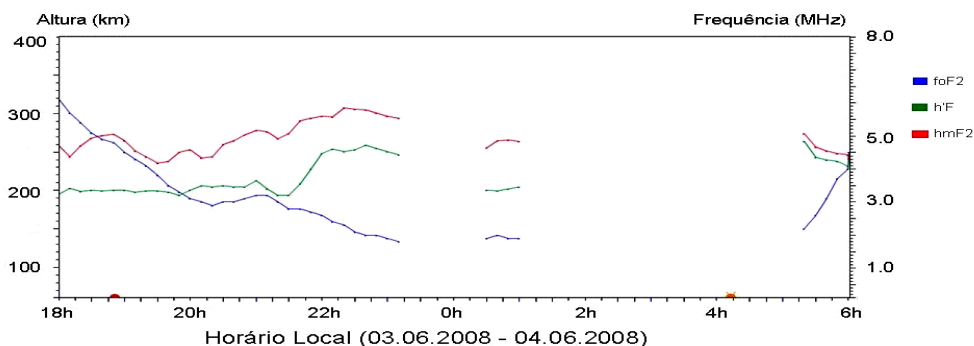


Figura 16 - Gráfico com parâmetros $h'F$, $hmF2$ e $foF2$ em função do tempo do dia 03 de junho de 2008, em Fortaleza – CE.

A Figura 17 apresenta uma sequência de ionogramas obtida em Fortaleza no dia 25-26 de dezembro de 2008 (solstício de dezembro). Observa-se que a frequência crítica

da camada, foF2, em período anterior ao aparecimento da irregularidade é em torno de 6 MHz. O espalhamento da camada F apresenta frequências máximas em torno de 10 MHz, o que representa uma diferença significativa com relação às irregularidades observadas no solstício de junho. Além disto, a duração da irregularidade é maior que a do caso no solstício de junho. Nota-se claramente que a irregularidade está mais desenvolvida que no caso anterior e tem características típicas de bolhas de plasma, que são irregularidades de grande escala.

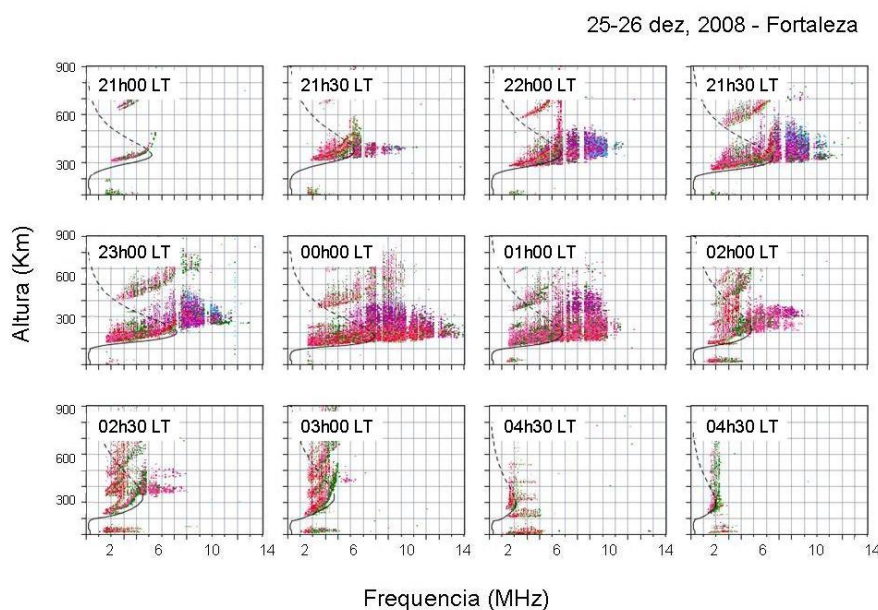


Figura 17 – Sequência de ionogramas obtidos das 21h00 às 04h30 dos dias 25-26 de dezembro de 2008, em Fortaleza – CE

A Figura 18 apresenta as características referentes aos ionogramas da noite de 25-26 de dezembro, mostrados na Figura 17, e abrangem todo período de aparecimento e da irregularidade, das 21h às 4h30, aproximadamente. Nota-se que a frequência crítica aumenta, e a altura da camada diminui durante a ocorrência da irregularidade. No entanto, é importante considerar que a variação dos parâmetros durante a ocorrência de irregularidades é pouco confiável pois durante o processamento não se pode identificar com alto grau de confiança as curvas da camada F, assim a variação só pode ser considerada como uma aproximação.

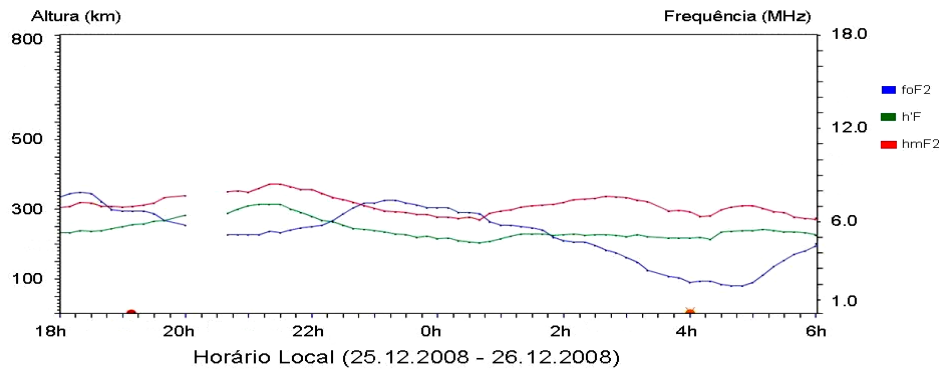


Figura 18 - Gráfico com parâmetros h'F, hmF2 e foF2 em função do tempo, dos dias 25-26 de dezembro de 2008, em Fortaleza – CE

4. Discussão dos resultados

Foram apresentados dois casos mais representativos de irregularidades ionosféricas observadas nos solstícios de junho e de dezembro e os parâmetros ionosféricos a estes associados.

Pode-se observar uma nítida diferença entre as irregularidades ocorridas nos diferentes períodos analisados. No inverno, as irregularidades atingem frequência máxima aproximada de 5 MHz e começam com um traço que surge em alturas bem superiores à base da camada, próximo ao final do traço da frequência. Com o decorrer do tempo, esse traço apresenta uma descida aparente misturando-se ao ordinário e extraordinário. Além disto, tais irregularidades ocorrem mais comumente em horários mais tardios, especialmente após a meia noite. No solstício de verão, a frequência crítica da camada ionosférica, foF2, é em torno de 6 MHz e a frequência máxima de reflexão da irregularidade, fxI, atinge valores maiores que 13 MHz. A irregularidade apresenta-se muito mais desenvolvida e tem maior duração. Durante o verão as irregularidades de plasma apresentam ainda maior escala espacial e maiores velocidades de propagação.

No que se refere às irregularidades observadas no solstício de inverno, Candido et al. (2011) observou uma elevada taxa de ocorrência no período pós meia noite na região de baixas latitudes, na região da crista sul da anomalia da ionização equatorial, em Cachoeira Paulista (23°S, 45°W). Estas irregularidades foram observadas em ionogramas, apresentando padrões não usuais de spread-F, com reflexões oblíquas associadas à passagem de depleções de plasma observadas em imagens da emissão OI 630.0 nm. Este padrão foi interpretado como sendo associado a ocorrências de distúrbios ionosféricos propagantes de média escala. Após aquele estudo, passou-se a

investigar a região equatorial, no mesmo período, e em período de atividade solar ascendente, de modo a verificar se o mesmo tipo de fenômeno poderia ocorrer na região. Verificou-se que as irregularidades podem ocorrer no solstício de junho no período após a meia noite especialmente em períodos de baixa atividade solar, mas a uma taxa de ocorrência bem menor que em Cachoeira Paulista. Enquanto em 2009, a taxa de ocorrência foi de quase 90% em Cachoeira Paulista, em São Luís foi em torno de 30%. Observou-se também que as densidades de plasma na região equatorial foram muito baixas havendo longos períodos nas noites em que não havia retorno do sinal. A partir disto, sugeriu-se que para a ocorrência de tais irregularidades deve haver uma densidade ionosférica limite. A natureza destas irregularidades observadas no solstício de inverno na região equatorial, no entanto, ainda não foi determinada e algumas investigações estão sendo feitas de modo a esclarecer estas questões.

5. Conclusão

Este projeto teve por objetivo o estudo de irregularidades ionosféricas observadas na região equatorial brasileira em período de baixa atividade solar e o estudo de parâmetros associados a estas irregularidades. A fase inicial consistiu na familiarização com o instrumento utilizado para sondagem ionosférica em solo, denominado ionossonda e dos dados obtidos com este instrumento. O aluno recebeu material bibliográfico referente ao assunto do projeto e posterior treinamento para processar dados de Digissonda e extrair parâmetros que descrevem o comportamento ionosférico. Também foi orientado a identificar a ocorrência de irregularidades ionosféricas nos ionogramas.

O aluno desenvolveu as atividades propostas dentro de suas capacidades e de acordo com o tempo disponível. O treinamento para o processamento dos dados foi satisfatório, e o aluno desenvolveu habilidades para extrair parâmetros ionosféricos. No entanto, algumas dificuldades foram encontradas na exposição, organização e na interpretação de resultados, o que é compatível com o fato de ter sido o primeiro trabalho de iniciação científica e as primeiras incursões na realização de relatórios científicos.

Bibliografia

- Abdu, M.A., Batista, I. S., Bittencourt, J. A. (1981), Some Characteristics of Spread-F at the Magnetic Equatorial Station Fortaleza, *Journal of Geophysical Research*, 86 (A8), 6836-6842,.
- Amendola, Giuseppe Vitorio (2003), Análise do comportamento da ionosfera a partir de medidas em HF, Dissertação de mestrado, 105 pp., Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2003.
- Bertoni, Fernando C. (1998), Estudos de derivas ionosféricas por meio de ionosondas digitais. Dissertação de mestrado, 135 pp., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 25 de setembro.
- Candido, C.M.N. (2008), Estudos de irregularidades do plasma ionosférico equatorial e de baixas latitudes observadas nas baixas latitudes do setor brasileiro, Tese de doutorado, 286 pp., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 18 de Março.
- Candido, C. M. N., Batista, I. S.; Becker-Guedes, F.; Abdu., M. A., Sobral, J. H. A. Takahashi, H. (2011). Spread F occurrence over a southern anomaly crest location in Brazil during June solstice of solar minimum activity, *J. Geophys. Res*; doi: 10.1029/2010JA016374.
- Kane, R. P. Evolution of Dst and Auroral Indices during some Severe Geomagnetic Storms. *Revista Brasileira de Geofísica*, V. 27(2), 155-63, 2011.
- Yamashita, C. S. (1999), Efeito das tempestades magnéticas intensas na ionosfera de baixa latitude, Dissertação de mestrado, 75 pp., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1999.
- Resende, Laysa C. (2006), Estudo comparativo dos parâmetros ionosféricos obtidos por sondadores digitais nas estações de São Luís (MA) e Cachoeira Paulista (SP), Relatório de iniciação científica, 83 pp., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2006.
- Informações sobre SAO Explorer, Disponível em: <<http://umlcar.uml.edu/>>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2013