



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS FREQUÊNCIAS DE ONDAS DE PLASMA NA BAINHA MAGNÉTICA DE VÊNUS

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

João Carlos de Moura Castro Neto
(Universidade Federal de Jataí, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: jc.neto963@gmail.com

Ezequiel Echer (DIDGE/CGCEA/INPE, Orientador)
E-mail: ezequiel.echer@inpe.br

COLABORADORES

Dra. Adriane Marques de Souza Franco (INPE)
Dr. Mauricio José Alves Bolzan (UFJ)

Jataí
Julho de 2019



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS FREQUÊNCIAS DE ONDAS DE PLASMA NA BAINHA MAGNÉTICA DE VÊNUS

João Carlos de Moura Castro Neto

Relatório final de projeto de
iniciação científica
(PIBIC/INPE/CNPq), orientado
pelo Dr. Ezequiel Echer.

Jataí
Julho de 2019

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pela oportunidade da bolsa de iniciação científica.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro.

Ao meu orientador Dr. Ezequiel Echer, pelo apoio ao desenvolvimento do trabalho.

A minha coorientadora Dra. Adriane Marques de Souza Franco, pelo auxílio para o bom entendimento do tema do projeto.

Ao meu coorientador Dr. Mauricio José Alves Bolzan, por prestar o Laboratório de Astronomia e Física de Jataí afim de terminar o projeto.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVO	1
1.1	Introdução	1
1.2	Objetivo	1
2	MAGNETOSFERA DE VÊNUS	1
2.1	Regiões de Magnetosfera Induzida de Vênus	2
2.1.1	Bainha magnética	2
2.1.2	Barreira Magnética	3
2.1.3	Ionopausa.....	3
2.1.4	Cauda magnética.....	3
3	MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZAD	3
3.1	Transformada de Wavelet	4
3.2	CCATI Software	5
4	RESLTADO E ANÁLISE.....	7
4.1	Análise Wavelet.....	7
4.2	Identificação das fronteiras	8
5	CONCLUSÃO E FUTUROS TRABALHOS	10
6	Referências	11

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Interação do vento solar com Vênus.</i>	2
<i>Figura 2: Transformada de Wavelet a) Densidade b) Espectro da Wavelet c) Espectro Global de Wavelet</i>	4
<i>Figura 3: Interface do CCATI.</i>	5
<i>Figura 4: Painel para ajustar o CCATI.</i>	6
<i>Figura 5: Gráfico gerado no CCATI com dados da VEX.</i>	6
<i>Figura 6: Gráfico a) Densidade eletrônica. b) Espectro de Wavelet. c) GWS.</i>	7
<i>Figura 7: Histograma da porcentagem com as principais frequência encontradas no GWS de 2006 a 2008 cruzadas na magnetosfera de Vênus.</i>	8
<i>Figura 8: Gráfico gerado no CCATI com dados da VEX para identificar as fronteiras.</i> .	9

RESUMO

Devido à ausência de um campo magnético intrínseco em Vênus, sua magnetosfera é formada pela interação do vento solar com a ionosfera do planeta, sendo então conhecida como magnetosfera induzida. Devido ao vento solar ser supermagnetossônico, uma onda de choque é formada à frente das cavidades magnetosféricas. Íons refletidos nesta fronteira representam uma importante fonte de energia para a produção de ondas de frequências ultra baixas (do inglês, *Ultra Low Frequency*, ULF). Estas ondas ULF podem ser intensificadas na bainha magnética, uma vez que planetas com magnetosferas induzidas tendem a apresentar exosfera estendida e íons planetários podem interagir com o plasma dessa região. Este projeto tem como objetivo principal identificar as principais frequências encontradas nas ondas ULF na bainha magnética de Vênus. Para que possamos identificar as frequências dessas ondas na bainha magnética, faz-se necessário determinar a localização das fronteiras de plasma da magnetosfera venusiana. As fronteiras de plasma foram identificadas a partir de dados de plasma e campo magnético fornecidos pelos instrumentos ASPERA-4 e MAG da missão *Venus Express* (VEX), respectivamente. Através do software CCATI foi possível identificar o instante em que a VEX cruzou cada fronteira, incluindo a frente de choque e a barreira magnética (MB), que correspondem aos limites da bainha magnética. A partir das fronteiras determinadas, o intervalo da bainha magnética é selecionado. A transformada por ondeletas foi aplicada aos dados da densidade de elétrons (ELS/ASPERA-4) entre 2006 e 2008 para identificar as principais frequências das ondas ULF na bainha de Vênus.

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

1.1 Introdução

O estudo da interação do vento solar com campos magnéticos dos planetas vem sendo desenvolvido por décadas. Uma grande variedade de diferentes tipos de magnetosferas planetárias foi descoberta (ECHER, 2010). Foi visto que dentre os 8 planetas do nosso sistema, apenas Marte e Vênus não apresentem campo magnético intrínseco global, como é observado na Terra (RUSSELL, 2001). Para esses casos, em que o planeta não apresenta campo intrínseco, um novo tipo de magnetosfera, denominada magnetosfera induzida, foi descoberto (PODGORNY, DUBININ e ISRAELEVICH, 1980); (LUHMANN, LEDVINA e RUSSELL, 2004).

Como o vento solar se propaga pelo meio interplanetário com uma velocidade supermagnetosônica e é composto por partículas carregadas, principalmente por íons de hidrogênio e elétrons, arrastando consigo o campo magnético solar congelado (do inglês, *Interplanetary Magnetic Field*, IMF) (PARKER, 1958; ECHER, 2010), ao se deparar com algum obstáculo planetário condutor vai ocorrer a interação com esse obstáculo gerando uma região no espaço ao redor deste, chamada de magnetosfera planetária.

Serão apresentados neste trabalho análises de dados da espaçonave *Venus Express* (VEX), uma sonda planetária da agência espacial europeia (ESA) com objetivo de estudar a atmosfera e ambiente espacial próximo de Vênus.

1.2 Objetivo

O principal objeto deste trabalho é estudar ondas ULF na bainha magnética de Vênus, identificando as principais frequências presentes nos dados de densidade de elétrons utilizando análise por wavelet (ondeletas). Além disso, pretende-se identificar as principais fronteiras do ambiente de plasma de Vênus a partir de dados de plasma e campo magnético para os anos entre 2011 e 2014, completando o catálogo de fronteiras de plasmas da magnetosfera venusiana.

2 MAGNETOSFERA DE VÊNUS

Devido à interação eletromagnética entre o vento solar e o obstáculo planetário, uma frente de choque é formada na frente da magnetosfera induzida (LUHMANN, 1986). Como o vento solar não consegue penetrar a atmosfera do planeta, ele sofre uma desaceleração. A alteração de velocidade (de supersônico para submagnetosônica) e a conversão de energia (cinética para térmica) do vento solar vai gerar a deflexão, assim formar uma onda de choque na frente da magnetosfera. Embora Vênus e a Terra tenham tamanhos similares, a frente de choque terrestre é muito maior que a frente de choque formada em Vênus (SLAVIN, ELPHIC, *et al.*, 1979). Essa diferença ocorre devido ao fato de que embora a localização da frente de choque dependa do tamanho do planeta, ela também depende da natureza da interação do vento solar com obstáculo (CHAI, WAN, *et al.*, 2015). Planetas com campos magnéticos intensos terão suas frentes de choque formadas mais distantes dos mesmos. Por outro lado, planetas que não

apresentam campo magnético intrínseco, como Vênus, terão suas frentes de choque localizadas próximo a eles (SCHWINGENSCHUH, RIEDLER, *et al.*, 1990). Além desses fatores, a frente de choque também depende da velocidade de propagação de ondas de plasma (CHAI, WAN, *et al.*, 2015).

2.1 Regiões de Magnetosfera Induzida de Vênus

Abaixo da frente de choque se configura a magnetosfera induzida de Vênus, formada por várias regiões e fronteiras de plasma criadas devido à interação do planeta com o vento solar. A Figura 1 apresenta as regiões e fronteiras de plasma da magnetosfera de Vênus, as quais serão brevemente apresentadas nas subseções seguintes.

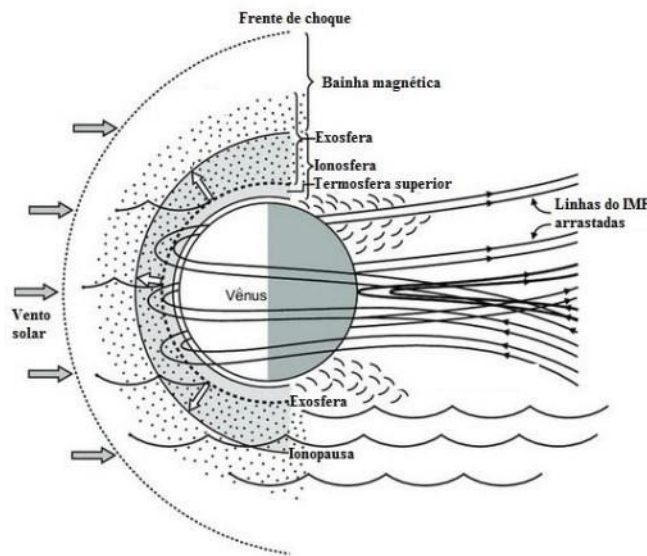


Figura 1: Interação do vento solar com Vênus.
Fonte: Adaptado de Russell *et al.* (2007).

2.1.1 Bainha magnética

Assim como observado em outras magnetosferas, entre a frente de choque e o obstáculo eletromagnético planetário propriamente dito (magnetopausa ou atmosfera ionizada), uma bainha magnética é formada. Essa região é caracterizada por alta densidade de prótons e elevadas temperaturas devido à compressão, desaceleração, deflexão e aquecimento do plasma do vento solar (LUHMANN, RUSSELL, *et al.*, 1992).

Nas magnetosferas planetárias encontra-se uma grande variedade de ondas. Em Vênus observa-se uma alta atividade de ondas de baixa frequência (do inglês, *Low Frequency, LF*) e ondas de frequência ultra-baixa (do inglês, *Ultra-Low Frequency, ULF*). A ocorrência dessas ondas foi vista pela primeira vez por Mariner-10 (GREENSTADT, OLSON, *et al.*, 1979; LEPPING e BEHANNON, 1980). Na região da bainha magnética as ondas ULF são muito intensas, uma vez que essas podem ser geradas de varias fontes, tais como convecções na região acima da frente de choque, por partículas refletidas nessa fronteira e por instabilidades locais. Assim, podemos considerá-las como resultando de uma interação onda-partícula. Essas ondas carregam energia o suficiente para serem observadas nas regiões abaixo da magnetobainha, podendo atingir

a ionosfera do planeta. Observa-se na região chamada foreshock uma grande fonte de ondas LF e ULF, localizada em uma região “acima” da frente de choque. A região do foreshock é formada devido à reflexão das partículas na frente de choque. Estas são refletidas contra o vento solar e aceleradas na fronteira e também de partículas da bainha magnética que conseguem passar pela frente de choque se unindo a esse plasma. Então, as ondas LF e ULF serão geradas devido a essa interação que podem ser observadas na foreshock (RUSSELL, LUHMANN, *et al.*, 1990; DELVA e DUBININ, 1998; VOLWERK, ZHANG, *et al.*, 2008).

2.1.2 Barreira Magnética

Através de medidas da espaçonave Pioneer Venus Orbiter (PVO) o agrupamento das linhas de campo magnético em torno da região abaixo da bainha magnética no lado diurno do planeta foi observado, formando a chamada barreira magnética (do inglês, Magnetic Barrier, MB) (RUSSELL, ELPHIC e SLAVIN, 1979). Nessa região, a pressão magnética domina todas outras contribuições de pressão. A MB é relacionada à transferência de momento do vento solar para a ionosfera via aumento da pressão magnética (ZHANG, LUHMANN e RUSSELL, 1991). A barreira magnética pode ser identificada nos dados de campo magnético e de fluxo de íons/elétrons através de um crescimento repentino na intensidade de campo magnético devido a compressão das linhas de campo em torno do planeta e queda no fluxo de elétrons que são defletido pelas linhas de campo acumuladas.

2.1.3 Ionopausa

A ionopausa pode ser definida como o topo da ionosfera, e é formada onde a pressão magnética da bainha é balanceada pela pressão termal ionosférica (PHILLIPS, LUHMANN e RUSSELL, 1985; MAHAJAN, 1999). No ponto subsolar a ionopausa venusiana é formada em aproximadamente 200 km de altitude e na região do terminadouro chega a 400 km. A localização dessa fronteira varia com a pressão dinâmica do vento solar, radiação no extremo ultravioleta e ângulo solar zenital (RUSSELL, LUHMANN e STRANGWAY, 2006).

2.1.4 Cauda magnética

Com a extensão da MB para o lado noturno, os lóbulos da cauda magnética são formados. No centro da cauda, uma lâmina de plasma é formada (VAISBERG e ZELENY, 1984). Sobre a lâmina de plasma, a lâmina de corrente é formada, a qual divide a magnetocauda em dois lóbulos (DAS, 1998). Os lóbulos da cauda apresentam linhas de campo com sentidos contrários. Como a magnetocauda de uma magnetosfera induzida é formada pelas linhas do IMF, a orientação das linhas de campo dos lóbulos varia com a orientação do IMF (RUSSELL, ELPHIC e SLAVIN, 1979; DAS, 1998).

3 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizaram-se dados de densidade de elétrons do espectrômetro de elétrons (do inglês, *Electron Spectrometer*, ELS) do experimento de plasma e átomos energéticos (do inglês, *Space Plasma and Energetic Atoms Experiment*, ESPERA-4) abordo da missão *Venus Express* (VEX). O ELS é um sensor

que fornece medidas de elétron em um plano bidimensional e resolução de 4 segundos em uma faixa de energia entre 0.01-20 keV (BARABASH, 2007).

Para determinar o tempo de cada cruzamento do satélite na bainha magnética de Vênus, será usada uma lista com as fronteiras de plasma (2006-2010) fornecida por Martineczs et al. (2008). Nesta lista encontramos o tempo no qual a espaçonave cruzou cada fronteira da magnetosfera de Vênus, onde a bainha magnética é localizada entre a frente de choque e a barreira magnética (MB) (LUHMANN, LEDVINA e RUSSELL, 2004). A lista tem uma numeração de 1 a 6, sendo:

- 1- Frente de choque;
- 2- Barreira Magnética (MB);
- 3- Entrada da Barreira fotoelétrica (PEB);
- 4- Saída da Barreira fotoelétrica (PEB);
- 5- Barreira Magnética (MB);
- 6- Frente de choque.

Deste modo, os intervalos 1-2 e 5-6 representam a região de bainha magnética sendo de grande relevância para este trabalho.

3.1 Transformada de Wavelet

O projeto iniciou-se analisando dados de VEX ASPERA de 2006 a 2008. Esses dados constituíam intervalos em que a VEX cruzou a bainha magnética de Vênus. Utilizou-se o software MatLab para criar os gráficos da transformada wavelet, conhecida também como transformada por ondeleta. O código utilizado para aplicar a transformada wavelet dos dados e obter os gráficos foram escritos pelo coorientador Mauricio Bolzan.

Na Figura 2 é apresentado um exemplo dessa aplicação da transformada de wavelet. Nesse evento a sonda espacial VEX cruzou a bainha magnética entre 06:05 UT e 6:31 UT em 09 de setembro de 2008.

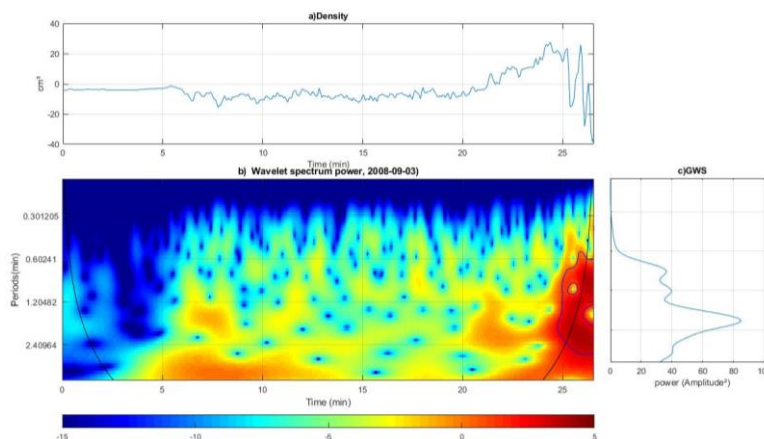


Figura 2: Transformada de Wavelet a) Densidade b) Espetro da Wavelet c) Espetro Global de Wavelet

Nesse trabalho a função Wavelet de Morlet $\psi(t)$ é utilizada, é uma função complexa e contínua que pode ser descrita como uma onda plana envolvida por um envelope de

Gauss (TORRENCE e COMPO, 1998). Esta função wavelet pode ser descrita pela Equação 1 (BOLZAM e VIERIA, 2006):

$$\psi(t) = e^{i\xi_0 t} e^{-\frac{t^2}{2}}$$

Equação 1

Onde ξ_0 é uma frequência a-dimensional que controla o número de oscilações no pacote de onda.

A Equação 2 apresenta a transformada wavelet (TW) para uma função $f(t)$ na sua forma contínua.

$$TW(a, b) = \int f(t) \psi_{a,b}(t) * dt$$

Equação 2

Aqui, a representa a escala de dilatação /contração, b se refere ao parâmetro de translação, $\psi_{a,b}(t)$ é a função wavelet-mãe, e $\psi_{a,b}(t) *$ representa seu complexo conjugado.

A identificação dos períodos/frequências mais energéticos presentes nos dados de densidade de elétrons na bainha magnético de Vênus será realizada usando o espectro wavelet global, este que é identificado pela Equação 3.

$$GWS = \int |TW(a, b)|^2 db.$$

Equação 3

3.2 CCATI Software

O CCATI é um software escrito em IDL com intuito de plotar gráficos de series temporais, desenvolvido por Markus Fraenz et al., nesse programa há uma adaptação do software Emmanuel Penous CLL3 para analisar os dados de VEX/ASPERA-4 (FRAENZ, MOUIKIS, et al., 2016)

Usando o CCATI para plotar gráficos de relação de série temporal e painéis com dados da densidade dos elétrons, íons e o campo magnético medidos pela VEX no ambiente espacial de Vênus; com essa plotagem conseguimos demarcar cada intervalo citado anteriormente. Na Figura 3 é um exemplo da interface do CCATI.

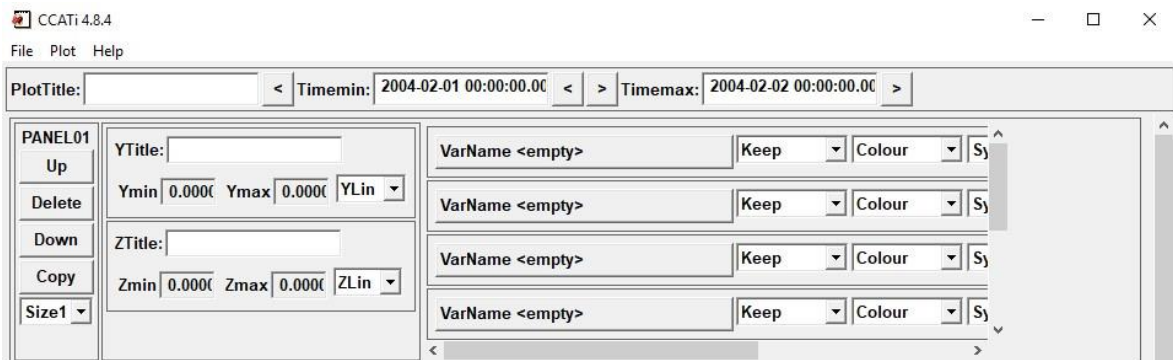


Figura 3: Interface do CCATI.

Na interface do CCATI, conseguimos ajustar o intervalo de tempo que a espaçonave obteve os dados, nesse caso analisamos o ano de 2012. Ajustou-se também o painel com os dados de cada instrumento que a espaçonave possui, como a densidade do elétron, íons e campo magnético. Na Figura 4 é apresentado um exemplo das configurações de um painel no CCATI.

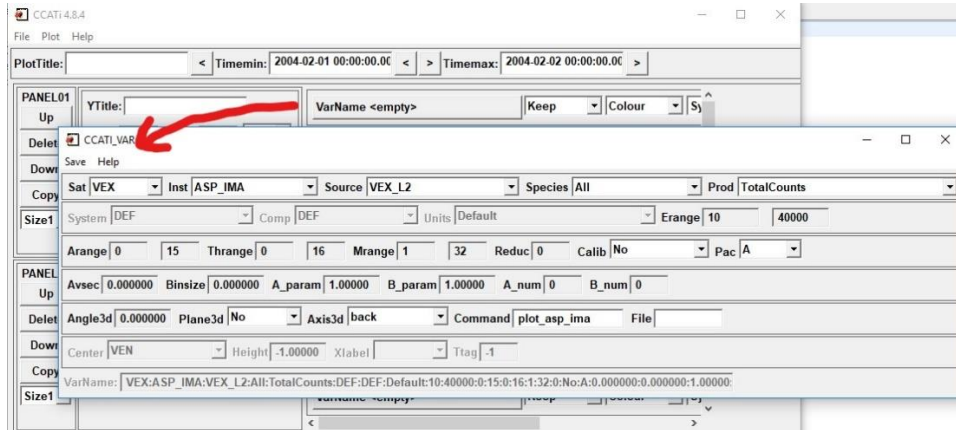


Figura 4: Painel para ajustar o CCATI.

Depois de se efetuar toda a configuração no painel, pode-se gerar uma nova janela dos gráficos com os dados. Na Figura 5 mostra-se um exemplo do gráfico plotado, entre 23:30 UT, 11 de setembro de 2012 e 01:30 UT, 12 de setembro de 2012. No painel superior é mostrada a densidade de elétrons, no painel intermediário a densidade dos íons e no último painel, o campo magnético total.

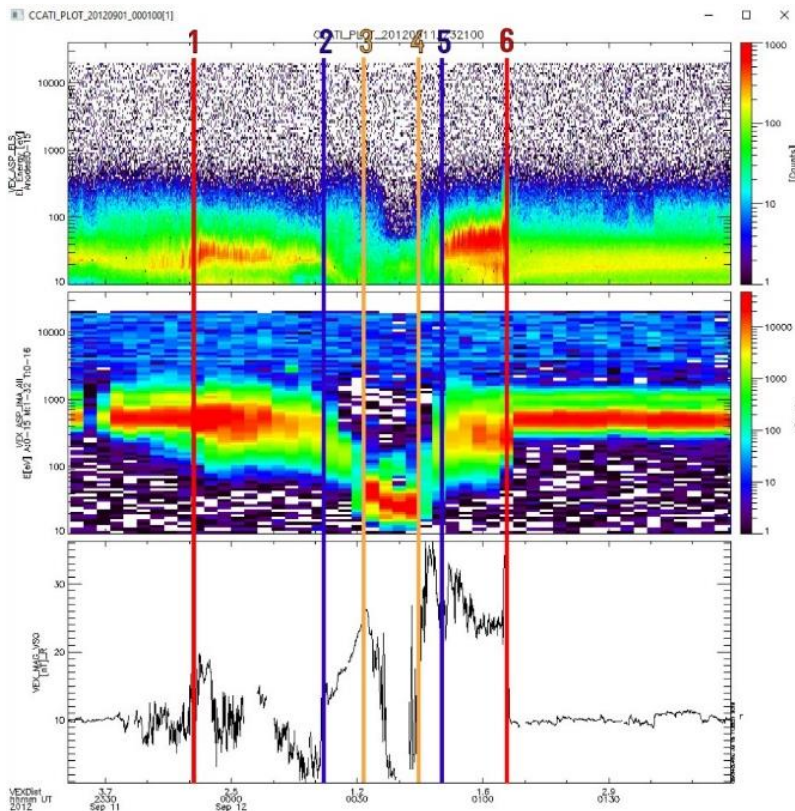


Figura 5: Gráfico gerado no CCATI com dados da VEX.

A numeração mostrada na Figura 5 indica as fronteiras de plasma identificadas. 1 e 6 indicando a entrada e saída da frente de choque, 2 e 5 barreiras magnética, 3 e 4 barreira fotoelétrica.

4 RESULTADO E ANÁLISE

Neste capítulo apresentamos os resultados e análises efetuados pelo bolsista. As análises serão divididas em duas partes, a primeira análise é relacionada aos períodos encontrados no espectro de wavelet, e a segunda análise é a identificação de fronteiras.

4.1 Análise Wavelet

Para se identificar os principais períodos de oscilação de elétrons de baixa frequência na magnetosfera de Vênus, é necessário aplicar a transformada wavelet. Em vista disso, a transformada wavelet foi aplicada aos dados de densidade de elétrons da VEX para 330 cruzamentos pela bainha magnética de Vênus, observados de 2006 a 2008.

Na Figura 6 mostra-se um exemplo da aplicação de WT, no período que VEX cruzou a magnetosfera entre 06:05 UT e 6:31 UT em 09 de setembro de 2008. Na Figura 6-c) nota-se a presença de três períodos principais: 0.86 min (0.02Hz), 1.22 min (0.014Hz), 2.05 min (0.008Hz), aproximadamente. Após aplicar WT em 330 cruzamentos, foram analisados 512 períodos, dividindo-os em intervalos para realizar uma análise estatística.

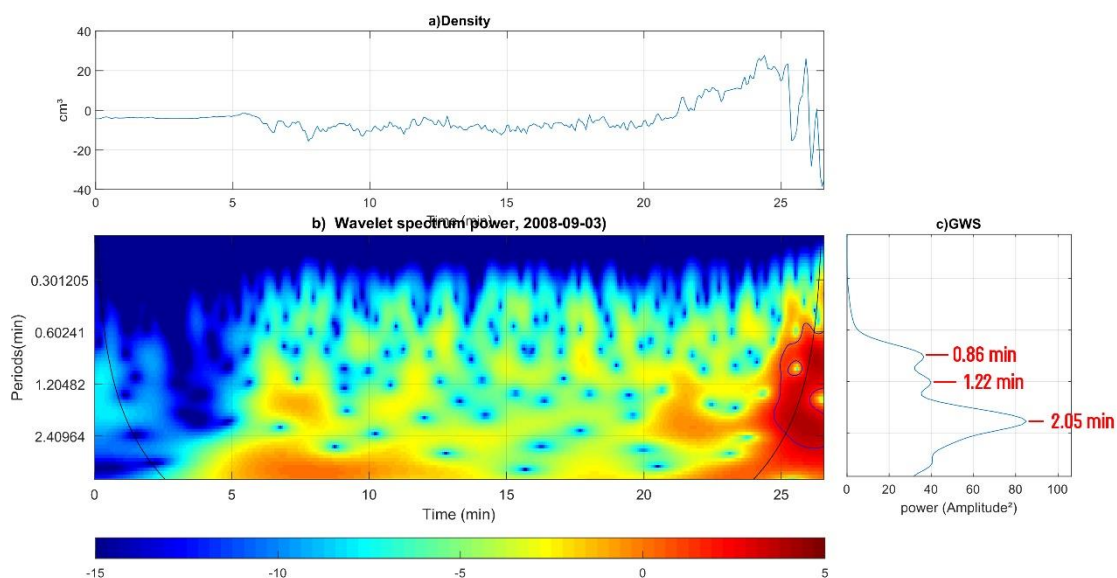


Figura 6: Gráfico a) Densidade eletrônica. b) Espectro de Wavelet. c) GWS.

Como o objetivo é identificar as principais frequências das ondas ULF na bainha magnética de Vênus, fizemos um histograma, mostrado na Figura 7, no qual se pode observar que as principais frequências encontradas estão nas faixas de 5-10 mHz com 53,7% e 10-20 mHz com 40,4% dentro de 512 períodos analisados. Para melhorar a análise as frequências menores, que 5 mHz e acima de 40 mHz foram desconsideradas,

pois podem sofrer influência do potencial da espaçonave, ou seja, a própria VEX com seu movimento pode gerar sinais de ondas falsas, portanto essas frequências não são confiáveis ((R. Espley, 2004); (Lundin, 2011)). A faixa de frequências mais energéticas aqui encontrada está de acordo com o que foi observado para dados de densidade de elétrons na bainha magnética de Marte por Souza et al. (2016), planeta que também apresenta magnetosfera induzida.

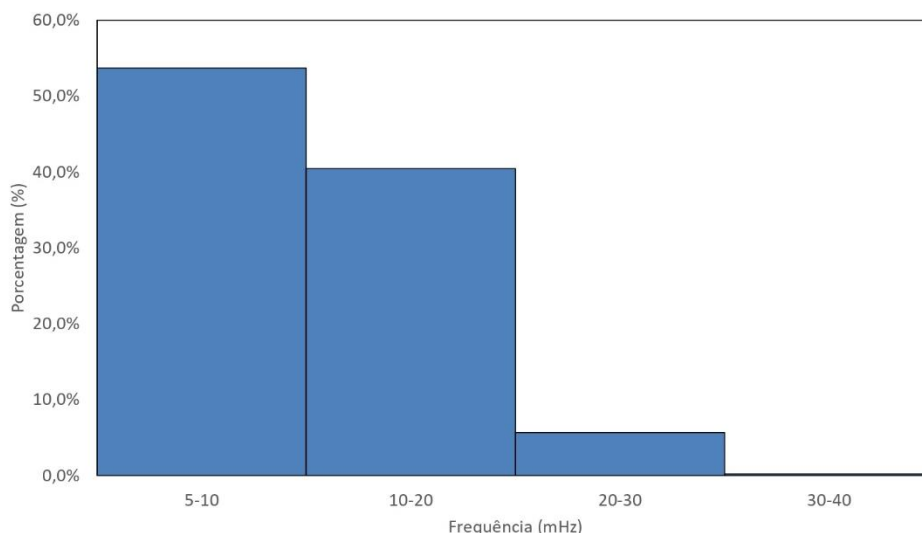


Figura 7: Histograma da porcentagem com as principais frequências encontradas no GWS de 2006 a 2008 cruzadas na magnetosfera de Vênus.

4.2 Identificação das fronteiras

Na análise anterior obtivemos os principais períodos na bainha magnética a partir de dados obtidos durante o cruzamento da espaçonave VEX por essa região para o intervalo entre 2006 e 2008. Para desenvolver esse estudo, fez-se necessário ter conhecimento do momento em que a espaçonave passou pelas fronteiras de plasma que limitam a bainha magnética (frente de choque e MB). Como mencionado na seção 3, o catálogo de fronteiras para os primeiros anos da missão VEX (2006-2010) criado por Martineczs et al. (2008) foi utilizado. Para que possamos expandir este estudo para todo intervalo da VEX (2006-2014), este catálogo precisa ser completado. Nesta seção as fronteiras de plasma da magnetosfera de Vênus são identificadas através de dados obtidos durante o cruzamento da VEX por cada uma delas.

Essa análise consiste em delimitar as fronteiras entre os meses de janeiro a dezembro de 2012. Na Figura 8 é apresentado um exemplo da identificação das fronteiras. Utilizamos dados fornecido pela espaçonave VEX, com uma lista de intervalos que VEX orbita no máximo a 4 raios de Vênus de distância. Posteriormente esses dados foram processados e plotados pelo software CCATI, obtendo os gráficos do espectro dos elétrons, íons e o campo magnético.

Observa-se na Figura 8 uma diferença de fronteiras, na Figura 8 não conseguimos obter a entrada e saída da fronteira PEB como na Figura 5. Isso é devido ao fato do caminho da órbita percorrida do satélite ser diferente, por essa diferença obtemos dificuldades em

determinados gráficos gerados pelo CCATI para identificar as fronteiras 3 e 4, PEB. Para identificar todas as fronteiras foram utilizados os critérios definidos por (MARTINECZ, 2009).

A fronteira 1 e 6, frente de choque, pode ser observada através um aumento repentino na amplitude em todas os três gráficos. Na fronteira 2 e 5, barreira magnética, a entrada é caracterizada por um decaimento da densidade de elétrons e íons e um aumento na intensidade do campo magnético devido ao empilhamento das linhas de campo. Na saída da MB um crescimento no espectro de elétrons e íons é observado, assim como a diminuição da magnitude do campo magnético. Nas fronteiras 3 e 4, a uma dificuldade maior para sua identificação, porém nas fronteiras identificadas observa-se os elétrons de baixa energia no espectro de elétrons. Em certas situações a uma falha no espectro do campo magnético como na Figura 5.

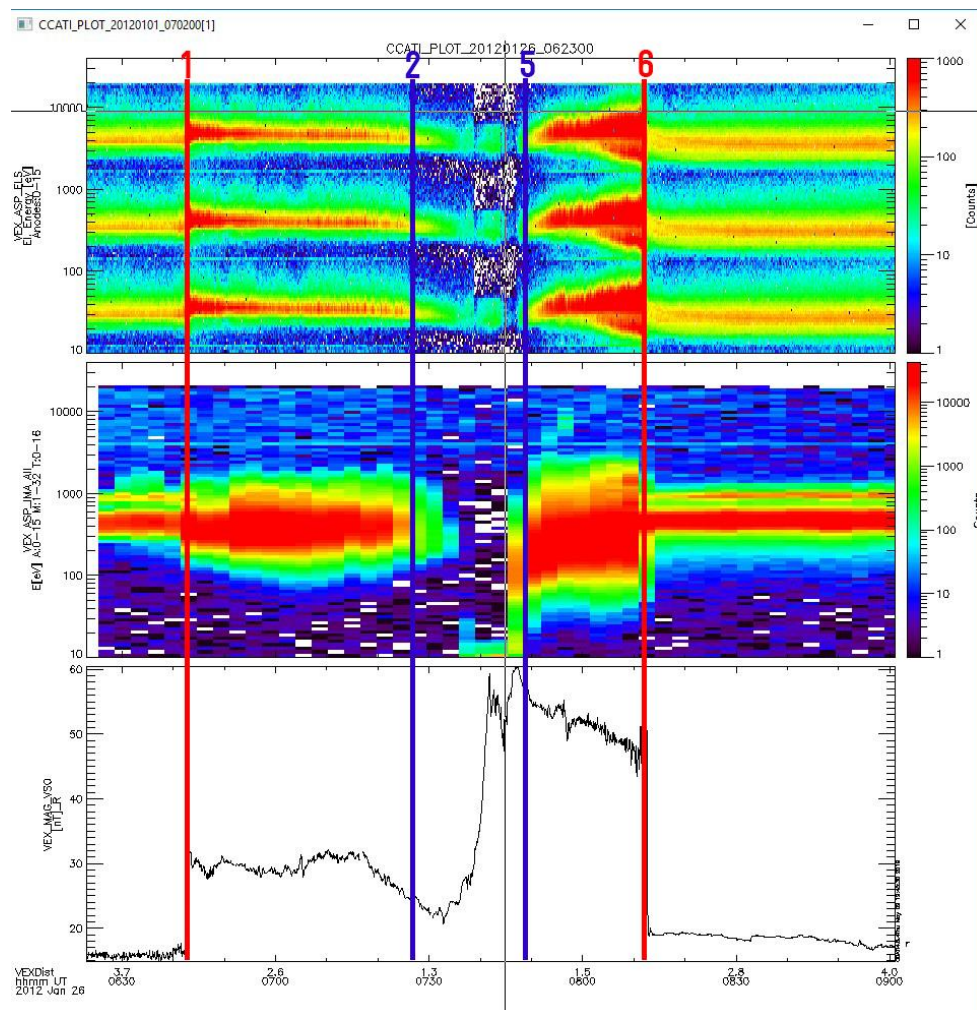


Figura 8: Gráfico gerado no CCATI com dados da VEX para identificar as fronteiras.

Essa identificação tem a sua importância devido ao fato de que com esses dados obtemos os intervalos em que a VEX cruza a bainha magnética de Vênus, assim conseguindo fazer uma análise como na seção anterior.

5 CONCLUSÃO E FUTUROS TRABALHOS

Neste trabalho, o bolsista desenvolveu habilidades e conhecimentos na área de física de magnetosferas planetárias. Além disso o bolsista adquiriu domínio de uma importante ferramenta de análise de séries temporais, a transformada wavelet.

Pode se concluir que na região da bainha magnética de Vênus, observou-se que as frequências principais ocorrem entre 5-20 mHz no ano de 2006 a 2008, semelhante ao resultado obtido por (SOUZA, ECHER, *et al.*, 2016) para a bainha magnética de Marte.

Conforme cronograma do projeto, os próximos passos serão os de determinação dos histogramas dos períodos identificados pelo software CCATI e uma interpretação e comparação dos resultados obtidos.

.

6 REFERÊNCIAS

BARABASH, S. E. A. ASPERA-4 : Analyser of Space Plasmas and Energetic Atoms. **Planetary and Space Science**, v. 55, p. 1772-1792, 2007.

BOLZAM, M. J. A.; VIERIA, P. C. Wavelet analysis of the wind velocity and temperature variability in the amazon forest. **Brazilian Journal of Physics**, v. 36, p. 1217-1222, 2006.

CHAI, et al. SZA-dependent asymmetries in Venusian bow shock location revealed by Venus Express. **Journal of Geophysical Research: Space Physics**, v. 120, p. 4446-4451, 2015.

DAS, A. C. Planetary Magnetospheres. **Pinsa**, p. 389-405, 1998.

DELVA, M.; DUBININ, E. Upstream ULF fluctuations near Mars. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, p. 317-326, 1998.

ECHER, E. Magnetosferas planetárias. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, p. 230, 2010.

ESPLEY, J. R. et al. Observations of low-frequency magnetic oscillations in the Martian magnetosheath, magnetic pileup region, and tail. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 109, p. 1-12, 2004.

FRAENZ, M. et al. CCATi Interface for Tplot data products software-package for Ampterm, cluster CIS, Galileo PLS MAVEN, messenger FIPS, MEX/VEX Aspera, PVO MAG, STEREO and the SPICE system, 2016.

GREENSTADT, E. W. et al. Correlation of Pc 3,4 and 5 activity with solar wind speed. **Journal of Geophysical Research**, v. 84, p. 6694-6696, 1979.

LEPPING, R. P.; BEHANNON, K. W. Magnetic field directional discontinuities: 1. Minimum variance errors. **Journal of Geophysical Research**, v. 85, p. 4695-4703, 1980.

LUHMANN, J. G. The solar wind interaction with Venus. **Space Science Reviews**, v. 44, p. 241-306, 1986.

LUHMANN, J. G. et al. The intrinsic magnetic field and solar-wind interaction of Mars. **Mars**, p. 1090-1134, 1992.

LUHMANN, J. G.; LEDVINA, S. A.; RUSSELL, C. T. Induced magnetospheres. **Advances in Space Research**, v. 33, p. 1905-1912, 2004.

LUHMANN, J. G.; LEDVINA, S. A.; RUSSELL, C. T. Induced magnetospheres. **Advances in Space Research**, v. 33, p. 1905-1912, 2004.

- LUNDIN, R. et al. Low-altitude acceleration of ionospheric ions at Mars. **Geophysical Research Letters**, p. 1-11, 2011.
- MAHAJAN, K. K. Planetary ionospheres: the Venus ionopause. **NISCAIR-CSIR**, v. 24, p. 269-279, 1995.
- MARTINECZ, C. Plasma environment of Venus: Comparison of Venus. **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH**, 2009.
- MARTINECZ, C. et al. Location of the bow shock and ion composition boundaries at Venus-initial determinations from Venus express Aspera-4. **Planetary and Space Science**, v. 56, p. 780-784, 2008.
- PARKER, E. N. Dynamics of the Interplanetary Gas and Magnetic Fields. **Astrophysical Journal**, v. 128, p. 664, 1958.
- PHILLIPS, J. L.; LUHMANN, J. G.; RUSSELL, C. T. Dependence of Venus ionopause altitude and ionospheric magnetic field on solar wind dynamic pressure. **Advance in Space Research**, v. 5, p. 173-176, 1985.
- PODGORNY, I. M.; DUBININ, E. M.; ISRAELEVICH, P. L. Laboratory simulation of the induced magnetospheres of comets and Venus. **The Moon and the Planets**, v. 23, p. 323-338, 1980.
- RUSSELL, C. T. The dynamics of planetary magnetospheres. **Planetary and Space Science**, p. 1005-1030, 2001.
- RUSSELL, C. T. et al. Upstream waves at Mars: phobos observations. **Geophysical Research Letters**, v. 17, p. 897-900, 1990.
- RUSSELL, C. T.; ELPHIC, R. C.; SLAVIN, A. Initial Pioneer Venus Magnetic Field Results: Nightside Observations. **Science**, p. 114-116, 1979.
- RUSSELL, C. T.; LUHMANN, J. G.; STRANGWAY, R. J. The solar wind interaction with Venus through the eyes of the pioneer Venus orbiter. **Planetary and Space Science**, v. 54, p. 1482-1495, 2006.
- SCHWINGENSCHUH, K. et al. Martian bow shock: phobos observations. **Geophysical Research Letters**, v. 17, p. 889-892, 1990.
- SLAVIN, et al. Position and shape of the Venus bow shock - Pioneer Venus Orbiter observations. **Geophysical Research Letters**, v. 6, p. 901-904, 1979.
- SOUZA, A. et al. A study on Electron Oscillations in the Magnetosheath of Mars with Mars Express observations. **Proceedings of the International Astronomical Union**, p. 230-232, 2016.
- TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, p. 61-78, 1998.

VAISBERG, O. L.; ZELNY, L. M. Formation of the plasma mantle in the venusian magnetosphere. **Icarus**, v. 58, p. 412-430, 1984.

VOLWERK, M. et al. First identification of mirror mode waves in Venus' magnetosheath? **Geophysical Research Letters**, v. 35, 2008.

ZHANG, T. L.; LUHMANN, J. G.; RUSSELL, C. T. The magnetic barrier at. **Journal of Geophysical Research**, p. 11,145-11,153, 1991.