

# ANÁLISE DE EMISSÕES SOLARES MÉTRICAS COM LENTA TAXA DE DERIVA EM FREQUÊNCIA ASSOCIADAS À EVAPORAÇÃO CROMOSFÉRICA

**André Rossi Korol<sup>1</sup> (UNIVAP); Francisco Carlos Rocha Fernandes<sup>2</sup> (UNIVAP)**  
**e-mails:** andre.korol754@univap.fve.edu.br; guga@univap.br

## RESUMO

Neste trabalho, foram analisadas duas emissões solares registradas em ondas métricas por espectrógrafos da rede e-Callisto nos dias 9 de agosto de 2011 (~ 08:30 – 08:45 UT) e 15 de maio de 2013 (~ 13:32 – 13:45 UT). As emissões foram selecionadas para a análise, pois apresentam lenta taxa de deriva em frequência e sendo, portanto, possivelmente associadas à evaporação cromosférica. Adotando uma metodologia descrita na literatura, os parâmetros da fonte das emissões foram determinados e comparados.

## INTRODUÇÃO

Os flares solares liberam grandes quantidades de energia magnética, aquecendo o plasma e acelerando elétrons na atmosfera solar. Feixes de elétrons acelerados se propagam ao longo dos loops magnéticos rumo à fotosfera e perdem energia por colisões, dissipada para o plasma dos pés dos loops magnéticos, numa taxa maior do que pode ser irradiada. Como resultado, o plasma aquecido se expande ao longo das linhas de campo, gerando uma frente de expansão quente movendo-se para cima, fenômeno que é comumente chamado de evaporação cromosférica (STURROCK, 1973; DOSCHEK; WARREN, 2005).

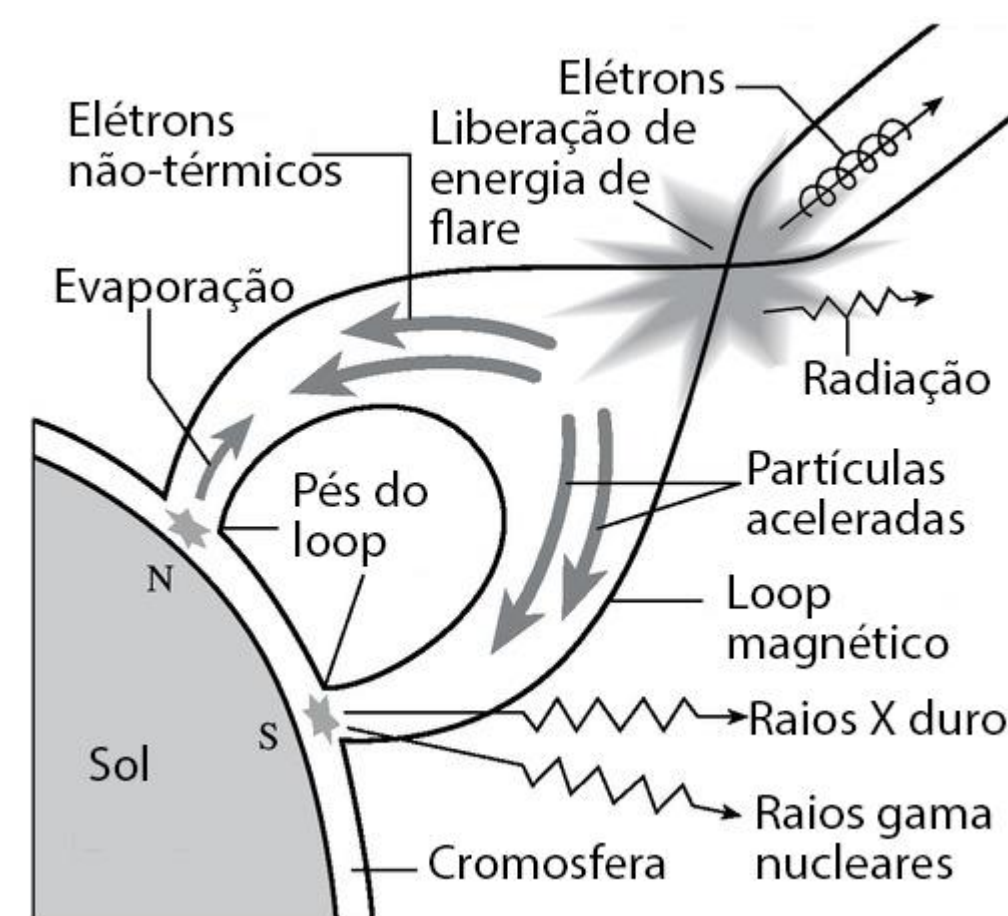


Figura 1. Modelo de flare solar.

Fonte: Lang, Kenneth R, 2010.

Então, cria-se uma frente de descontinuidade em temperatura e densidade movendo-se lentamente para cima ao longo do loop magnético. A interação de elétrons viajando para baixo, rumo aos pés do loop, com esta frente de alta temperatura, possibilita a geração de rádio-emissões pelo mecanismo de emissão de plasma (ASCHWANDEN e BENZ, 1997).

Evidências observacionais de emissões em ondas decimétricas apresentando lenta taxa de deriva em frequência, associadas ao fenômeno de evaporação cromosférica, foram apresentadas por Aschwanden e Benz (1995) e Fernandes et al. (2004). Além disso, acredita-se que esse processo de evaporação cromosférica seja o principal mecanismo de transporte de plasma aquecido emitindo raios-X moles na coroa solar (ANTONUCCI et al., 1985; SAVY, 1996; NING et al., 2009).

## OBJETIVO

O objetivo geral do trabalho é analisar e comparar dados de emissões solares com lenta taxa de deriva em frequência possivelmente associadas à evaporação cromosférica.

Os objetivos específicos são: desenvolvimento de software para análise dos dados das emissões, determinação dos parâmetros da frente da evaporação cromosférica: densidade, temperatura e velocidade do agente emissor e investigação da associação das emissões com a ocorrência de flares em raios-X e ejeções de massa coronal (CME).

## METODOLOGIA

A partir do banco de dados da rede de espectrógrafos e-Callisto, é feita a seleção de rádio-emissões solares em ondas métricas apresentando lenta deriva em frequência. Os dados, em arquivos FITS (Flexible Image Transport System), são de domínio público e podem ser baixados no site da rede e-Callisto.

Foram desenvolvidas ferramentas computacionais (sob o nome de solis-vigilante) para a análise e extração dos dados das rádio-emissões contidos nos arquivos FITS.

A determinação das velocidades do deslocamento ascendente da fonte emissora, associada à taxa de deriva em frequência das emissões, foi feita automaticamente pelo software desenvolvido, seguindo a metodologia de Fernandes et al. (2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionadas duas rádio-emissões solares em ondas métricas apresentando lenta deriva em frequência. A primeira, registrada pelo espectrógrafo BLEN7M (Suíça) no dia 9 de agosto de 2011 (~ 08:30 – 08:45 UT) e a segunda registrada pelo espectrógrafo SRRT (Rússia) no dia 15 de maio de 2013 (~ 13:32 – 13:45 UT). Com a aplicação do solis-vigilante, foram gerados os espectros dinâmicos das duas emissões, mostrados na Figura 2.

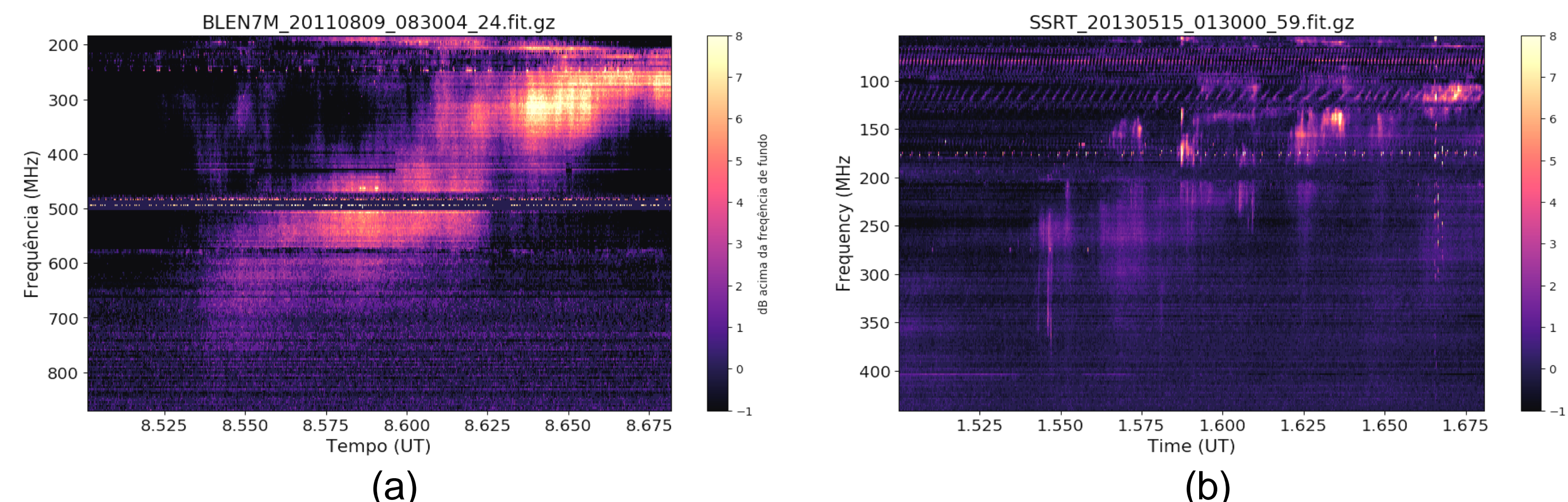


Figura 2- Espectro dinâmico das emissões solares registradas em (a) 9 de agosto de 2011 (~ 08:32 UT) pelo espectrógrafo BLEN7M e em (b) 15 de maio de 2013 (~ 13:32 UT) pelo espectrógrafo SRRT. O eixo horizontal é dado em frações de hora, em Tempo Universal (UT).

Fonte: Os autores.

Em ambos os eventos, identifica-se a taxa de deriva em frequência das emissões analisadas. Assim, a partir da metodologia descrita acima, adotando-se o regime para a coroa superior ( $h > h_1$ ), os parâmetros das emissões e da fonte foram determinados. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 1. A Tabela 2 apresenta os flares e as CMEs registrados em horários próximos aos das emissões analisadas. Ambas ocorreram na fase de decaimento do flare, após o instante de máximo (pico), sendo que o evento 2 teve início apenas 2 minutos após o pico do flare.

Evento	$\Delta t$ (MHz)	$\Delta t$ (s)	$df/dt$ (MHz/s)	$\Delta Ne$ ( $10^9 \text{ cm}^{-3}$ )	$\Delta h$ ( $10^3 \text{ km}$ )	$V_f$ (km/s)
1	162,2	212,4	0,764	1,84	50,258	236,6
2	150,5	348,8	0,431	0,89	91,512	262,3

Tabela 1. Parâmetros das rádio-emissões de 09 de agosto de 2011 (evento 1) e 15 de maio de 2013 (evento 2): intervalo de tempo ( $\Delta t$ ), banda de frequência ( $\Delta f$ ), taxa de deriva ( $df/dt$ ), intervalo de densidade eletrônica ( $\Delta Ne$ ), intervalo de altura acima da fotosfera ( $\Delta h$ ) e velocidade da região emissora ( $v_f$ ). FONTE: os autores.

Evento	Flare Raio-X	Pico (UT)	Região Ativa	CME (tipo)	Início (UT)	$V_{C1}$ (km/s)	$V_{C2}$ (km/s)
1	X6.9	08:05	1263	Halo	08:12:06	1.610	1.419
2	C1.4	13:30	1745	Parcial	12:24:05	333	258

Tabela 2. Dados da atividade associada às rádio-emissões de 09 de agosto de 2011 (evento 1) e 15 de maio de 2013 (evento 2): Classe do flare em raios-X; instante de pico do flare, região ativa, CME, instante de início da CME; velocidade linear da CME (VLIN) e velocidade final (2a ordem) da CME (V2ND). FONTES: NOAA-SWPC e CDAW-GSFC.

Também foram registradas CMEs antes das rádio-emissões. A CME tipo halo registrada antes do evento 1, apresentou alta velocidade (1.610 km/s), muito superior à velocidade determinada da frente da taxa de deriva, reforçando a hipótese das emissões de 09 de agosto de 2011 estarem associadas à evaporação cromosférica e não à onda de choque da CME.

## CONCLUSÃO

Mesmo que preliminares, os resultados concordam com resultados obtidos por Aschwanden e Benz (1995) ( $270 \pm 90 \text{ km/s}$ ) e por Fernandes et al. (2004) (30 - 1700 km/s), para emissões decimétricas, reforçando as considerações de que as emissões métricas ocorrem em altitudes da ordem de 10 km acima da fotosfera solar. No entanto, a amostra de eventos analisados necessita ser ampliada, uma vez que outras emissões apresentando lenta deriva em frequência já foram identificadas no banco de dados da rede e-Callisto.

Além disso, é possível também concluir que, mesmo ainda em fase de desenvolvimento, o software de análise apresentou bom desempenho, e a implementação de ferramentas para a automatização da extração da taxa de deriva e dos parâmetros da fonte serão aprimoradas e propriamente testadas.

## REFERÊNCIAS

- ANTONUCCI, E. et al. Initial Phase of Chromospheric Evaporation in a Solar Flare. Solar Physics, V.96, 129-142, 1985.
- ASCHWANDEN, M. J.; BENZ, A. O. Chromospheric Evaporation and Decimetric Radio Emission in Solar Flares. Astrophysical Journal, V.438, 997, 1995.
- ASCHWANDEN, M. J.; BENZ, A. O. Electron densities in solar flare loops, chromospheric evaporation upflows, and acceleration sites. Astrophysical Journal, V.480, 825-839, 1997.
- FERNANDES, F. C. R. et al. Decimetric Fine Structures as a possible signature of Chromospheric Evaporation. Brazilian Journal of Physics, V.34, N.4B, 1792-1796, 2004.
- NING, Z. et al. Evidence of chromospheric evaporation in the 2004 December, 1 solar flare. Astrophysical Journal, V.699, 15-22, 2009.
- SAVY, S. K. Direct observations of chromospheric evaporation in solar flares. ASP Conference Series, V.111, 240, 1996.
- STURROCK, P. A. Mass Flow in Solar Flares. Bulletin of American Astronomical Society, V.5, 280, 1973.

**1. André Rossi Korol** - Graduando em Engenharia da Computação - UNIVAP; **2. Francisco Carlos Rocha Fernandes** – Dr. em Astrofísica - INPE



SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA - 2018  
"CIÊNCIA PARA A REDUÇÃO DAS  
DESIGUALDADES"

**IV Jornada Científica e IV Seminário de Projetos de Inovação Tecnológica – 17 e 18 de outubro de 2018**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO – CÂMPUS SÃO JOSÉ DOS CAMPOS**