

Diagnóstico de explosões solares em microondas
através da reconstrução da dinâmica de elétrons
injetados em um campo magnético construído pela
teoria de campo livres de força



Tereza Satiko Nishida Pinto

Workshop da pós graduação da DAS/INPE

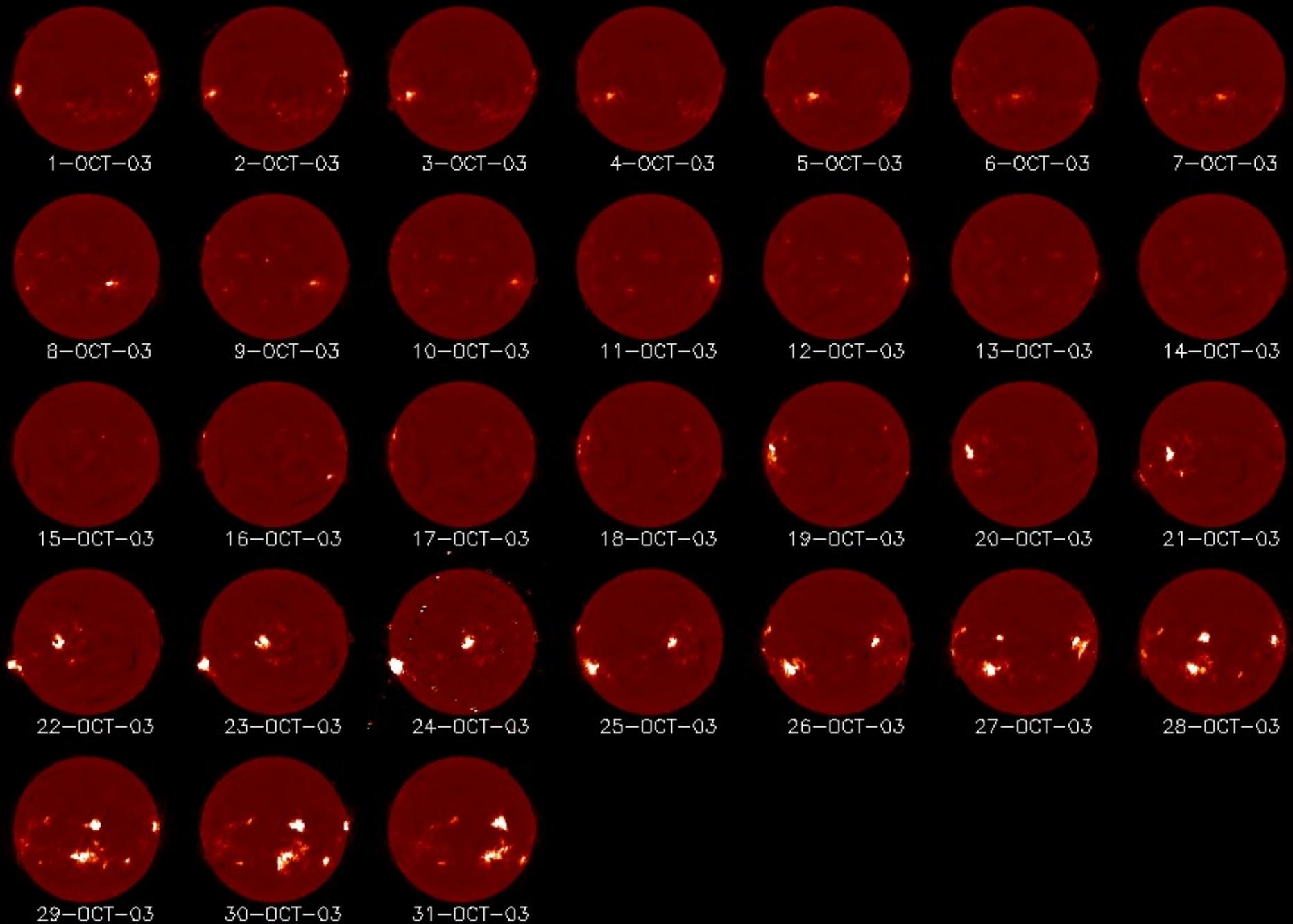
8 de Abril de 2015

Realizar diagnósticos da região emissora em microondas, descrevendo o campo magnético e a população de elétrons não térmicos com o uso de um método *forward fitting* de ajuste de modelos de transferência radiativa.

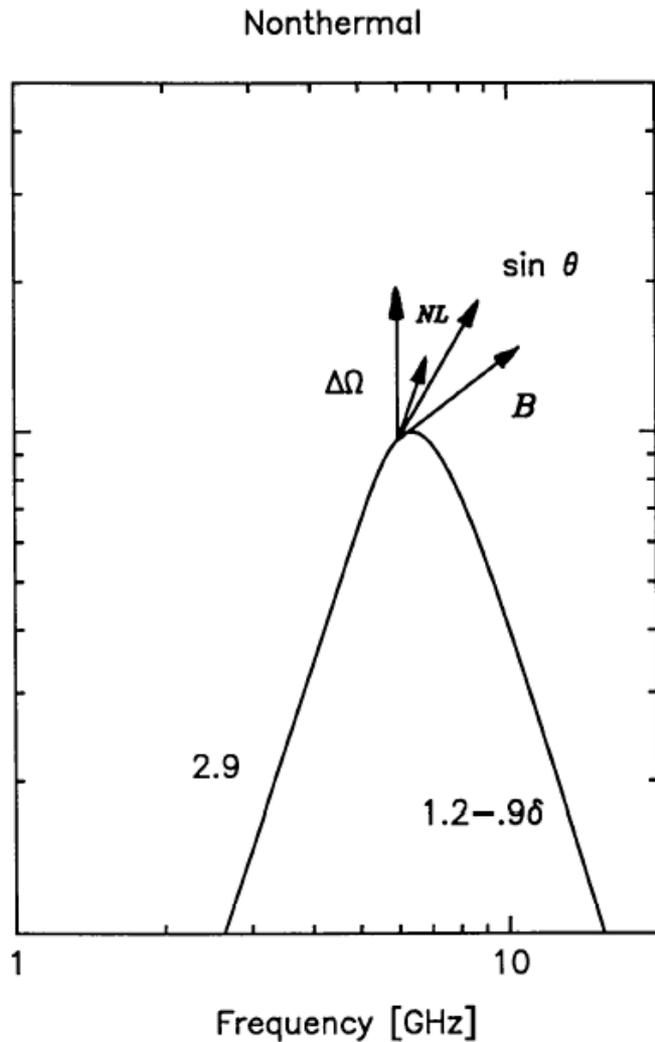
O método desenvolvido tem dois componentes principais:

- Modelo físico: solução de campo magnético livre de forças e funções de parametrização dos elétrons e do plasma;
- Método de otimização com algoritmo genético (pikaia): cálculo de modelos físicos e comparação às observações.

Explosões solares em microondas



Explosões solares em microondas



Emissão girossincrotrônica de elétrons não térmicos.

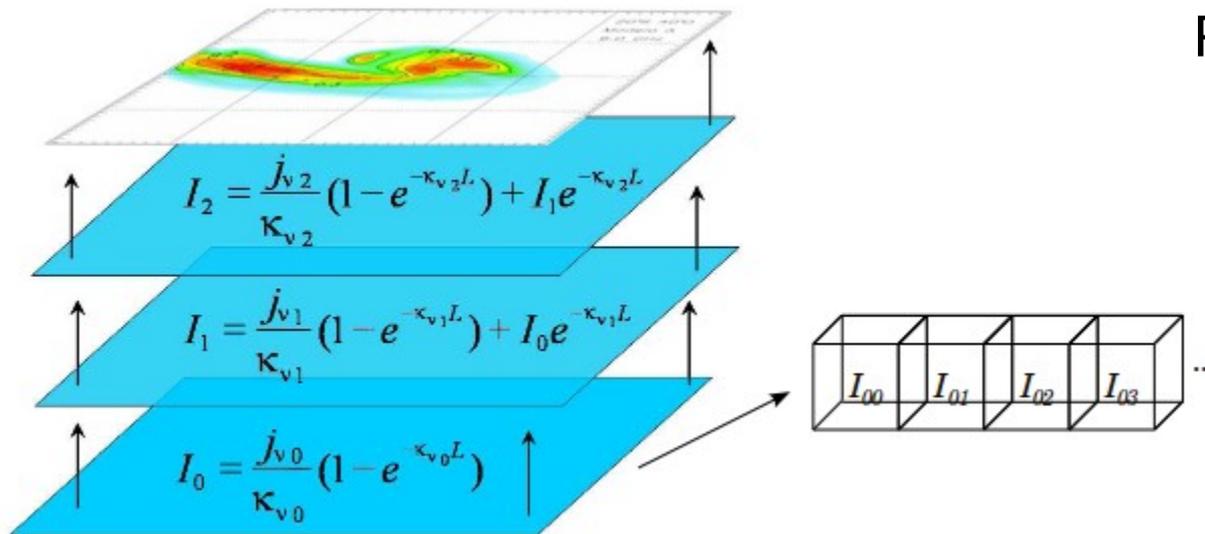
Emissão depende fortemente de:

- Direção do campo magnético ($\sin\theta$)
- Intensidade magnética (B)
- Densidade colunar de elétrons (NL)
- Ângulo sólido ($\Delta\Omega$)

Transferência radiativa

Coeficientes de emissão e auto absorção:

Ramaty (1969)



Ingredientes do modelo físico:

- Campo magnético tridimensional;
- Distribuição de elétrons no espaço, em energia, em ângulo de passo;
- Distribuição de densidade e de temperatura do plasma.

Campo magnético livre de forças

Equações do campo magnético livre de forças:

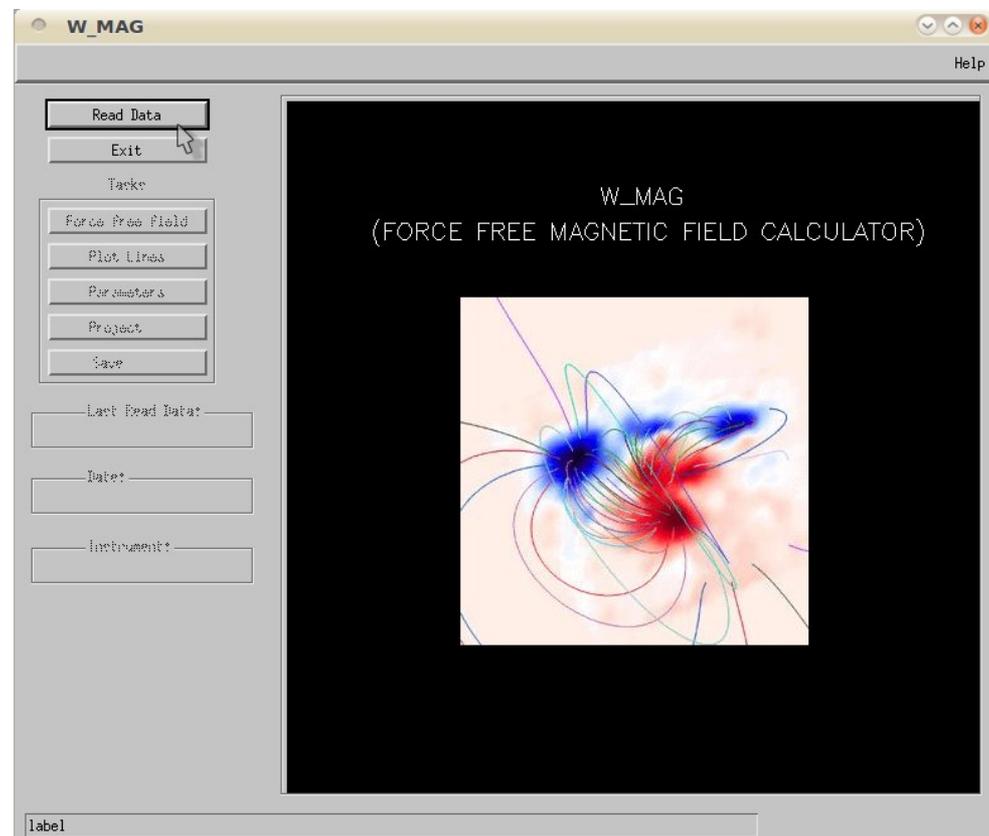
$$\nabla \times \vec{B} = \alpha \vec{B}$$

$$\vec{B} \cdot \nabla \alpha = 0$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

α é função da posição e determina a distribuição de correntes no volume.

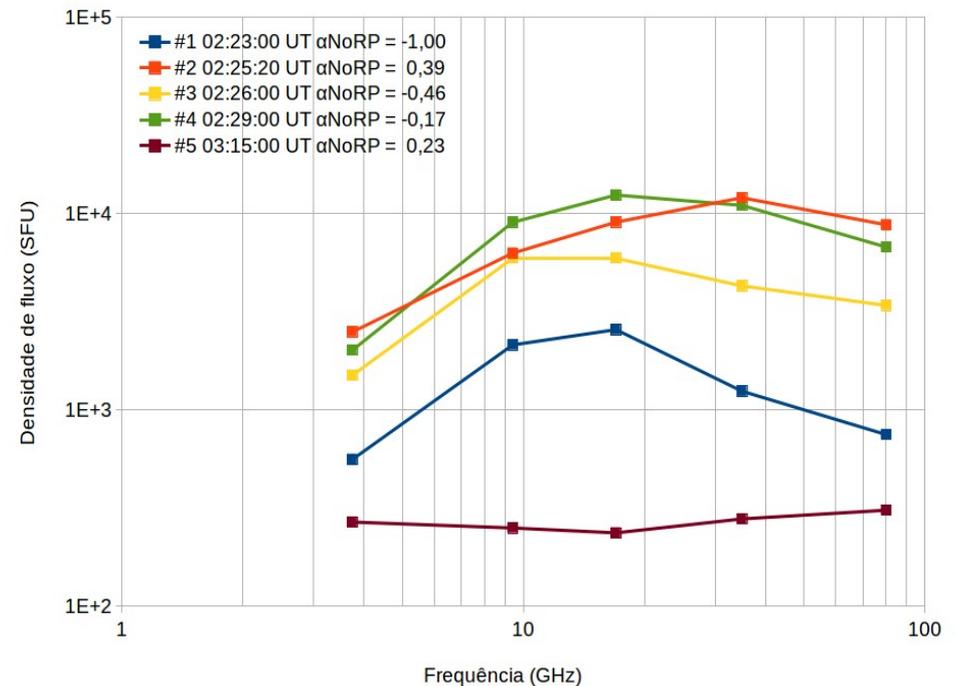
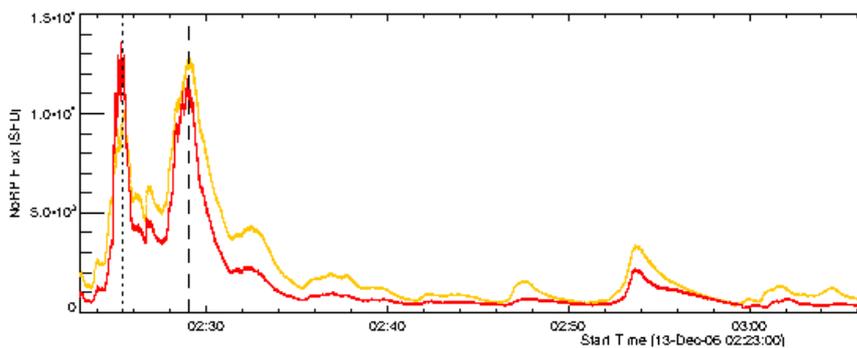
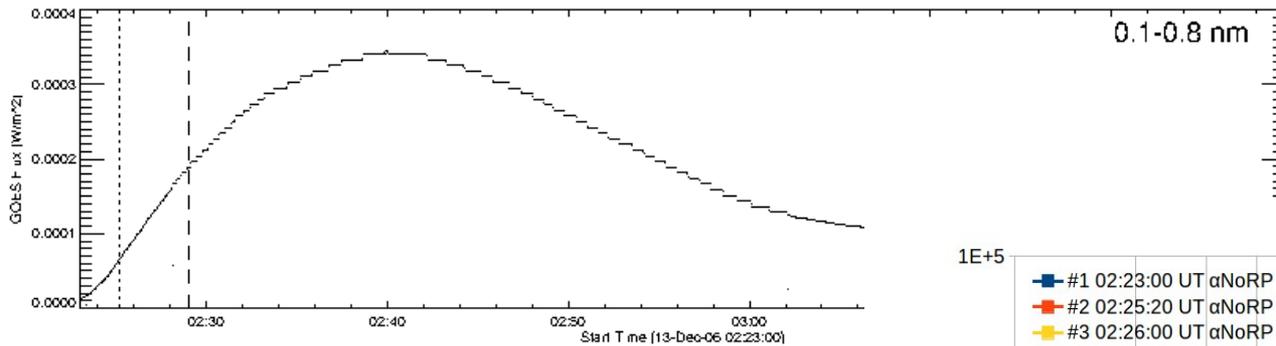
- $\alpha = 0$ (campo potencial)
- $\alpha = \text{constante}$ (campo linear)



Solução para o campo magnético livre de forças linear de Nakagawa e Raadu (1972) com condições de contorno de Seehafer (1978); utiliza transformadas de Fourier, implementado em IDL com transformadas rápidas; condições de contorno são observacionais, fornecidas por magnetogramas longitudinais fotosféricos.

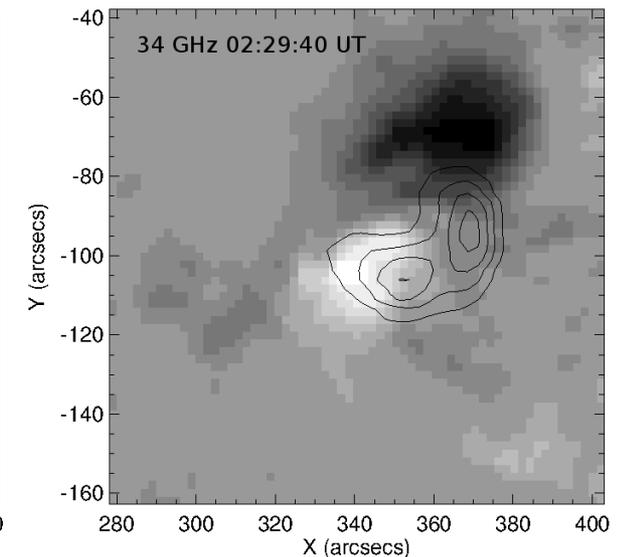
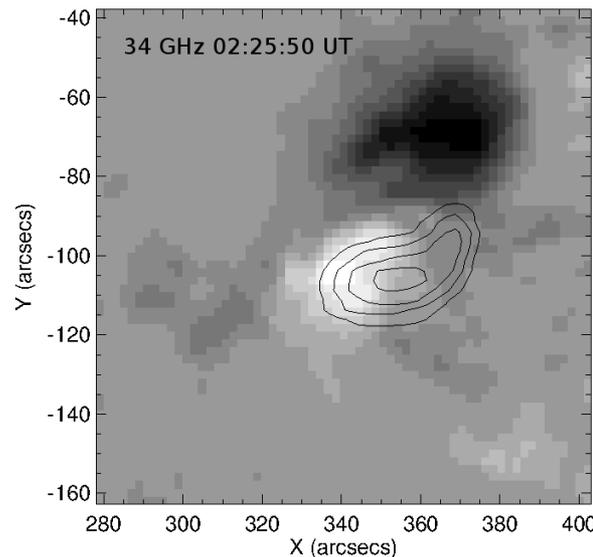
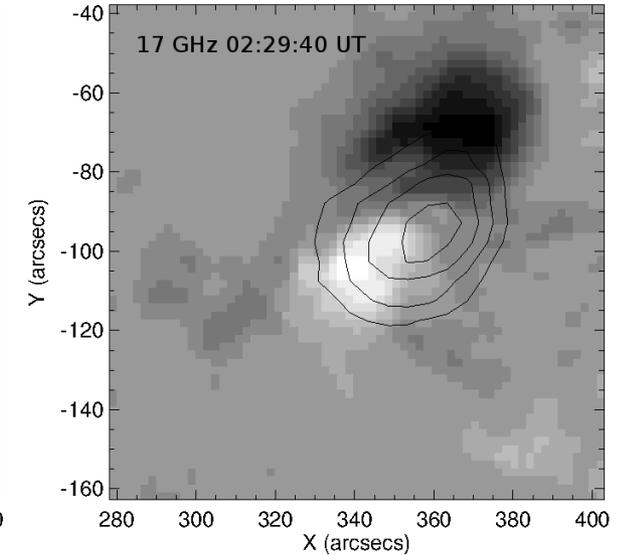
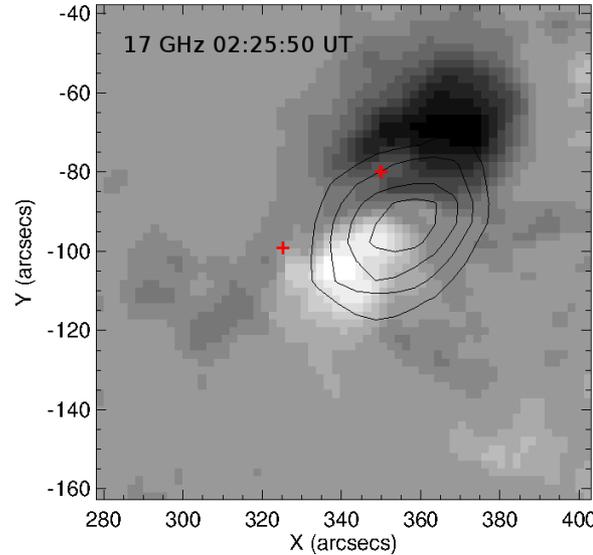
Evento SOL2006-12-13T02:21UT

- Ocorreu na região ativa AR 10930;
- Classe GOES X3,4 com ejeções de massa coronal e outros eventos associados;
- Observações em microondas do Rádio Observatório de Nobeyama.

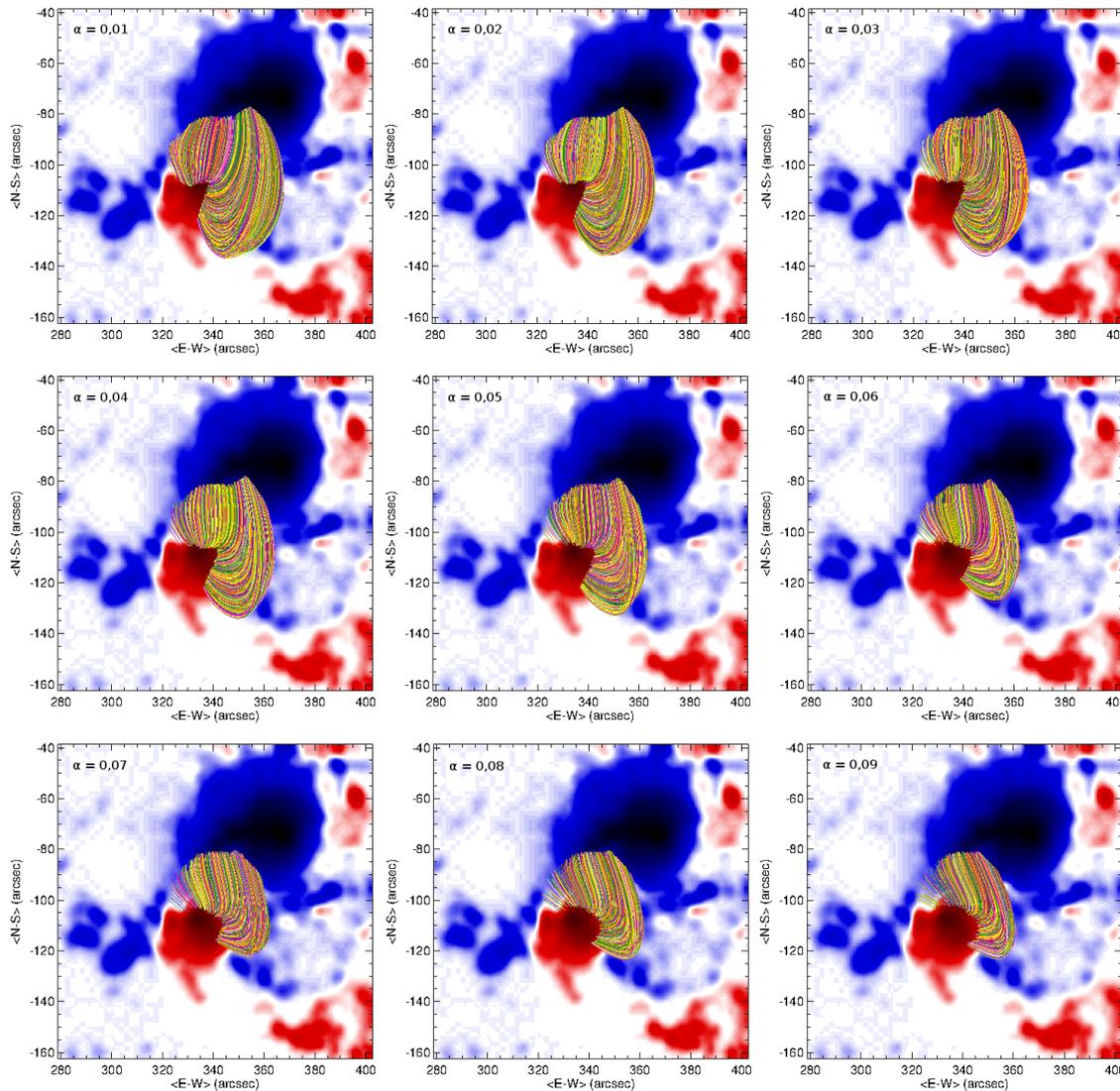


Evento SOL2006-12-13T02:21UT

- Imagens em microondas sobrepostas a magnetogramas;
- Geometrias distintas conforme a frequência;
- Em 17 GHz uma única fonte quase elíptica e em 34 GHz com formato de arco;
- Costuma-se associar essas geometrias as fontes no topo dos arcos (17 GHz) e próximas aos pés dos arcos (34 GHz).
- Cruzes vermelhas indicam *kernels* da banda G (Jing et al., 2008)

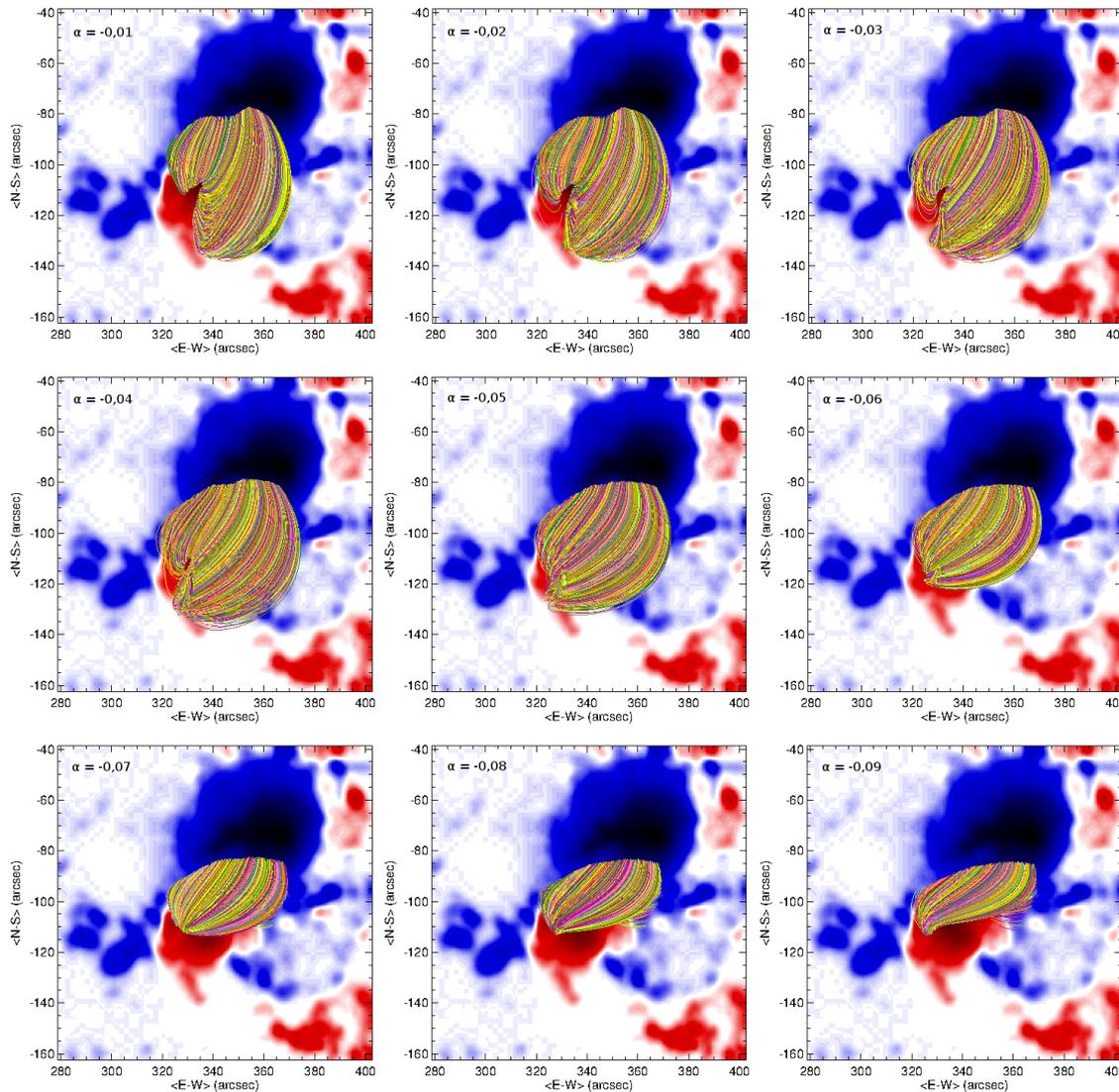


Extrapolações - α positivo



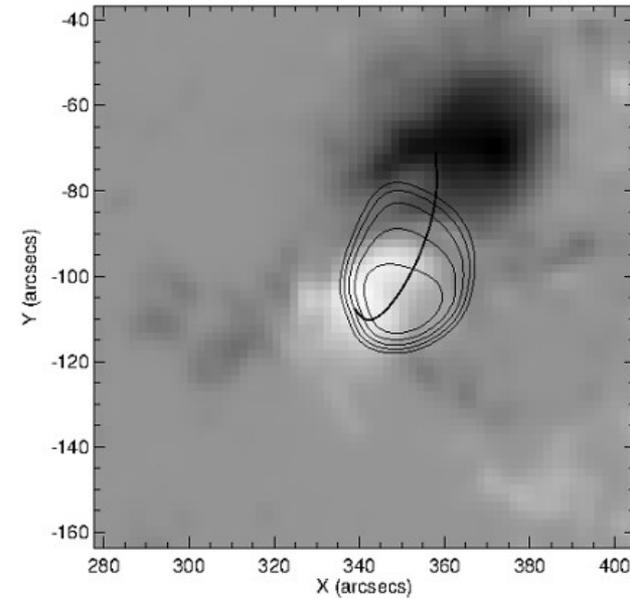
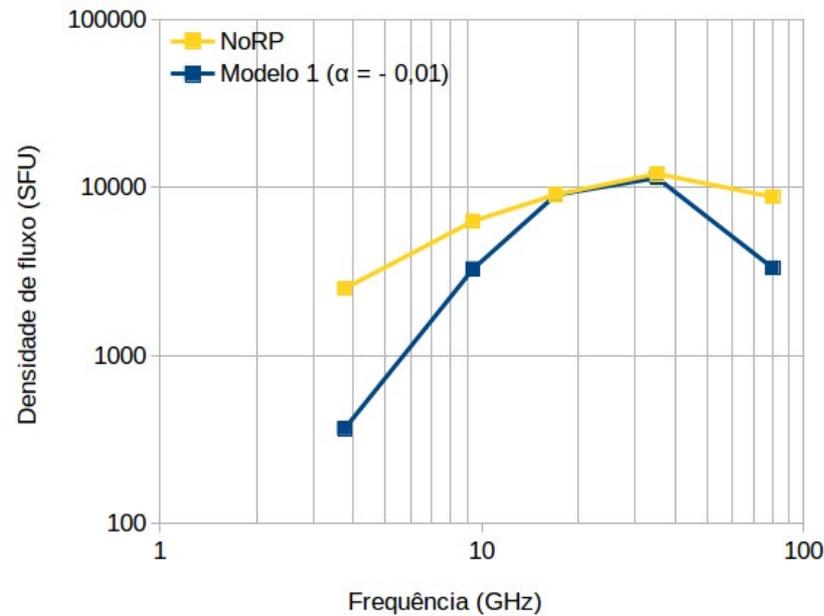
- Ao aumentar o valor de α aumenta-se o stress ou torção das linhas de campo;
- α positivo corresponde a torção no sentido anti-horário;
- Porém, essas soluções não são boas correspondências às observações em microondas do NoRH.

Extrapolações - α negativo



- α negativo corresponde a torção no sentido horário;
- Distinção de duas topologias: à direita e à esquerda de $\sim 330''$;
- Separação de linhas mais baixas (e curtas) e linhas mais altas;
- Ausência de linhas no centro da polaridade negativa pode ser devida à correção da saturação;
- As soluções foram comparadas às observações em microondas do NoRH.

Resultados pikaia - primeiro pico



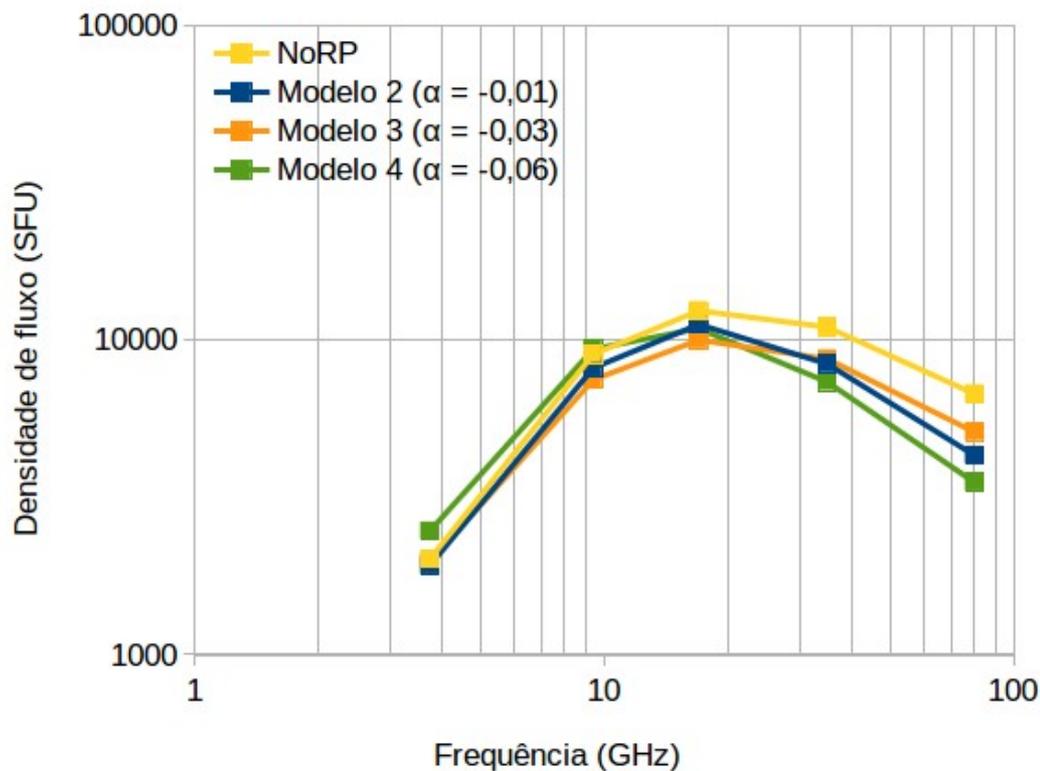
Parâmetros do melhor modelo no primeiro pico

Parâmetro	Modelo 1 $\alpha = -0,01$
L	3496
dl	8
δ	1,45
n_e (cm^{-3})	$10^{6,7}$
N_e	$3,28^{34}$
p_1, p_2	1,56; 1,39
T (K)	$10^{6,2}$
n_p (cm^{-3})	$10^{10,1}$

Características do campo magnético

- $\alpha = -0,01$;
- Altura máxima de $2,45 \times 10^9$ cm;
- Intensidade magnética 55 G no topo dos arcos;

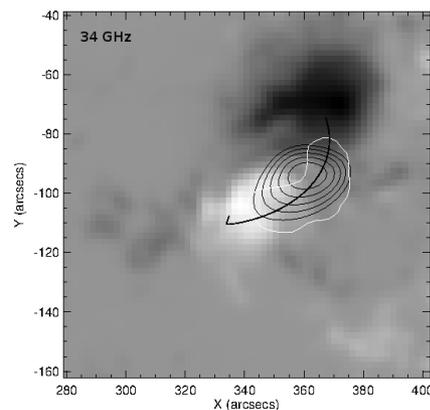
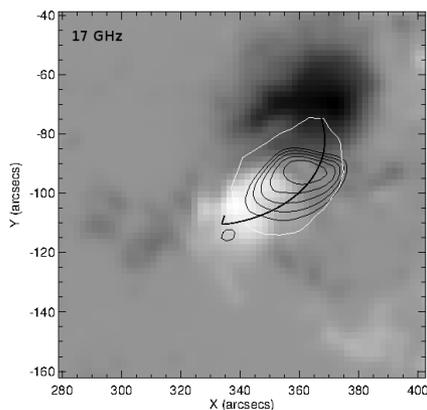
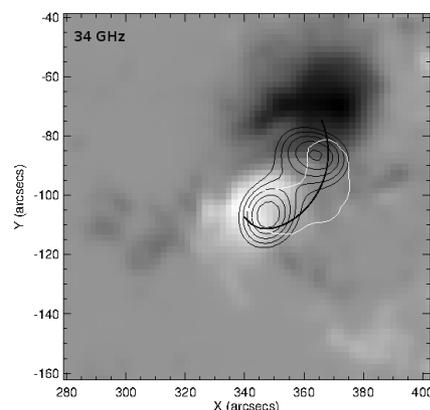
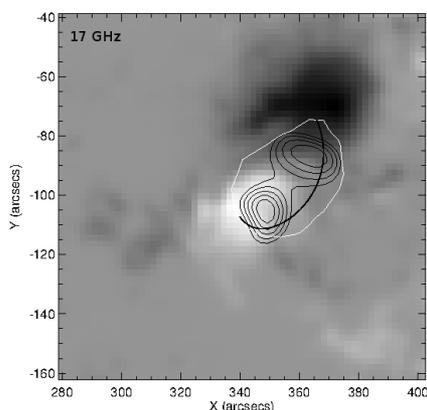
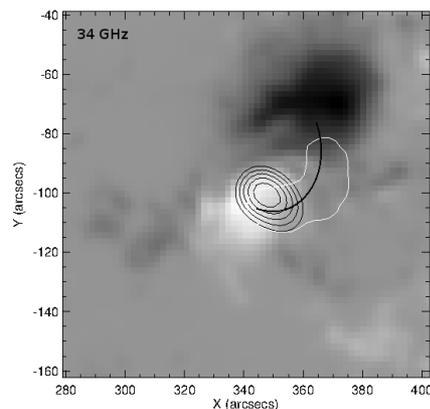
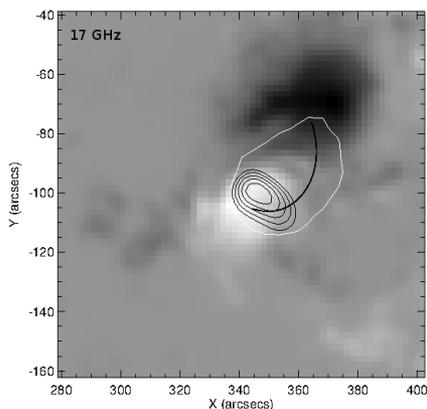
Resultados pikaia - segundo pico



Parâmetros dos melhores modelos no segundo pico

Parâmetro	Modelo 2 $\alpha = -0,01$	Modelo 3 $\alpha = -0,03$	Modelo 4 $\alpha = -0,06$
L	1422	3466	2686
dl	9	8	4
δ_1, δ_2	5,22; 1,85	5,72; 1,79	4,62; 1,59
n_e (cm^{-3})	$10^{6,4}$	$10^{6,7}$	$10^{6,4}$
N_e	$2,66^{34}$	$5,79^{34}$	$7,55^{33}$
p_1, p_2	1,90; 2,66	0,41; 7,09	1,50; 1,66
T (K)	$10^{6,4}$	$10^{11,9}$	$10^{7,3}$
n_p (cm^{-3})	$10^{11,2}$	$10^{6,9}$	$10^{10,3}$

Resultados pikaia - segundo pico



Modelo #2

- Modelo de concentração *looptop* com concentração no topo 9000 vezes maior que nos pés e mais próximos à polaridade positiva.

Modelo #3

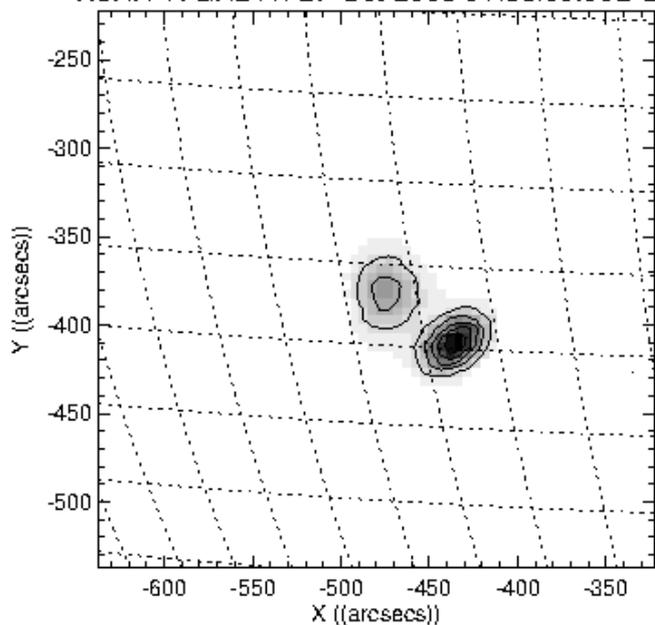
- Tipo *footpoint* (pode reproduzir duas fontes);
- Geometria com baixa Inclinação.

Modelo #4

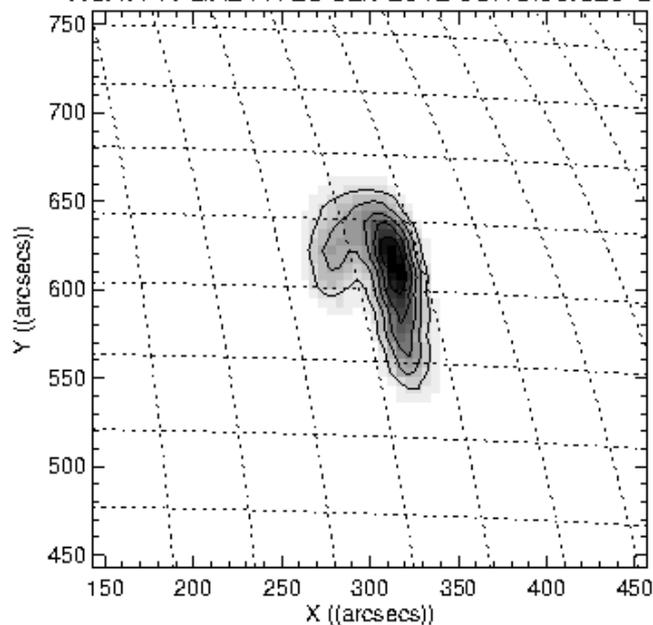
- Tipo *looptop* quase homogêneo
- Linhas mais baixas e menor profundidade da fonte.

Outras geometrias

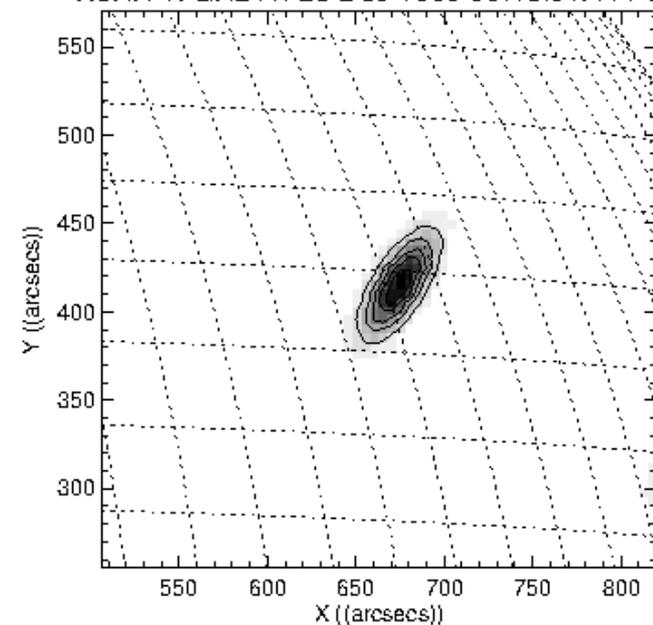
NoRH 17GHz r+l 27-Oct-2003 01:35:00.992 UT



NoRH 17GHz r+l 23-Jan-2012 03:45:00.820 UT

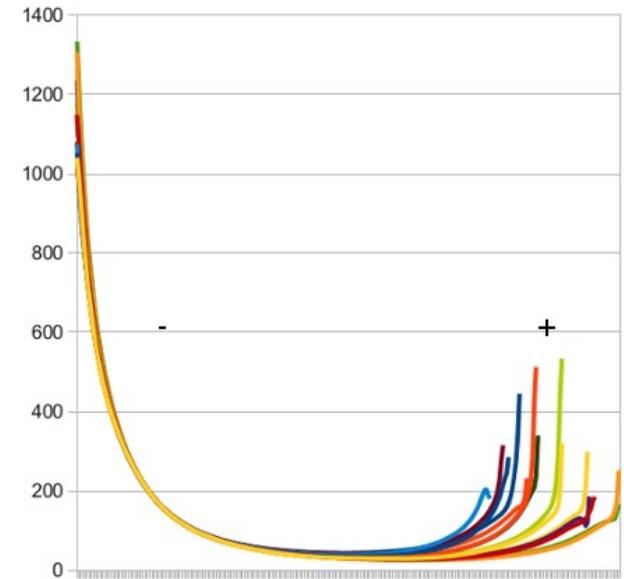
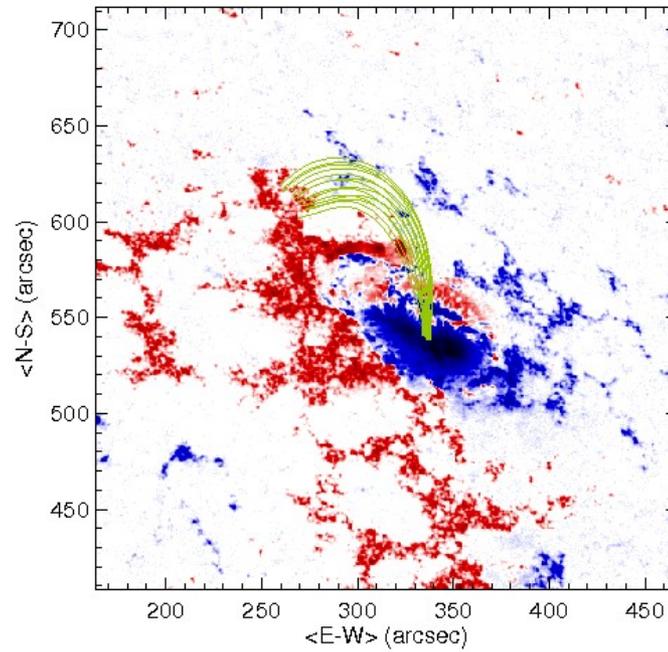
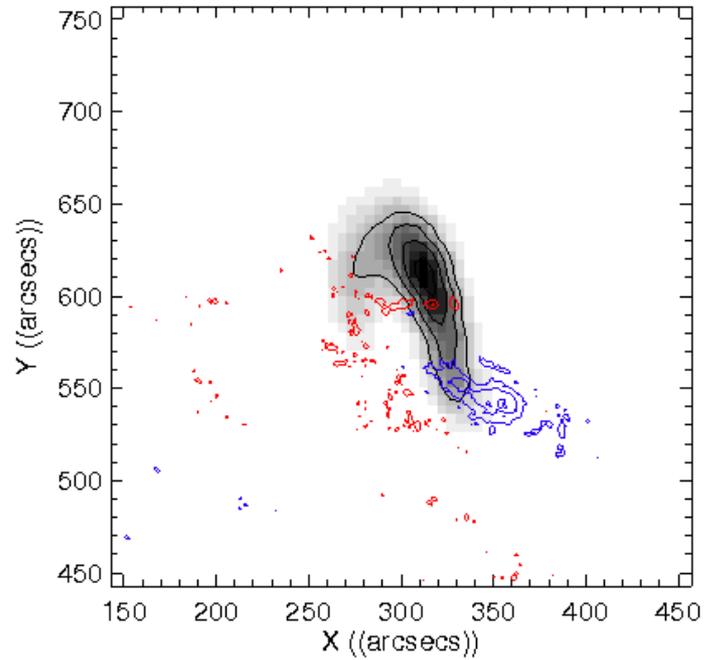


NoRH 17GHz r+l 28-Dec-1999 00:43:01.444 UT



Evento SOL2012-01-23T03:50UT

NoRH 17GHz r+l 23-Jan-2012 03:50:00.820 UT



Site de referências e tutoriais em IDL:

<http://sites.google.com/site/grupoidldas/home>