

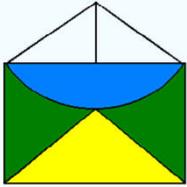


# **PROJETO BRAZILIAN DECIMETRIC ARRAY:**

---

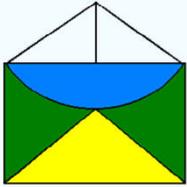
**Francisco C. R. Fernandes**

UNIVAP/2007



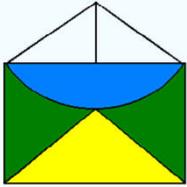
# CONTEÚDO

- ✓ MOTIVAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO
- ✓ RÁDIO-INTERFEROMETRIA
- ✓ O INSTRUMENTO BDA
- ✓ MARCOS DO DESENVOLVIMENTO
- ✓ FASES DO BDA
- ✓ OBSERVAÇÕES INICIAIS - PBDA
- ✓ DESENVOLVIMENTO DA FASE II
- ✓ SITUAÇÃO ATUAL E FUTURO DO PROJETO
- ✓ CIÊNCIA E APLICAÇÕES
- ✓ SUB-SISTEMAS



# MOTIVAÇÃO



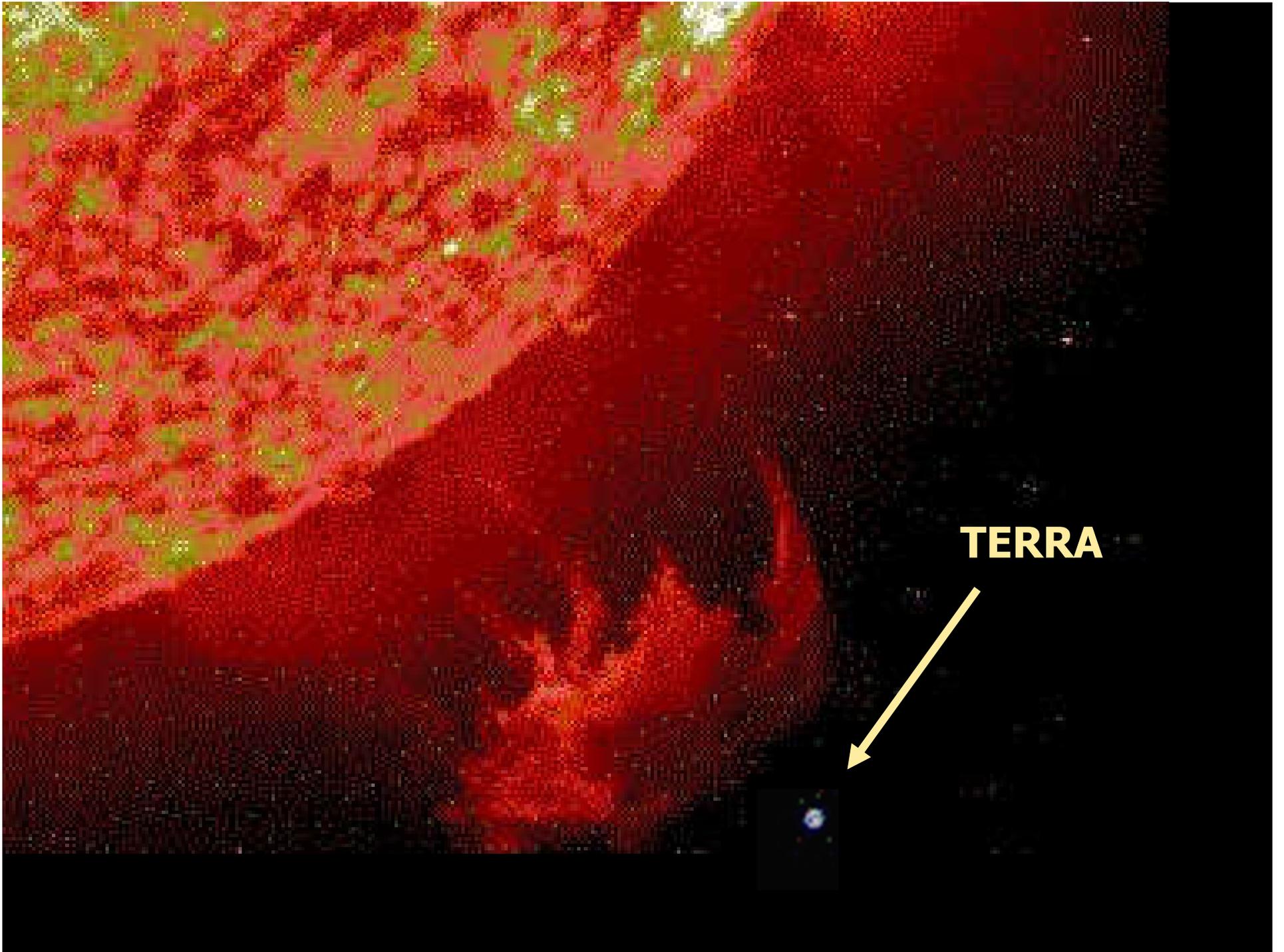


# VOCÊ SABIA?

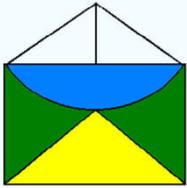
- ? **Janeiro / 1994:** 2 satélites canadenses de telecomunicações saíram de operação, um por horas outro por meses
- ? **Janeiro / 1997:** o satélite Telstar 401 da AT&T saiu de operação permanentemente.
- ? **Outubro / 1997:** o Satélite de comunicações indiano Insat 2D saiu de operação.
- ? **Maior / 1998:** o Satélite GALAXY 4 se tornou inoperante  
o Satélite EQUATOR S foi inutilizado
- ? **Julho / 1998:** o Satélite GALAXY 7 teve o mesmo destino do GALAXY 4
- ? **Outubro / 1998:** o GOES 8 sofreu um dano operacional grande

Estes são apenas alguns dos satélites que foram danificados.

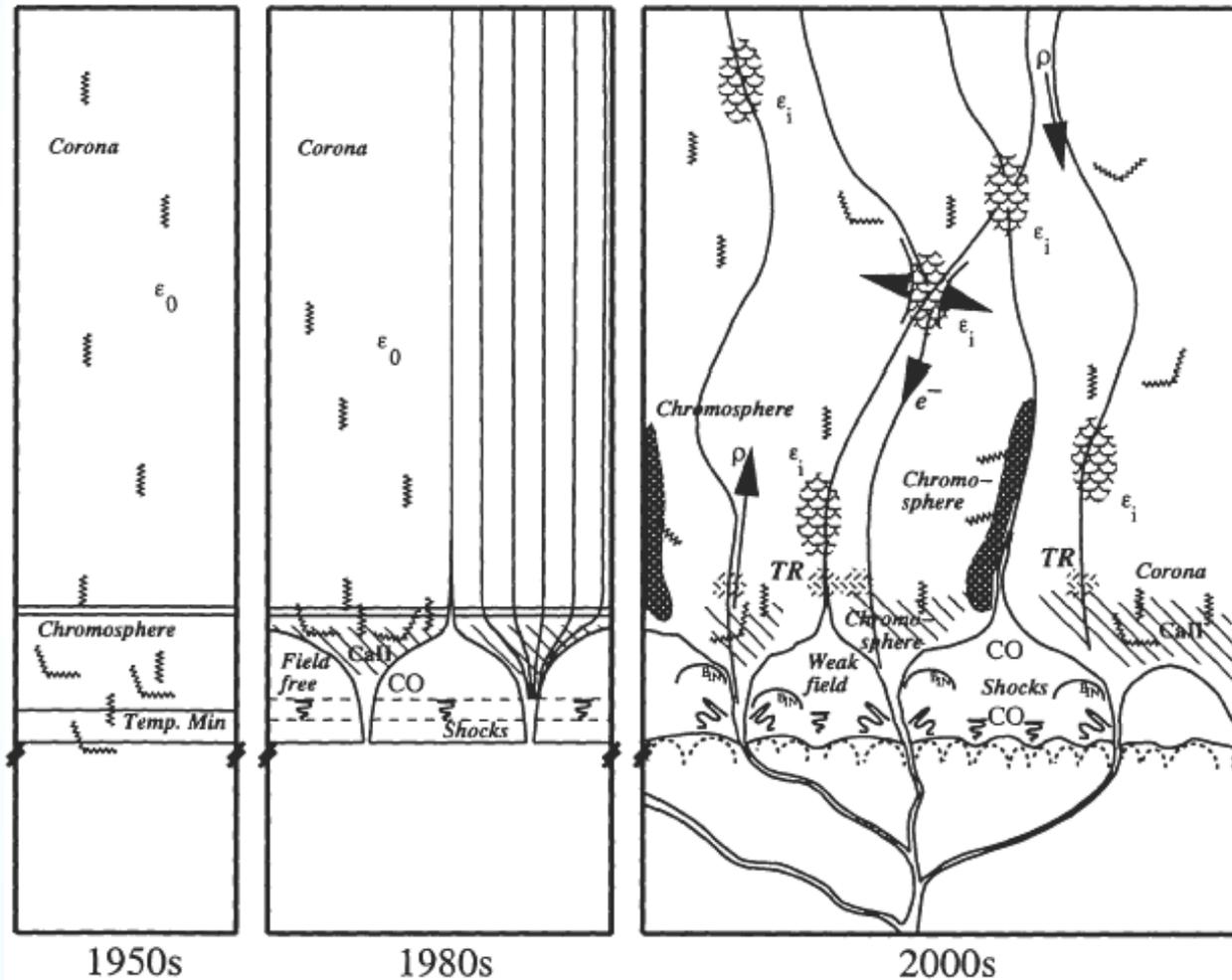
## O QUE CAUSA ESTES DANOS?

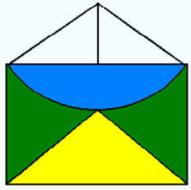


**TERRA**



# IMAGEMNETO DA COROA SOLAR

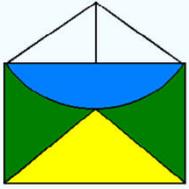




# RÁDIO INTERFERÔMETROS DECIMÉTRICOS EM OPERAÇÃO

Univap

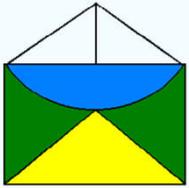




# MARCOS DO DESENVOLVIMENTO

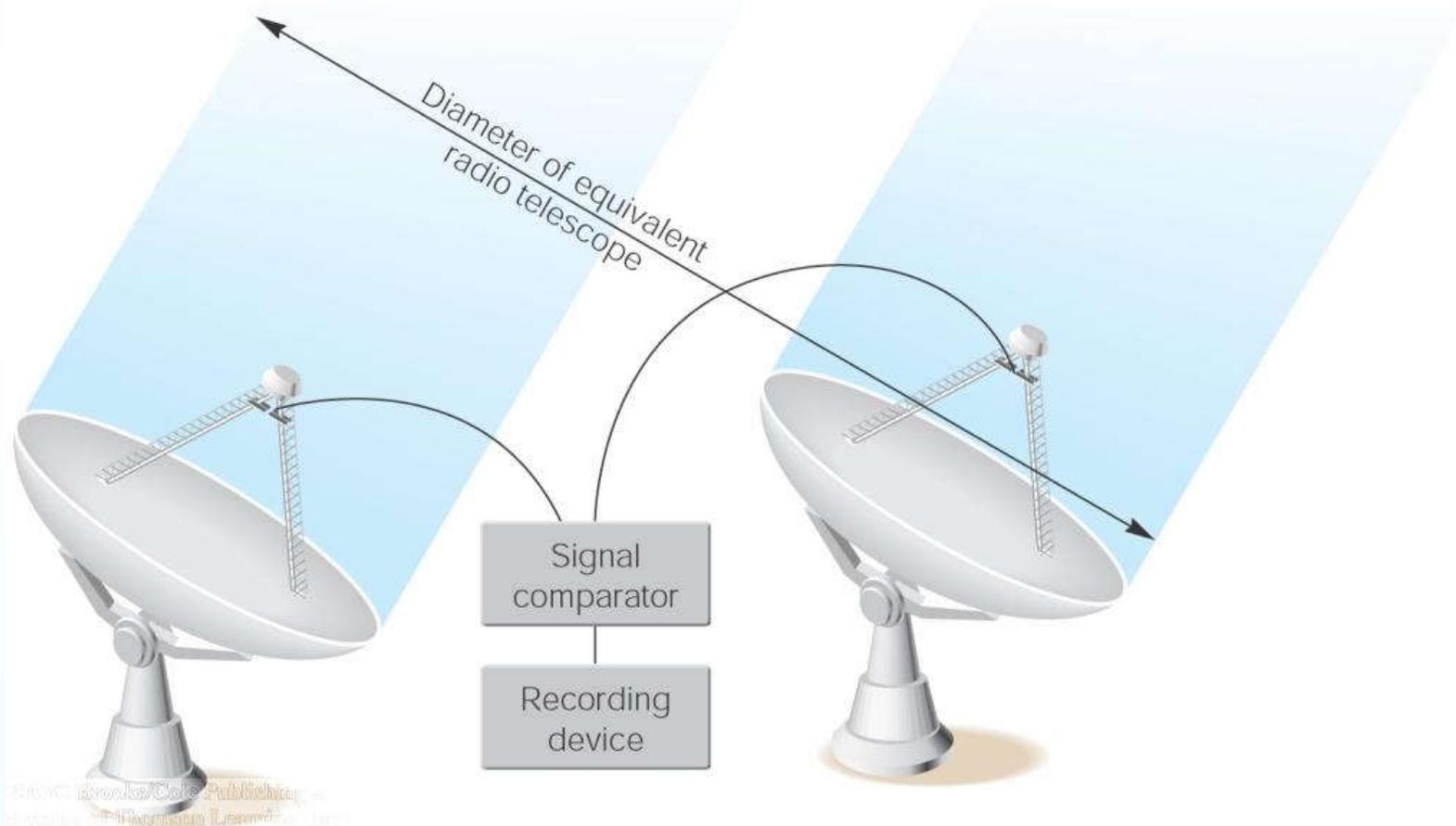


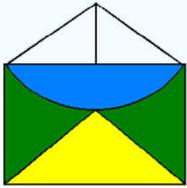
- Ago/1997 – Surgimento da idéia
- 1999-2000 – Definição e Elaboração do Projeto
- Nov/2001 - Aprovação Temático-FAPESP
- Jan/2003 - Início de operação Prot. (PBDA)
- Mar/2003 - 1ª luz e Inauguração PBDA
- Set/2004 - 1º Brain-Storm Workshop BDA
- Out/2004 - Instalação INPE - Cachoeira Pta
- Dez/2004 - 1ª imagem unidimensional Sol
- Dez/2005 - Conclusão da 1ª fase (PBDA).
- Jun/2006 – Elaboração do Temático-FAPESP Fase II
- Dez/2006 - Instalação 6ª antena
- Fev/2007 – Aprovação do Temático FAPESP Fase II



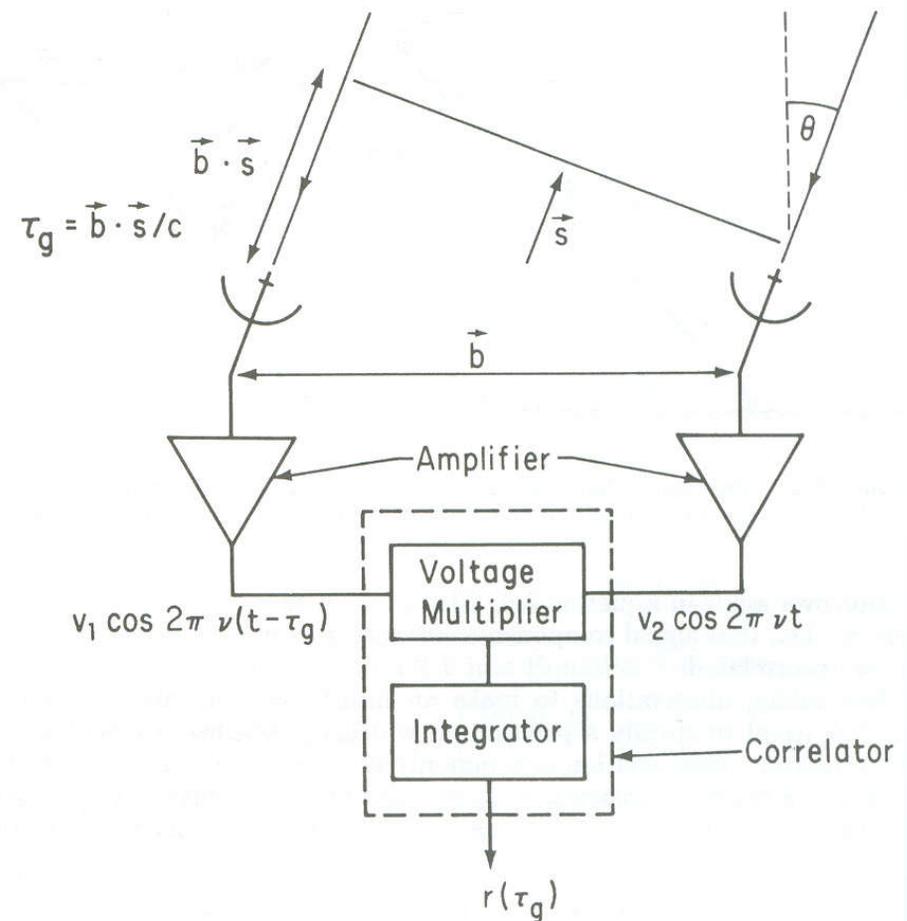
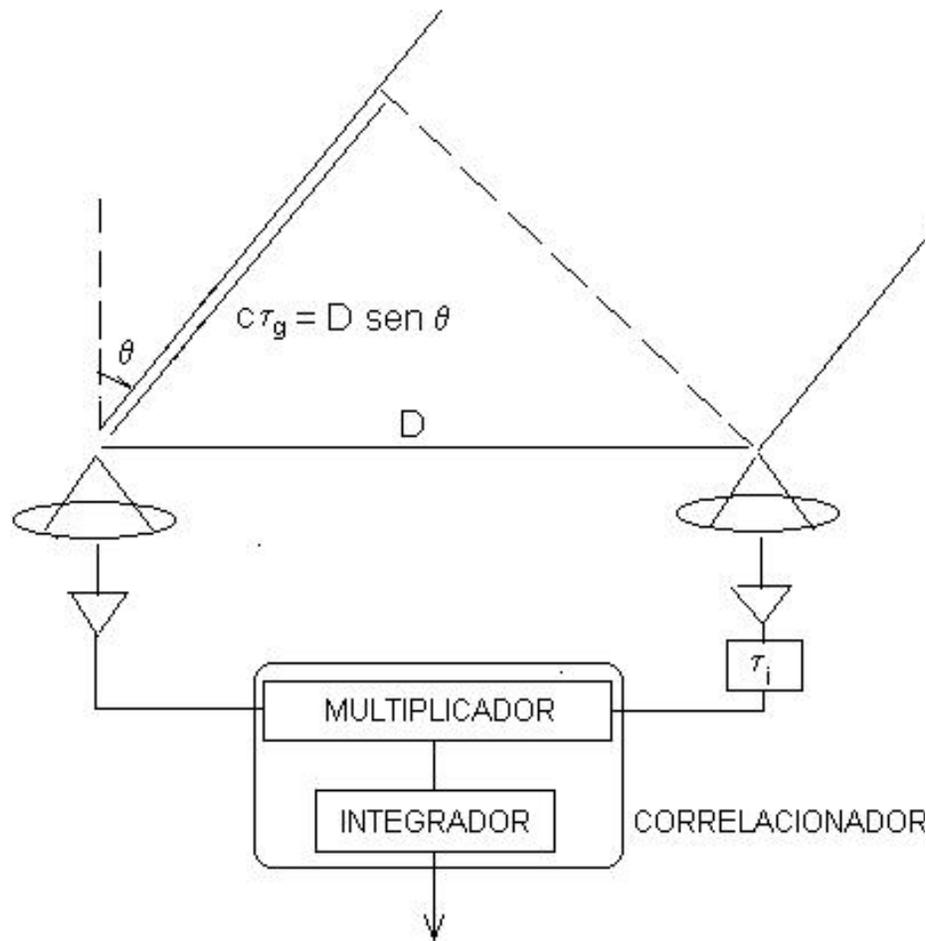
# RÁDIO-INTERFEROMETRIA

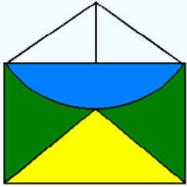
**RÁDIO INTERFERÔMETRO** - instrumento, composto por um conjunto (arranjo) de rádio telescópios, cujos sinais individuais são correlacionados: imageamento e ampliação da sensibilidade (área coletora) e a resolução espacial.





# INTERFERÔMETRO DE 2 ELEMENTOS





- $\mathbf{s}$  é o vetor unitário na direção da fonte,  $\mathbf{b}$  é a linha de base do interferômetro,  $\tau_g$  é o atraso geométrico, dado por:  $\tau_g = \mathbf{b} \cdot \mathbf{s}/c$
- Os sinais  $V_1(t)$  e  $V_2(t)$  passam por filtros banda  $\Delta f$ , frequência central  $f$ , no receptor e entram no correlacionador (multiplicador de  $V$  e integrador) e na saída obtemos a média:

$$\langle V_1(t) V_2(t) \rangle$$

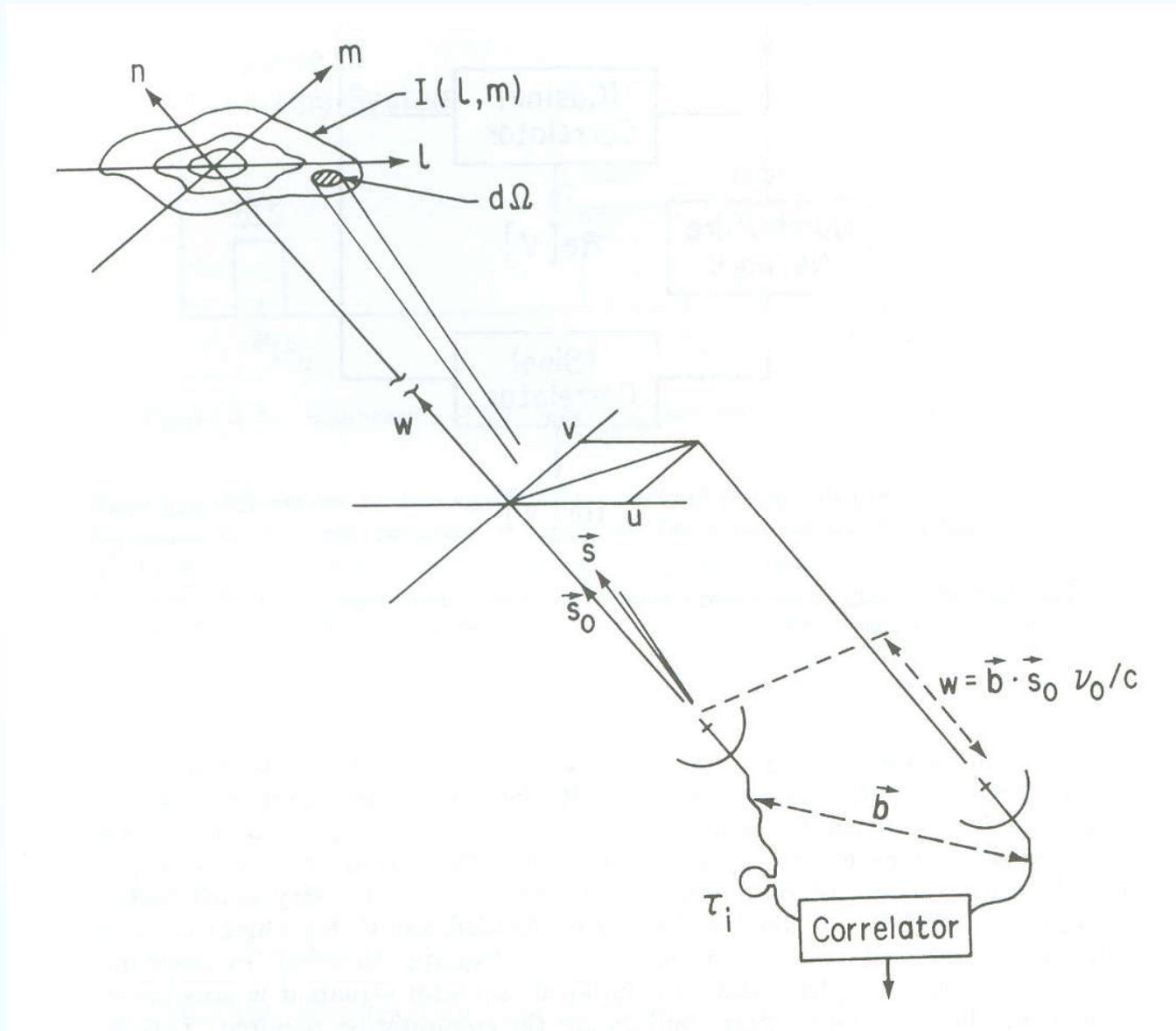
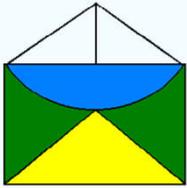
- Considerando 2 sinais quase-monocromáticos:

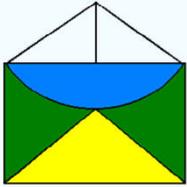
$$V_1(t) = v_1 \cos 2\pi f (t - \tau_g), \quad V_2(t) = v_2 \cos 2\pi f t$$

- A saída do correlacionador será:

$$r(\tau_g) = v_1 v_2 \cos 2\pi f \tau_g$$

- Como  $\tau_g$  varia lentamente com o tempo de acordo com o movimento da fonte no céu – rotação da Terra – as oscilações do  $\cos$  representam o movimento da fonte através do padrão de franjas do interferômetro.
- $v_1 v_2$  – ampl. franjas – é proporcional à potência recebida





# BRAZILIAN DECIMETRIC ARRAY (ARRANJO DECIMÉTRICO BRASILEIRO)

O BDA é o **1o. rádio interferômetro decimétrico da América Latina.**

O **BDA** é um rádio interferômetro de custo otimizado que emprega modernas técnicas, desenvolvido no INPE desde 2001 (**Temático da FAPESP**).

O BDA está instalado em **Cachoeira Paulista.**

Freqüências de operação **1,2-1,7 GHz, 2,8 GHz e 5,6 GHz.**

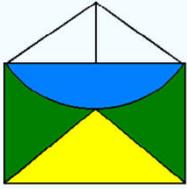
Investigações de **fenômenos solares, galáticos e extragaláticos e aplicações na previsão de clima espacial.**

## **Outras aplicações:**

**Anatel, Forças armadas** - Monitoramento de emissões de radio-freqüências, suas localizações e intensidades

Recepção dos sinais dos satélites **SCDs e CBERS**

**Início da Fase 2 – Março 2007** (**Temático da FAPESP**).



# INSTITUIÇÕES



## INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais:

- Divisão de Astrofísica (DAS)
- Laboratório de Computação Aplicada (LAC)
- Divisão de Eletrônica Aeroespacial (DEA)
- Laboratório de Integração e Testes (LIT)
- Setor de Mecânica e Desenho (SMD)
- Setor de Circuito Impresso (SCI)

**UNIVAP** – Universidade do Vale do Paraíba

**UFSCar** - Universidade Federal de São Carlos

**PUC-MG** - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

**CRAAM** - Centro de Rádio Astronomia – Mackenzie

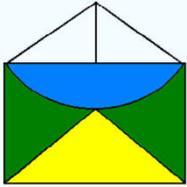
**TIFR** - Tata Institute of Fundamental Research – GMRT – NCRA - Índia

**IIA** - Indian Institute of Astrophysics – Bangalore, India

**NRO** - Nobeyama Radioheliograph - Japão

**UCB** - Universidade da Califórnia - Berkeley, USA

**NJIT** - New Jersey Institute of Technology, USA



# EQUIPE



**Coordenador:** Dr. Hanumant S. Sawant – DAS/INPE

**Pesquisadores Principais:** Dr. José R. Cecatto – DAS/INPE

Dr. Francisco C. R. Fernandes – IP&D/UNIVAP

**O total de pessoas diretamente envolvidas: 53**

9 rádio astrônomos brasileiros

9 rádio astrônomos estrangeiros

7 pesquisadores brasileiros em física solar e computação aplicada e

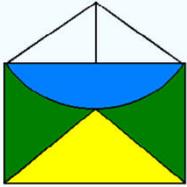
4 físicos solares estrangeiros

9 engenheiros do INPE

2 engenheiros estrangeiros

11 técnicos participam ativamente no desenvolvimento do BDA

2 alunos (Mestrado e Doutorado)



# FASES DO PROJETO BDA

## (Situação atual e futuro)

**Fase I – PBDA (CONCLUÍDA)** um arranjo de 5 elementos, com parabolóides de 4 m de diâmetro distribuídos ao longo de 216 m (L-O), com total capacidade de rastreamento e operando em 1,2-1,7 GHz. O objetivo: otimizar o custo e o desempenho das partes eletrônicas e mecânicas do BDA.

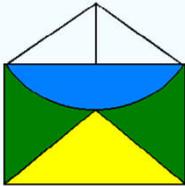


**Fase II** - 20 antenas serão adicionadas ao arranjo. As 26 antenas constituirão a porção central do arranjo em forma de “T”, com linhas de base de 252 m (L-O) e 162 m (S). As frequências de operação serão 1,2-1,7; 2,8 e 5,6 GHz, correspondendo a resoluções espaciais de 3,0', 1,5' 4,5" de arco.



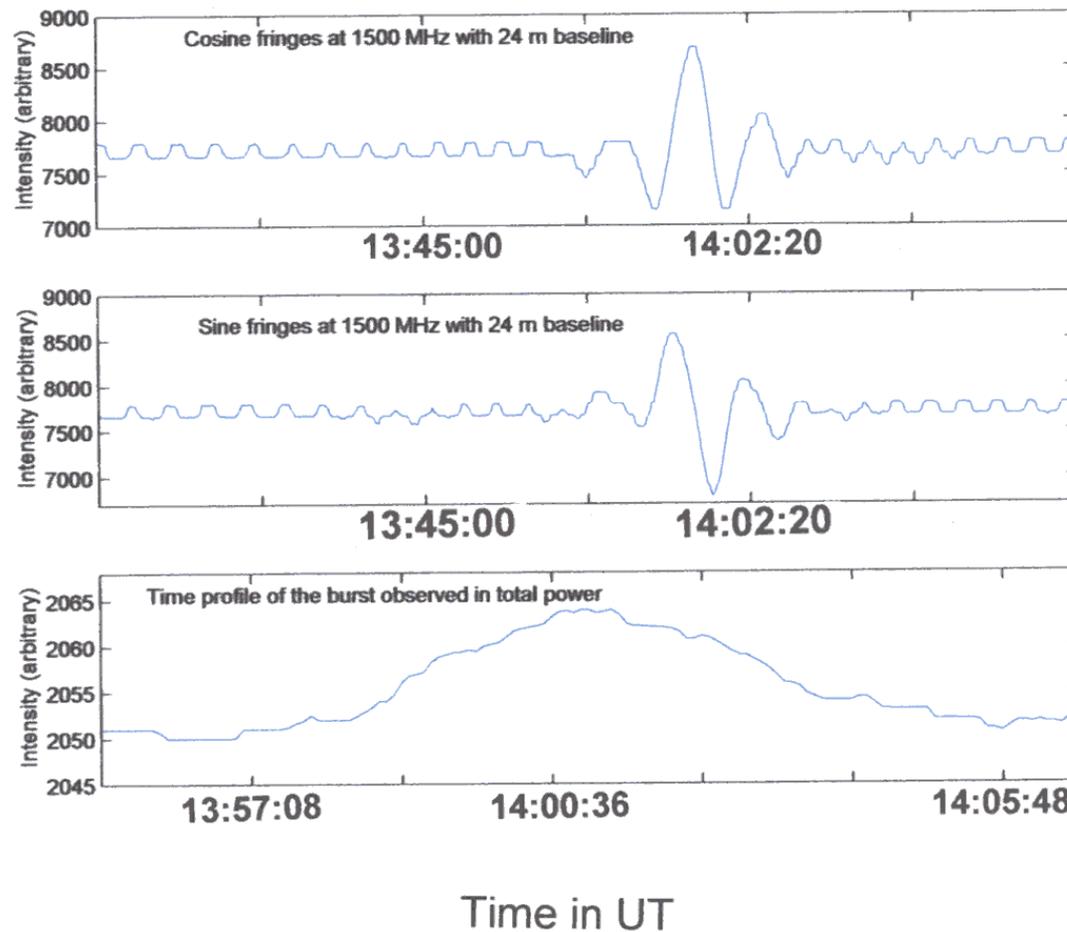
**Fase III** - Total de 38 antenas (+4 em cada braço) com linha de base máximas de 2268 m (L-O) x 1170 m (S). A sensibilidade e a resolução temporal serão ampliadas.

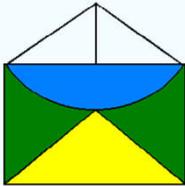




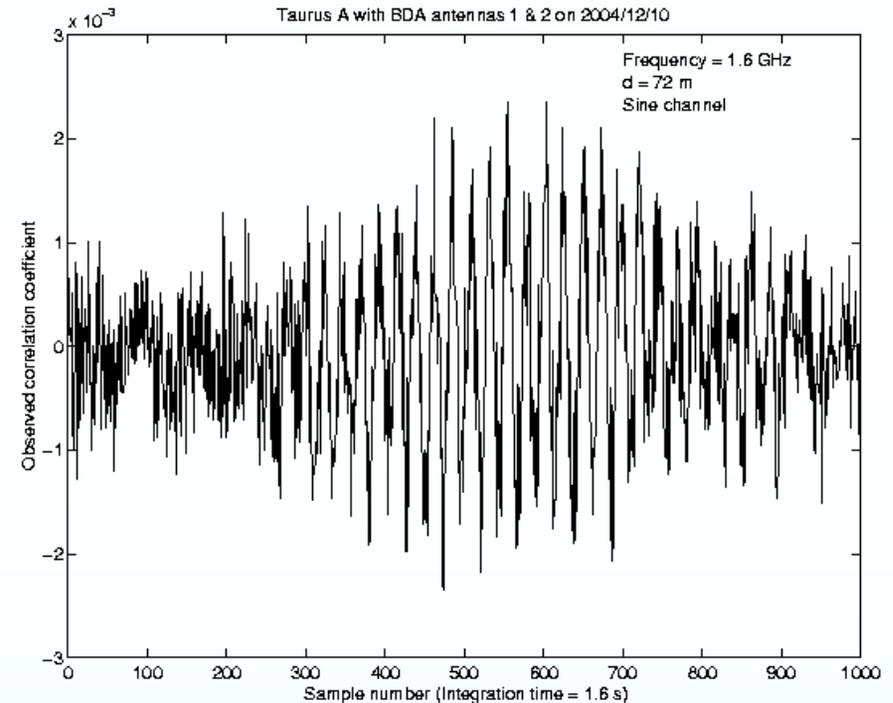
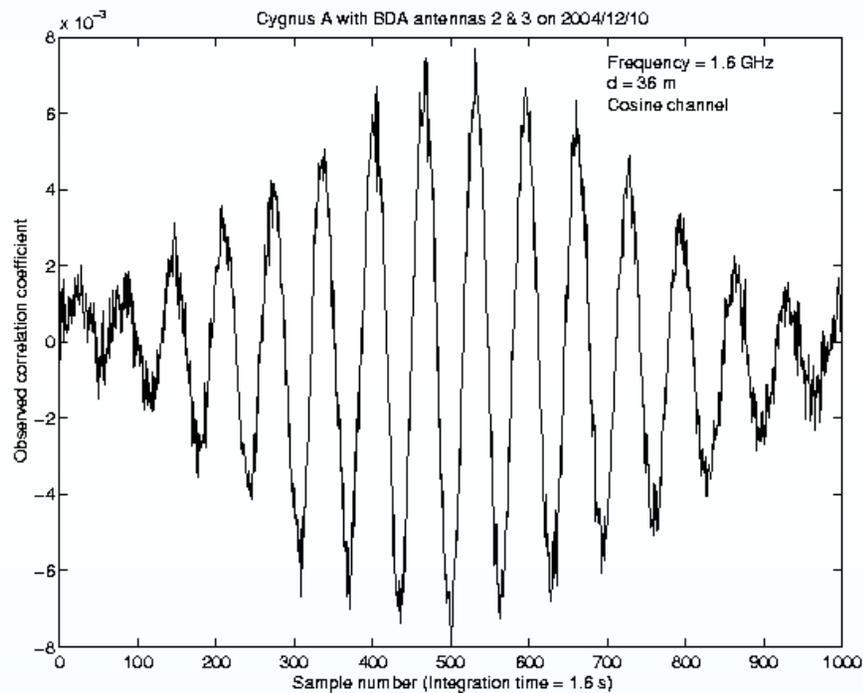
# PRIMEIRO FLARE REGISTRADO

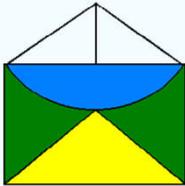
Interferometer Fringes and time profile of a Solar Burst observed on 22<sup>nd</sup> March 2003



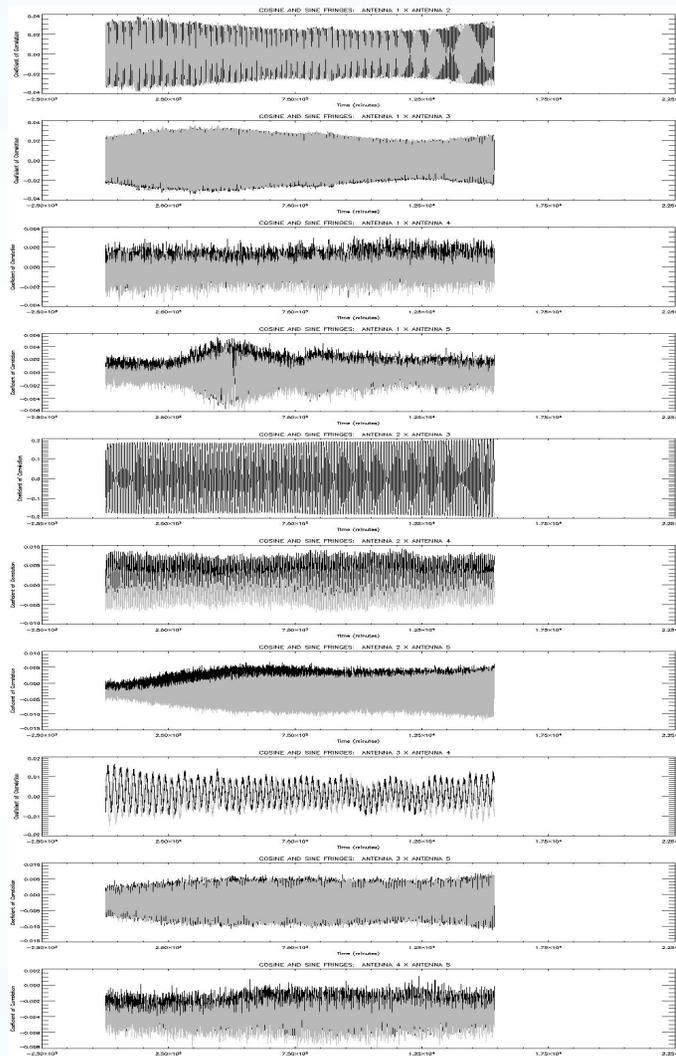


# FRANJAS INTERFERÊNCIA E FONTES CALIBRADORAS

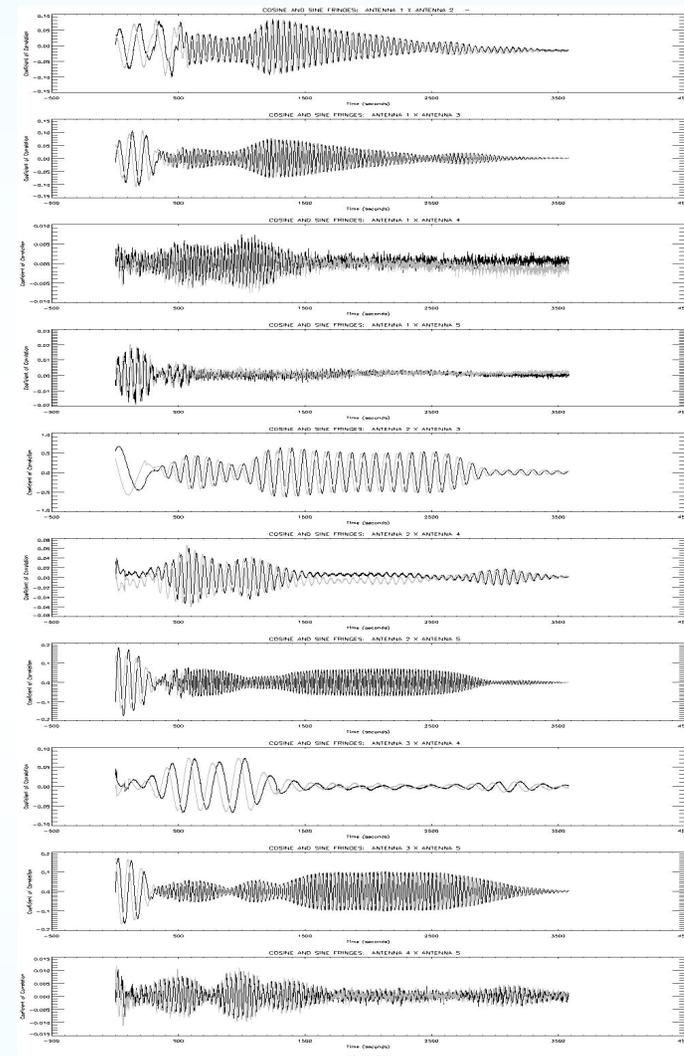




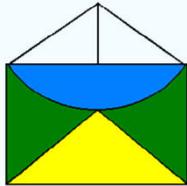
# FRANJAS DE INTERFERÊNCIA



**durante 4 horas ininterruptas de observação solar.**



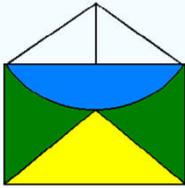
**durante as observações do flare solar registrado em 23/05/2005.**



# Resolução espacial

## ARRANJO DE 5 ANTENAS - PBDA

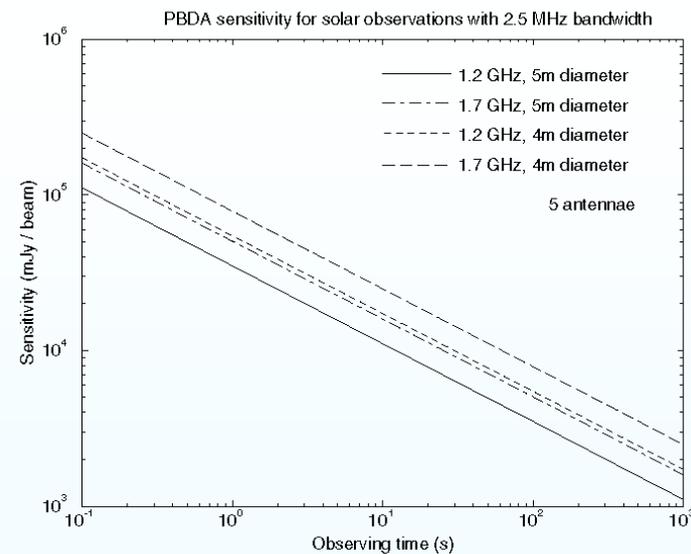
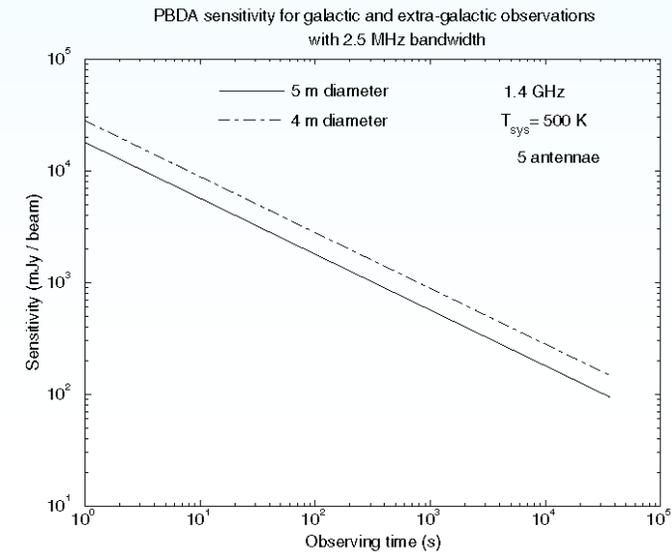
Pares interferométricos (correlações)	Linha de base (m)	Resolução espacial medida (minutos de arco)	Resolução espacial esperada (minutos de arco)
A3 × A4	18	36,4	35,8
A2 × A3	36	18,2	17,9
A2 × A4	54	12,2	11,9
A1 × A2	72	9,05	8,95
A4 × A5	90	7,26	7,16
A1 × A3	108	6,10	5,96
A1 × A4	126	5,20	5,11
A2 × A5	144	4,61	4,47
A1 × A5	216	3,02	2,98

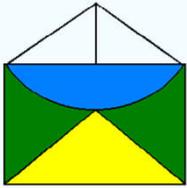


# Sensibilidade

## Sensibilidade

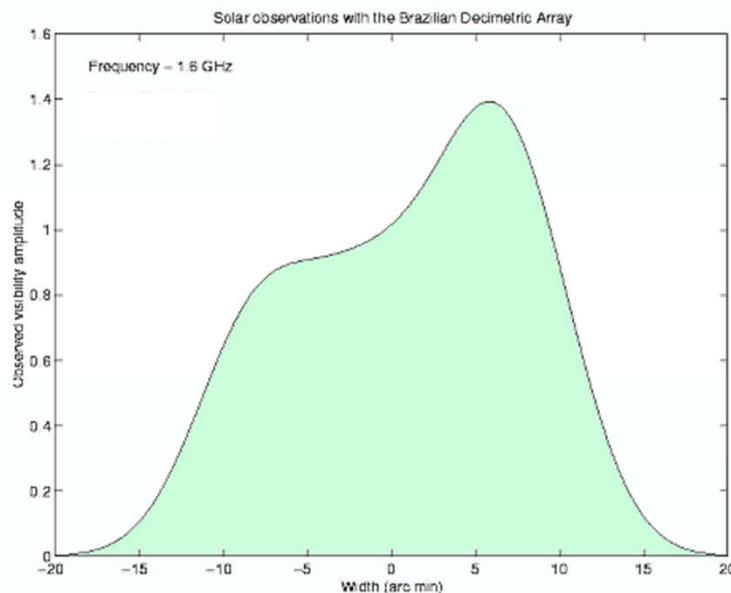
Sol	Não-solar	$\Delta\tau$ (sec.)
1,6 GHz	( $T_{\text{sis}} = 100$ K)	
(Jy/feixe)	(mJy/feixe)	
2,04E+04	3,20E+04	0,1
6,46E+03	1,01E+04	1
4,56E+03	7,15E+03	2
2,89E+03	4,52E+03	5
2,04E+03	3,20E+03	10
1,18E+03	1,85E+03	30
8,33E+02	1,31E+03	60
6,46E+02	1,01E+03	100
5,27E+02	8,26E+02	150
3,73E+02	5,84E+02	300
2,64E+02	4,13E+02	600



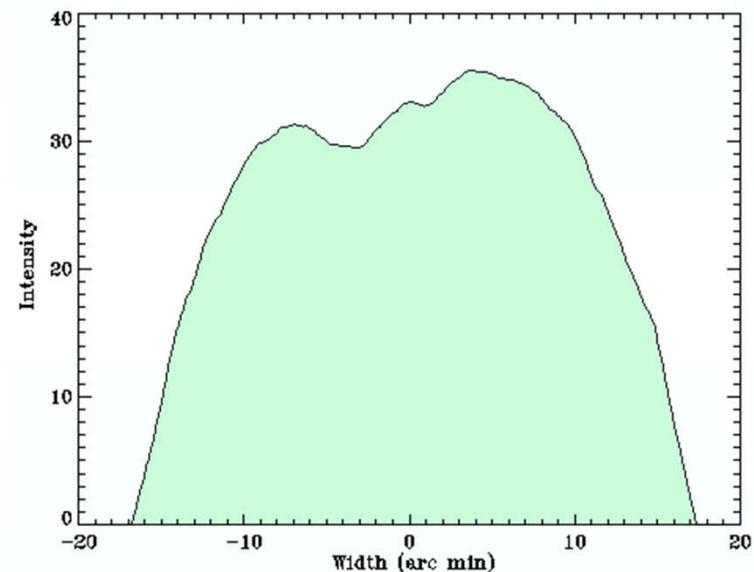


# OBSERVAÇÕES INICIAIS

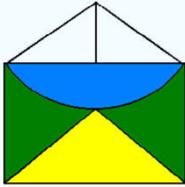
Mais de 200 horas de observação com o PBDA em 2005–2006



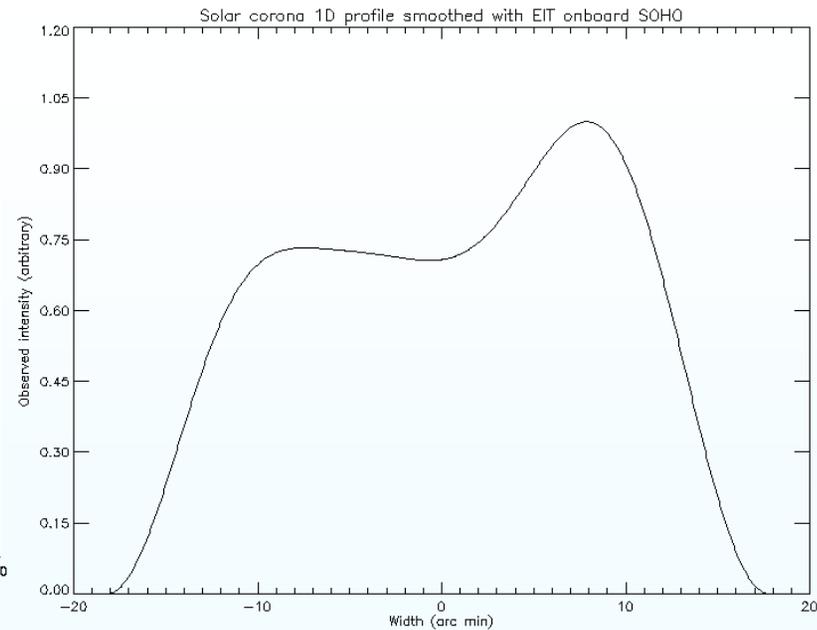
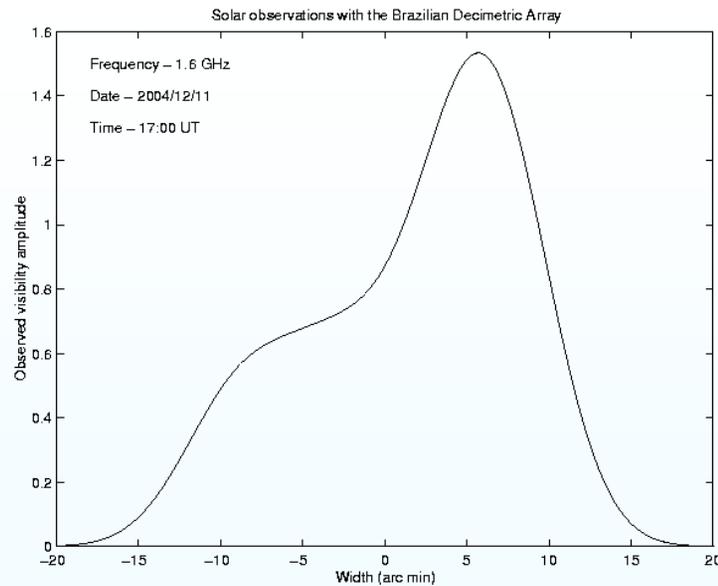
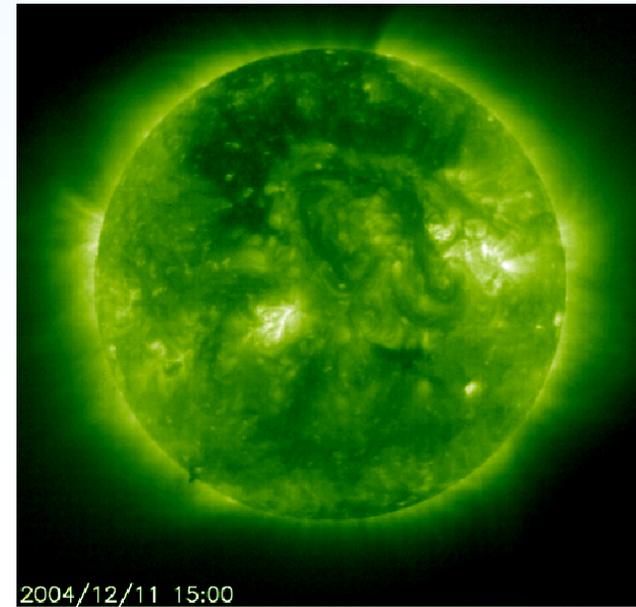
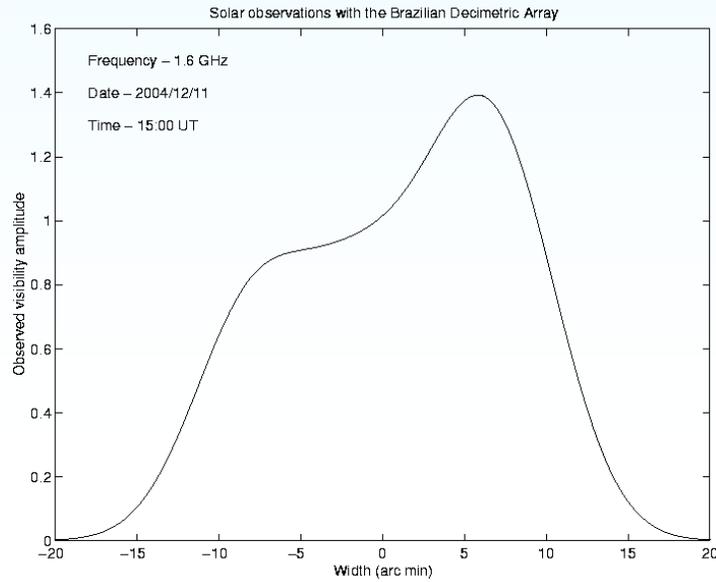
**Distribuição de brilho (L-O) unidimensional suavizada do Sol.**

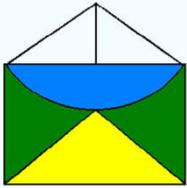


**Distribuição integrada na direção N-S da distribuição bidimensional em raios-X obtida pelo GOES-12.**



# IMAGEAMENTO - MAPA

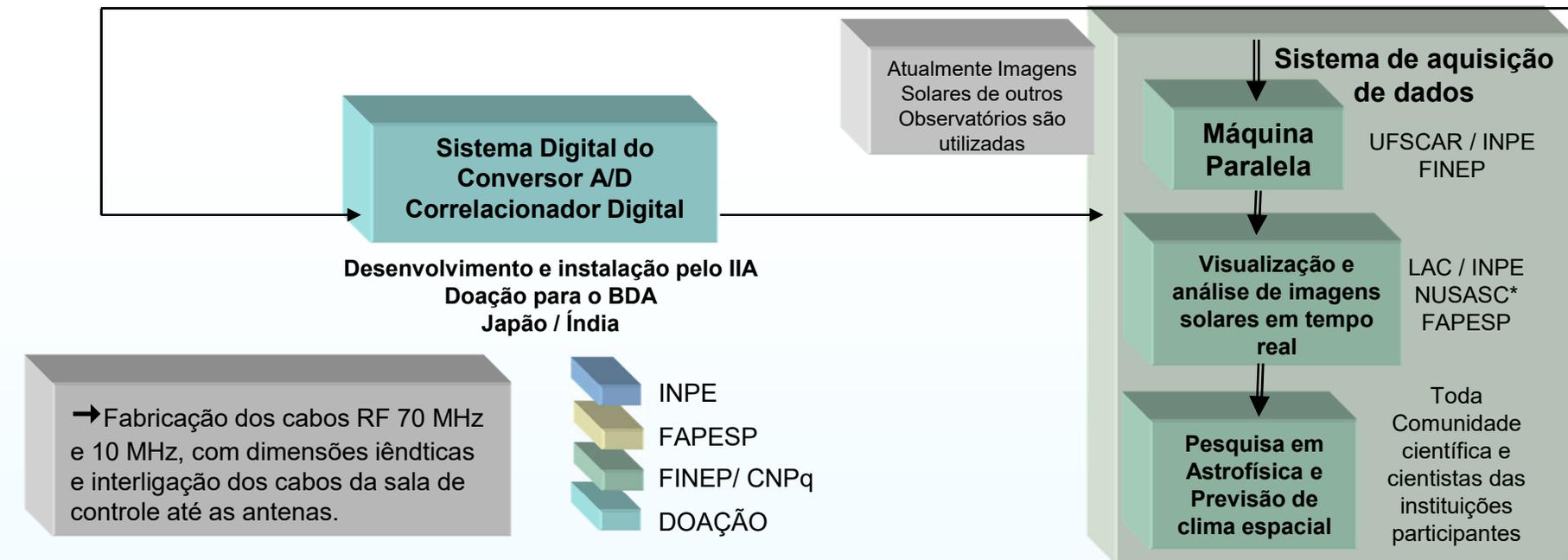
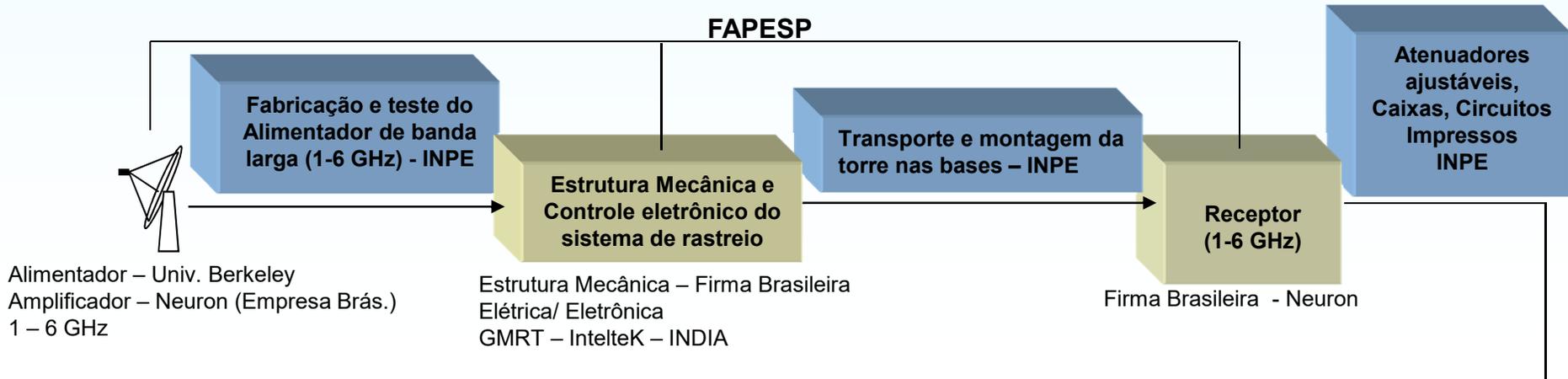


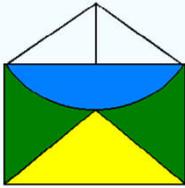


# ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO

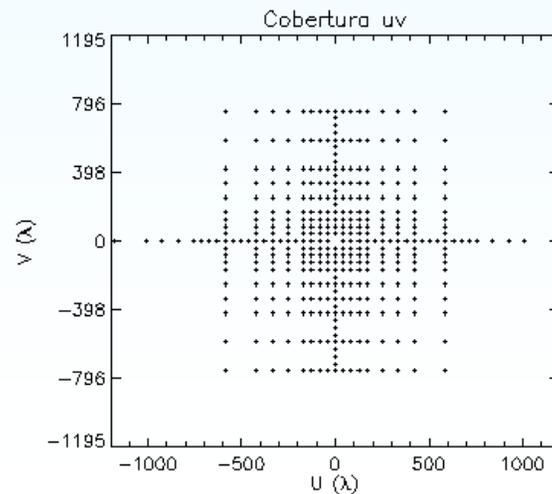


FAPESP

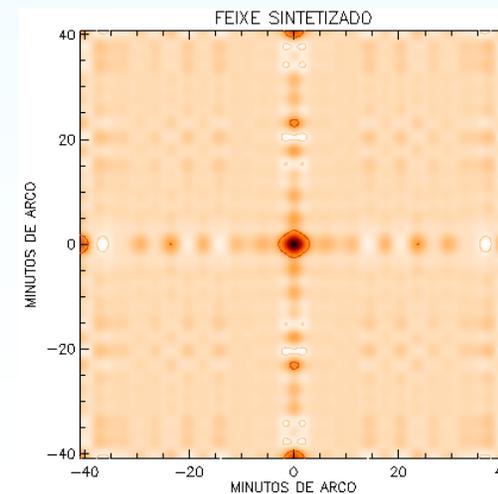




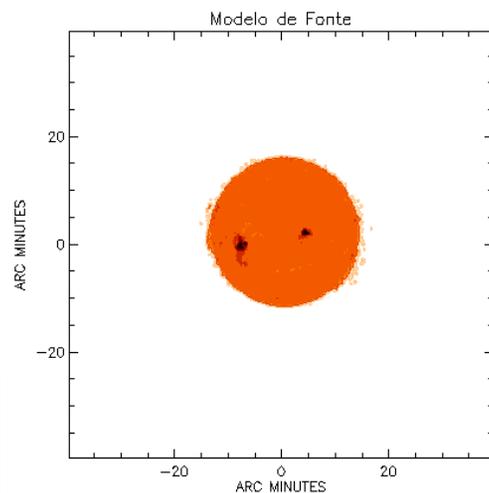
# FASE II



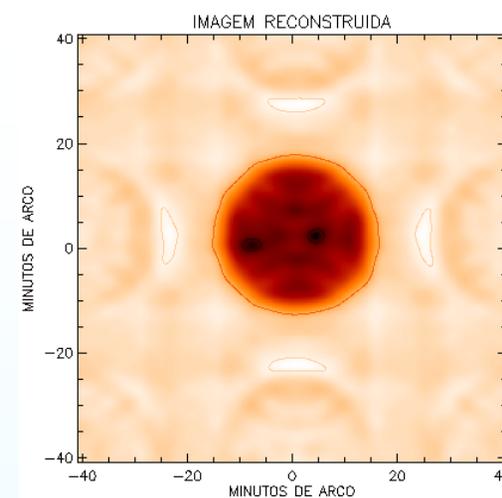
**Cobertura plano UV do arranjo "T" de 26 antenas em 1.4 GHz.**



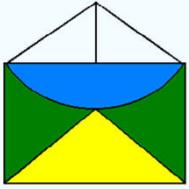
**Feixe sintético obtido para o arranjo de 26 antenas.**



**Modelo de fonte rádio do Sol.**



**Imagem produzida pelo arranjo de 26 antenas para o modelo usado.**

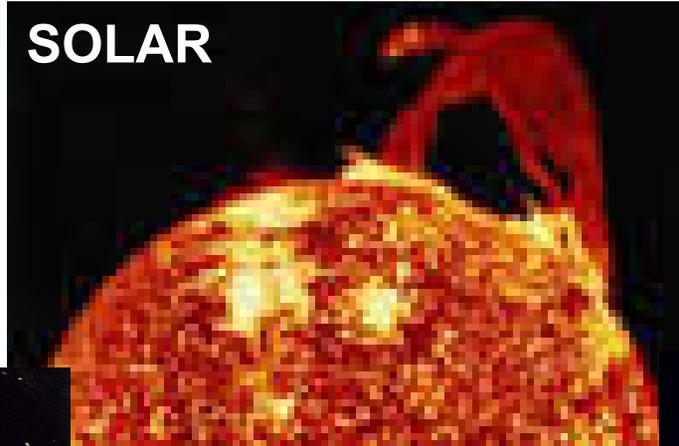


# CIÊNCIA E APLICAÇÕES

Univap



**SOLAR**



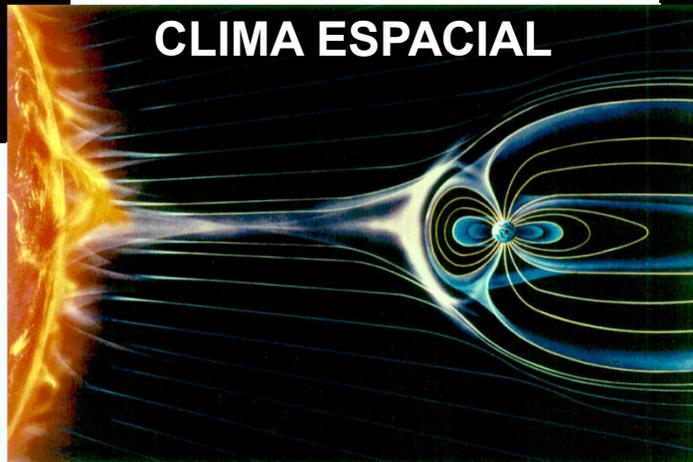
**GALÁTICA**

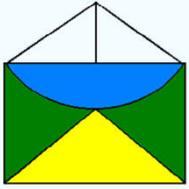


**EXTRA-GALÁTICA**



**CLIMA ESPACIAL**

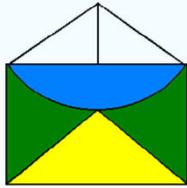




# INVESTIGAÇÃO SOLAR

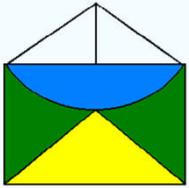
- 1- Fenômenos energéticos transientes (liberação de energia, aceleração de partículas e aquecimento do plasma, transporte de partículas, criação-desestabilização estrutura grande escala)
- 2- Natureza campos magnéticos (intensidade e evolução campos magnéticos coronais)
- 3- Disparo de Ejeções de Massa Coronal
- 4- Atmosfera solar (aquecimento coronal e estrutura atmosfera solar calma)

## PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL

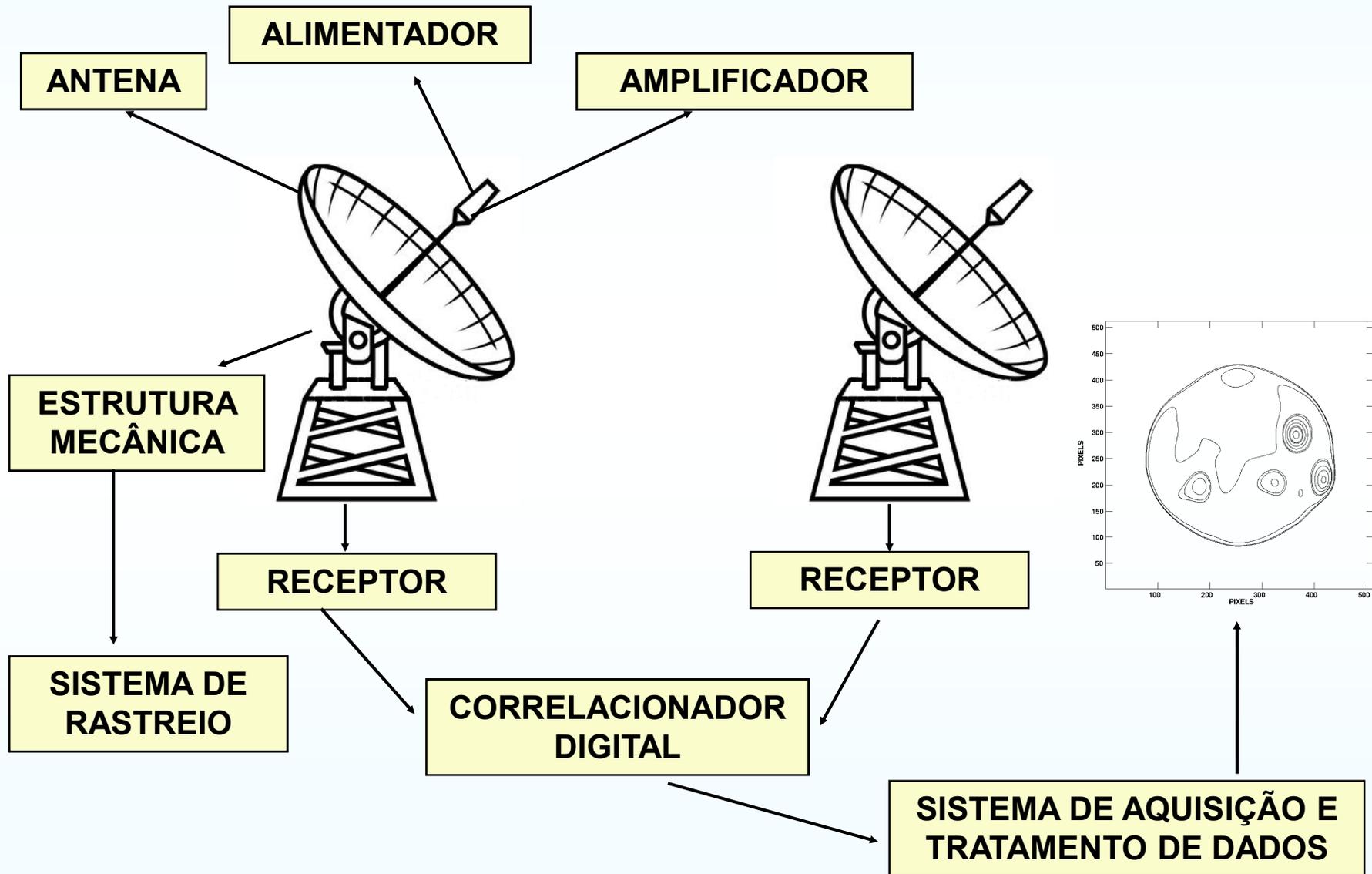


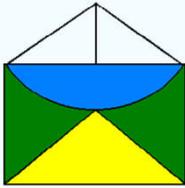
# GALÁTICA, EXTRA-GALÁTICA

- 1- “SURVEYS” hemisfério Sul (1.4, 2.8, 5.6 GHz)
- 2- Variabilidade temporal quasares e rádio-galáxias
- 3- Estudo morfologia rádio fontes extensas
- 4- Emissão H neutro nuvens moleculares densas e de alta velocidade galáticas
- 5- Pesquisa de H neutro para fontes extra-galáticas (galáxias starburst e quasares)
- 6- Investigações RCF (emissão anômala galática direção na nuvem molecular Perseus) no hemisfério Sul

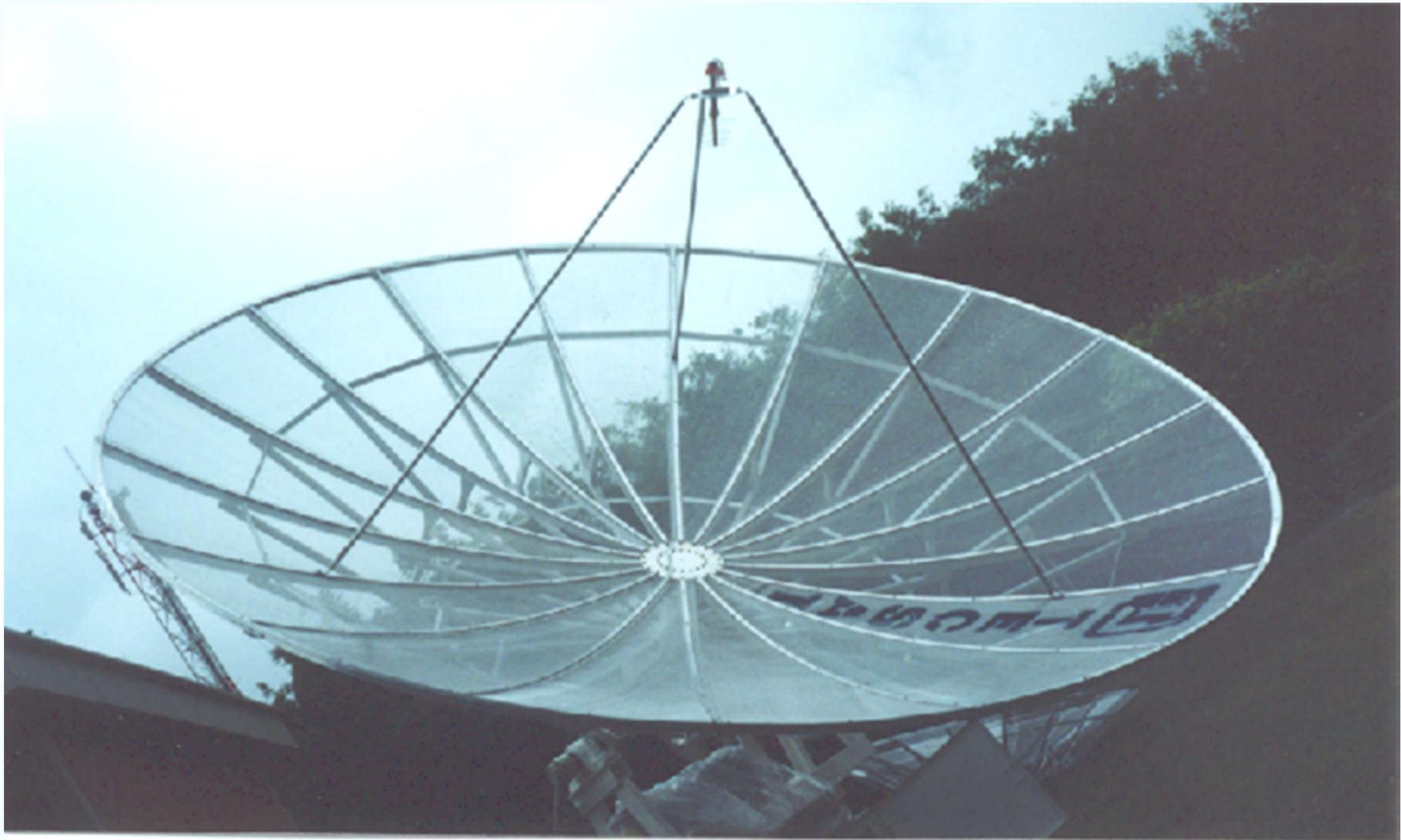


# SUB-SISTEMAS DO BDA

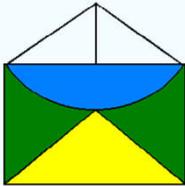




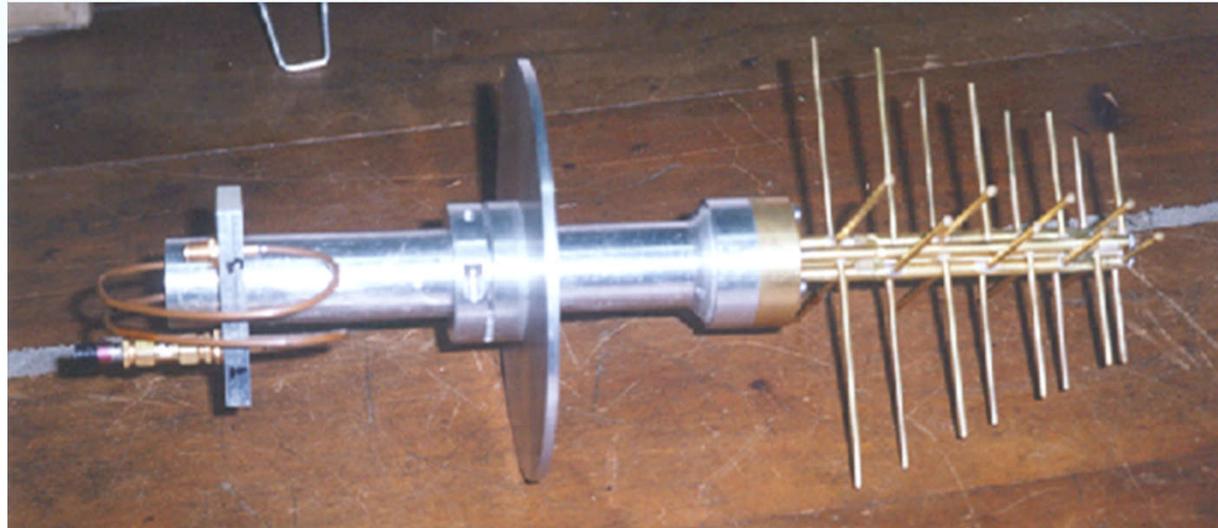
# ANTENA PARABÓLICA



Antena parabólica de 4 metros.de diâmetro em malha vasada de alumínio.



# ALIMENTADOR



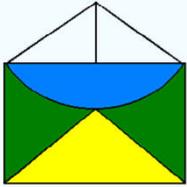
Alimentador log-periódico fabricado no INPE para o BDA



Redoma em fibra fabricada para o BDA



Alimentador de banda larga e feixe quase circular (Projeto ATA), que será adaptado para a frequência de operação do BDA

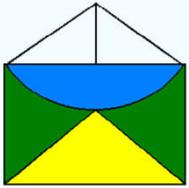


# ESTRUTURA E SISTEMA MECÂNICOS



**Estrutura mecânica da antena de 4 m com montagem em altura e azimute**

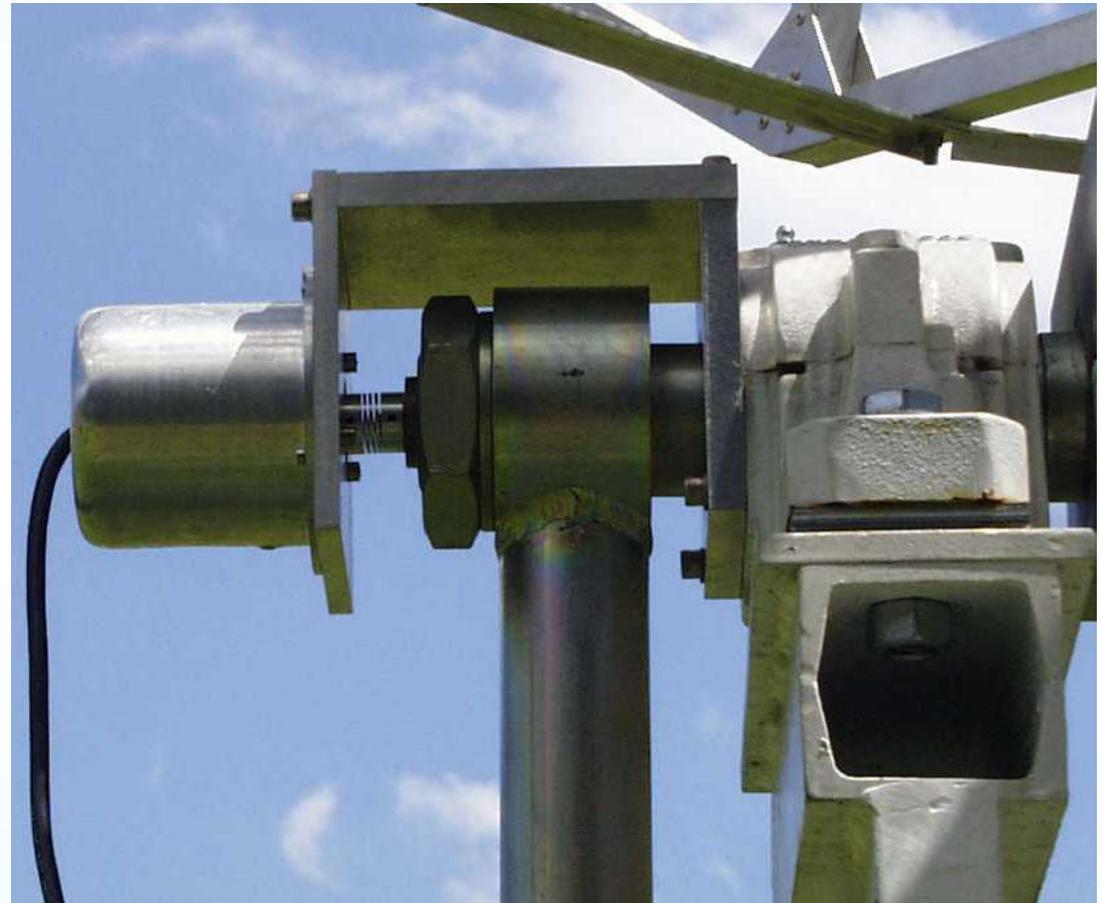




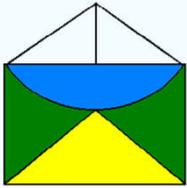
# SISTEMA ELETRO-MECÂNICO



Parte posterior da torre mostrando o motor para movimento em azimute e conexões e cabos.



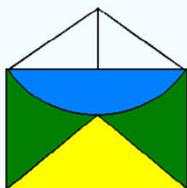
Encoder de elevação está instalado dentro do cilindro mostrado à esquerda



# SISTEMA ELETRO-MECÂNICO

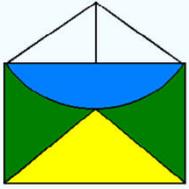


Parte superior da torre mostrando sistema para posicionamento em elevação.  
O motor para movimento em elevação se encontra na parte central da figura.



# PARTICIPAÇÃO E APOIO





# “VISITANTES” DO PROJETO BDA



BDA - INPE-CP  
24/06/2004



**Obrigado pela atenção !**

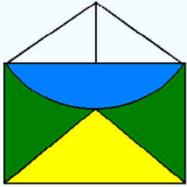
<http://www.das.inpe.br/%7Efmi/MainBDA.html>

# PROTÓTIPO DO BDA (INPE – SJC/2003)



# PROTÓTIPO DO BDA (INPE – SJC/2003)





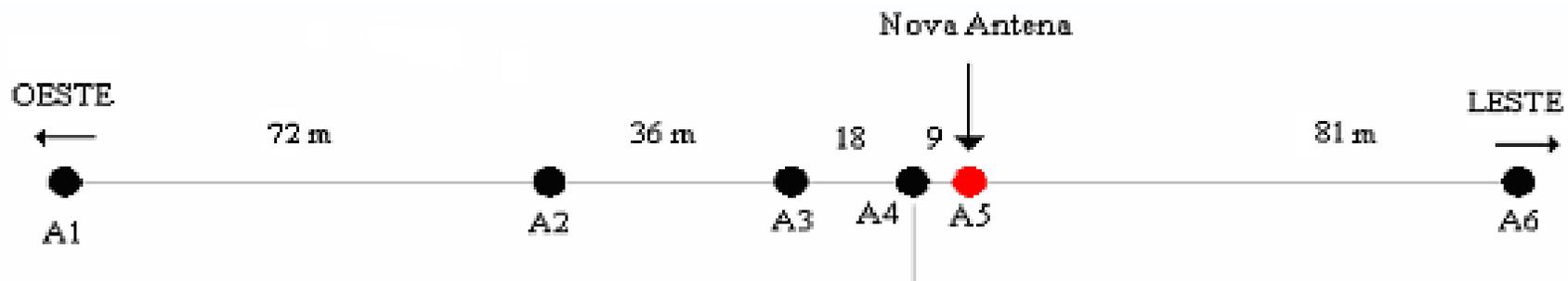
# FASE I – PROTÓTIPO (PBDA)

(Projeto Temático FAPESP-01/00056-9)

**Fase I do BDA (Protótipo - PBDA) foi concluída em 2005**

O arranjo de 5 elementos, usando antenas de 4 m de diâmetro, com total capacidade de rastreamento está operando em 1.2-1.7 GHz no campus do INPE em Cachoeira Paulista, SP. Observações diárias e regulares (Sol, fontes galácticas e extra-galácticas – Taurus-A, Cygnus-A).

**SITUAÇÃO ATUAL - 6a. Antena** - em fase final de instalação



# BDA EM CACHOEIRA PAULISTA

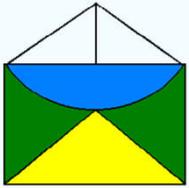
Oubro/2004



# BDA EM CACHOEIRA PAULISTA

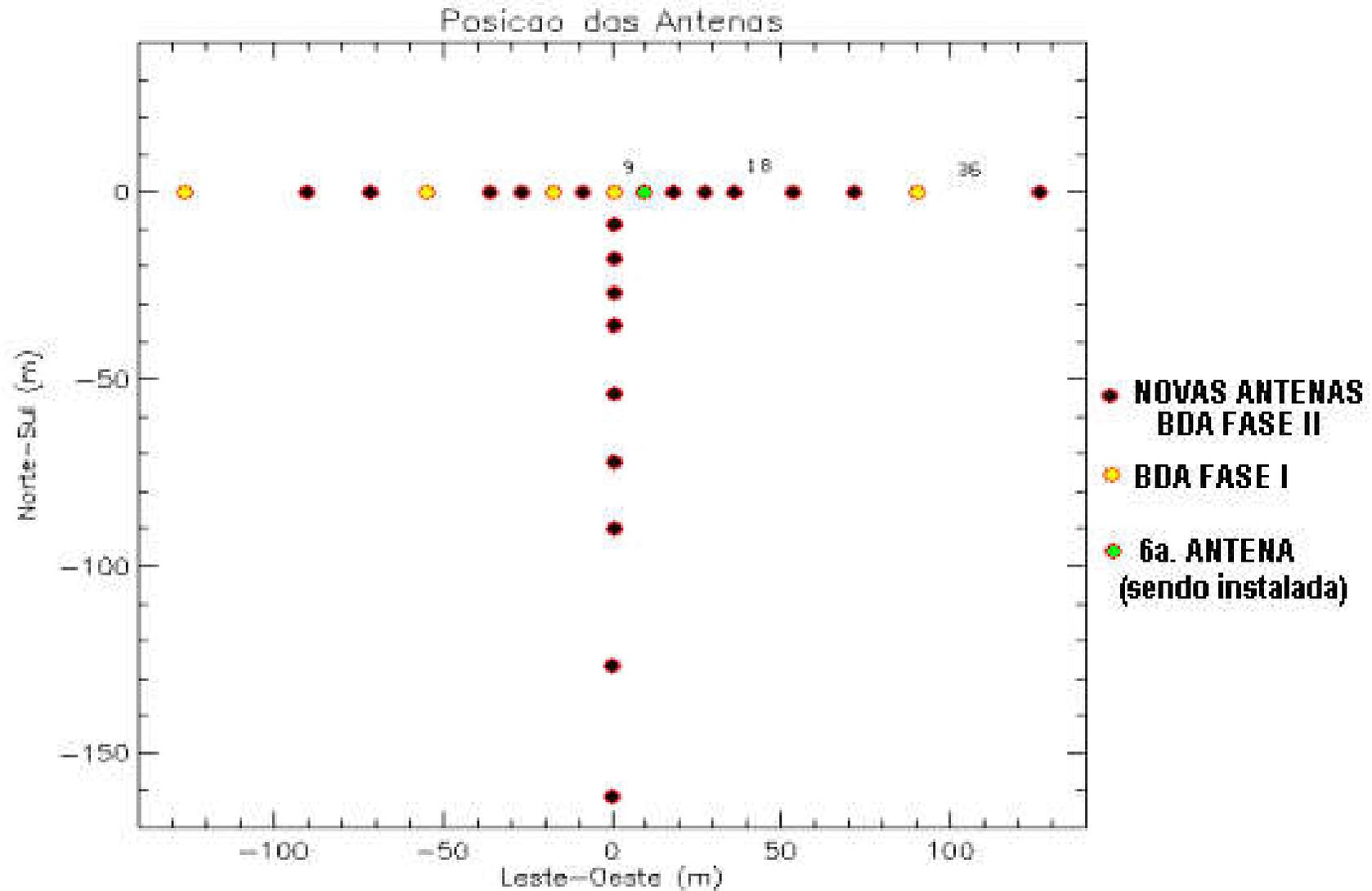
Abril/2006

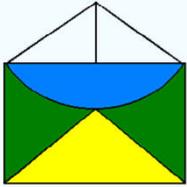




# CONFIGURAÇÃO DO BDA FASE II

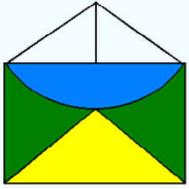
(Projeto Temático FAPESP-06/55883-0)





# BDA FASE II (2007 – 2010)

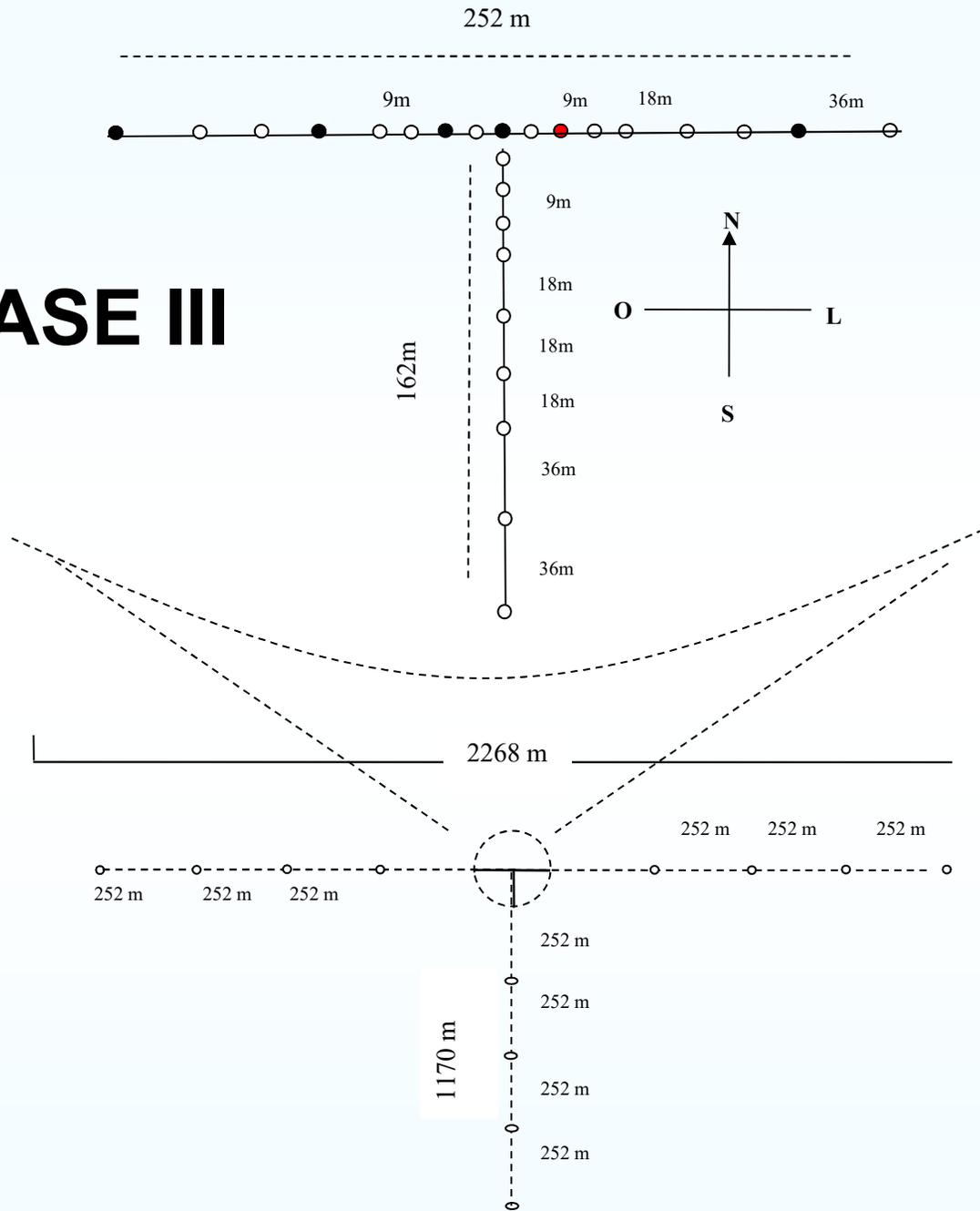
<b>Número de antenas</b>	<b>26</b>
<b>Número de linhas de base</b>	<b>325</b>
<b>Configuração</b>	<b>Forma de "T"</b>
<b>Faixa de frequências</b>	<b>1,2 - 1,7, 2,8 e 5,6 GHz</b>
<b>Resolução temporal</b>	<b>~100 ms</b>
<b>Diâmetro da antena / montagem alt-az</b>	<b>4 m</b>
<b>Resolução angular</b>	<b>180 a 45" em 1,4 e 5,6 GHz</b>
<b>Máxima linha de base</b>	<b>252 m</b>
<b>Mínima linha de base</b>	<b>9 m</b>
<b>Campo de visada</b>	<b>40' × 40' de arco</b>
<b>Sensibilidade (em 5,6 GHz com <math>\Delta t = 1</math> s)</b>	<b>~20 Jy/feixe (sol) e ~3 Jy/feixe (nsol)</b>
<b>Cobertura de rastreo</b>	<b>340° em azimute e 180° em elevação</b>
<b>Precisão de apontamento e rastreo</b>	<b>&lt; 3 min. de arco</b>



# BDA FASE II – “T” CENTRAL

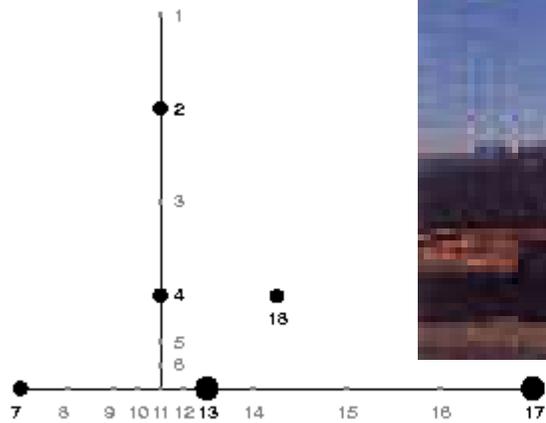


# BDA FASE III





**OVRO MILLIMETER ARRAY (CA -USA)**



19

**OVRO – SOLAR ARRAY (CA -USA)**



**VERY LARGE ARRAY - VLA (NM - USA)**



**VERY LARGE ARRAY - VLA (NM - USA)**

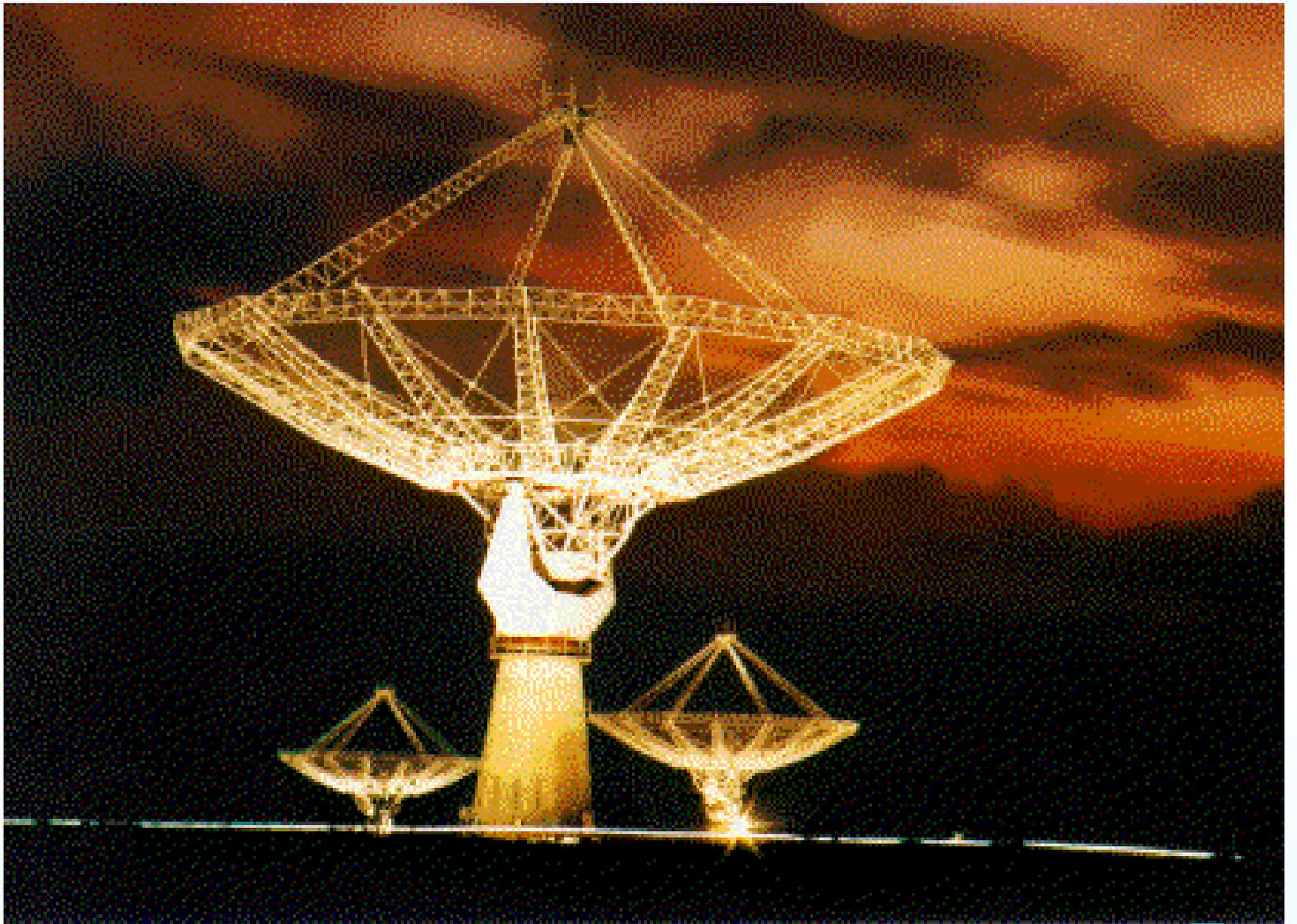


**VERY LARGE ARRAY - VLA (NM - USA)**





**GIANT METERWAVE RADIO TELESCOPE - GMRT (ÍNDIA)**





**NOBEYAMA RADIO OBSERVATORY - NRO (JAPÃO)**  
**NRH – NOBEYAMA RADIO HELIOGRAPH**



**NOBEYAMA RADIO OBSERVATORY - NRO (JAPÃO)**  
**NMA – NOBEYAMA MILIMETER ARRAY**





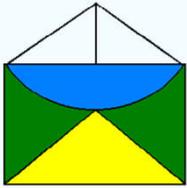
**NANÇAY RADIO HELIOGRAPH (FRANÇA)**



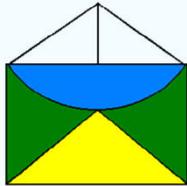


**SOLAR SIBERIAN RADIO TELESCOPE (SIBÉRIA – RÚSSIA)**





**BRAZILIAN SOLAR SPECTROSCOPE – BSS (INPE)**



## COMITÊ CONSULTIVO INTERNATIONAL

Dr. Marco A. Chamon Coordenador de Gestão Tecnológica do INPE, Brasil	Confirmado
Prof. Zulema Abraham Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, Brasil	Confirmado
Prof. Emeritus Govind Swarup National Center of Radio Astrophysics – NCRA Giant Meterwave Radio Telescope – GMRT Tata Institute of Fundamental Research - TIFR, India	Confirmado
Prof. S. K. Ananthkrishnan Ex-Diretor do Giant Meterwave Radio Telescope – GMRT, India	Confirmado
Prof. K. R. Subramanian Indian Institute of Astrophysics, India	Confirmado
Prof. Kyoto Shibasaki Diretor do Nobeyama Radio Observatory, Japan	Confirmado
Prof. W. Jack Welch Professor Emérito do Radio Astronomy Laboratory University of California - Berkeley, USA	Confirmado
Prof. Gordon Hurford Space Sciences Laboratory University of California - Berkeley, USA	Confirmado
Prof. Dale E. Gary Diretor do Owens Valley Radio Observatory, New Jersey Institute of Technology - NJIT, USA	Confirmado