



PCI/MCTI/INPE  
RELATÓRIO TÉCNICO DE ATIVIDADES  
<v7>

**[Referente ao período: 01/10/2015 a 30/11/2015]**

**Número do Processo Institucional: [454779/2015-1]**

**Número do Processo Individual: [312711/2015-8]**

**Bolsista: [Jairo Cavalcanti Amaral]**

**Supervisor: [Cesar Strauss]**

**Área: [CEA - Ciências Espaciais e Atmosféricas]**

**Vigência original da bolsa: [01/10/2015 a 30/11/2015]**

**Modalidade da bolsa: [PCI-DC]**



## RELATÓRIO TÉCNICO

### COMISSIONAMENTO E OPERACIONALIZAÇÃO DO OBSERVATÓRIO BDA

#### 1) Histórico

A rádio emissão do Sol para comprimentos de ondas decimétricas é importante desde que esteja em regiões consideradas como sendo a origem de onde a aceleração de partículas e ocorrência de liberação de energia ocorrem durante uma explosão solar.

O BDA (Brazilian Decimetric Array) é um rádio telescópio para sondar a cinemática física do Sol para esses comprimentos decimétricos de onda. O projeto consiste de um arranjo (radio array) no formato de "T" de 26 antenas parabólicas de 4 metros de diâmetro (cada antena operando nas faixas de frequência 1,2; 1,7; 2,8 e 5,6 GHz) e um completo sistema de rastreamento e receptores. A base posicionadora mecânica das antenas do BDA é servo-controlada por um sistema de motores e amplificadores de potência, que devem ser construídos para atender as especificações eletro-mecânicas do movimento e da precisão de apontamento para o Sol. O sistema completo é denominado de "Servo-Controller". Os movimentos angulares são tipicamente de 15 graus/hora e esporadicamente de 10 graus/segundo nos 2 eixos (azimute e elevação).

A precisão da movimentação angular deve ser de 2 minutos de arco ou melhor para o correto acompanhamento (rastreamento) do Sol. Para o projeto BDA nos propomos a construir um sistema digital de controle do rastreamento ("tracking") integrado das 26 antenas sob o Sistema Operacional "Linux" e integrá-lo ao sistema de controle e operação do interferômetro BDA.

#### 2) Resumo do Projeto

- \* Estudar sobre modelos de erro de apontamento de antenas.
- \* Estudar da linguagem de programação R.
- \* Utilizar arquivos contendo dados do apontamento e desvio em relação ao Sol obtido pelas antenas no tempo, para estimar parâmetros do modelo de apontamento de cada antena.
- \* Produzir de algoritmos para determinação dos parâmetros do modelo de apontamento: pelo método visual e pelo método de minimização.
- \* Os algoritmos desenvolvidos não puderam ser aplicados a todas as antenas com dados disponíveis. Os desvios nos dados de algumas das antenas não se enquadravam no modelo utilizado.



### 3) Objetivo

Permitir que o BDA se torne um observatório operacional. Determinar os modelos de apontamentos das antenas, de forma que possam ser usados para compensar os erros de desvio.

### 4) Atividades Desenvolvidas durante o período da bolsa

Estudo sobre modelos de apontamento de antenas.

Estudo da linguagem de programação R.

Utilização de arquivos contendo dados do apontamento e desvio em relação ao Sol obtido pelas antenas no tempo, para estimar parâmetros do modelo de apontamento de cada antena.

Produção de algoritmos para determinação dos parâmetros do modelo de apontamento: pelo método visual, e pelo método de minimização.

### 5) Resultados Obtidos em função do Plano de Trabalho proposto

Foram usados os dados de rastreamento do Sol das antenas 1, 2, 3, 8, 10, 12 e 21, do dia 22 de agosto de 2014.

#### Modelo de apontamento

O modelo de apontamento considera que os erros de azimute e elevação estão em função dos seguintes parâmetros:

- Phi, a inclinação do eixo de azimute;
- Az0, a direção para onde o eixo de azimute está inclinado (apresentado em graus neste trabalho);
- IE é o offset do encoder no eixo de elevação e o offset do alimentador no eixo de elevação;
- IA é o offset do encoder no eixo de azimute;
- OFF é o offset do alimentador em azimute.

Os erros são dados pelas seguintes funções:

Erro de elevação =  $\phi \cdot \cos(\text{Azimute} - \text{Az0}) + \text{IE}$

Erro de azimute =  $\phi \cdot \sin(\text{Azimute} - \text{Az0}) \cdot \sin(\text{elevação}) + \text{OFF} + \text{IA} \cdot \cos(\text{elevação})$

#### Método visual

As Figuras 1 a 3 mostram a distribuição das observações, e o ajuste obtido pelo método visual. Ele consiste em escolher um valor de Az0 que faça as distribuições dos pontos aproximar-se o máximo possível de uma reta; encontrado um valor para Az0, os outros parâmetros são deduzidos a partir dos coeficientes das próprias retas. Abaixo de cada gráfico estão os parâmetros obtidos (Az0, phi, IE, off, IA) e o parâmetro de determinação R2. Foi possível encontrar parâmetros para o modelo de apontamento das antenas 2, 8 e 21.

### antena 2 (22/08/2014)

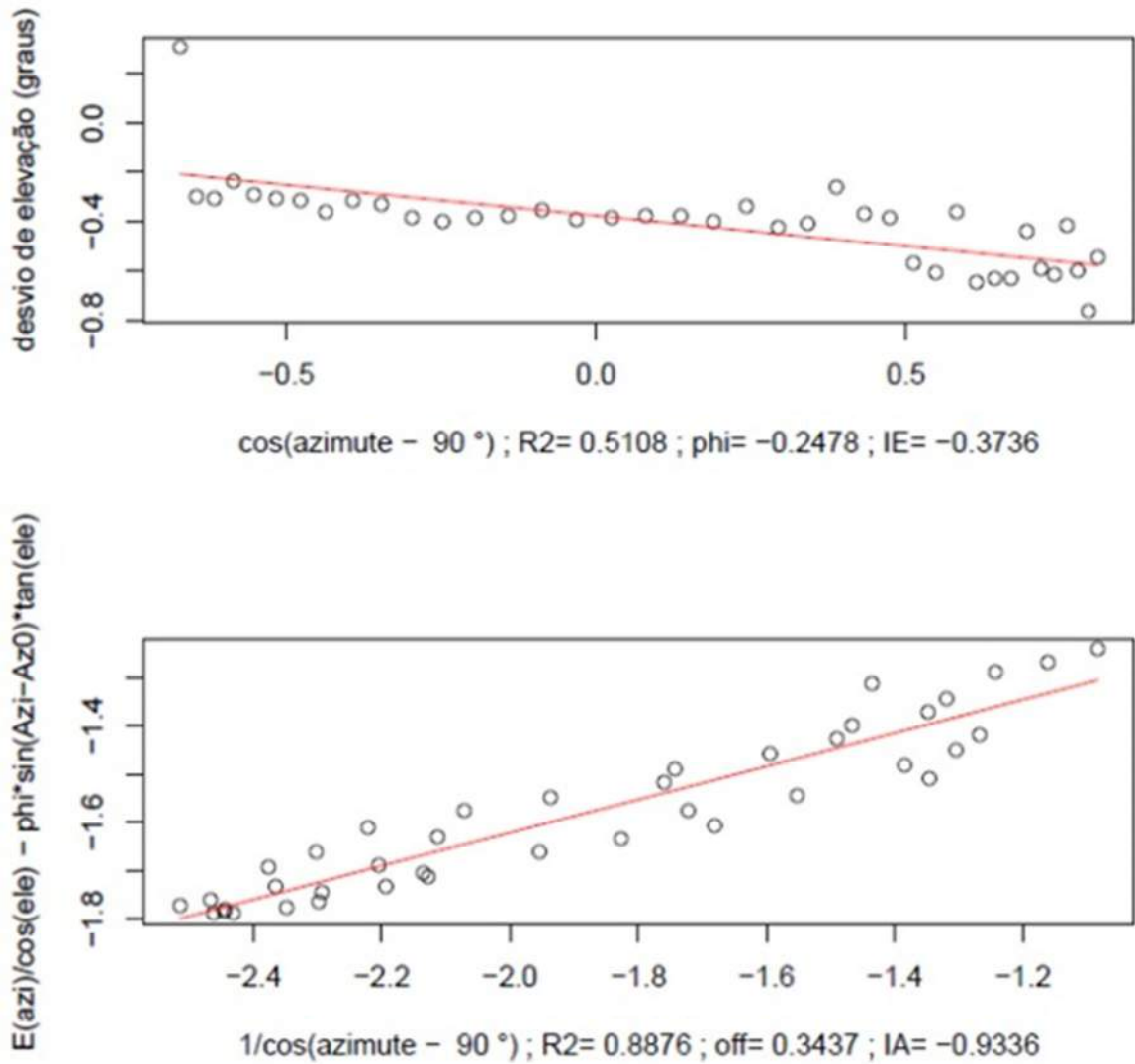


Figura 1: distribuição e ajuste pelo método visual da antena 2.

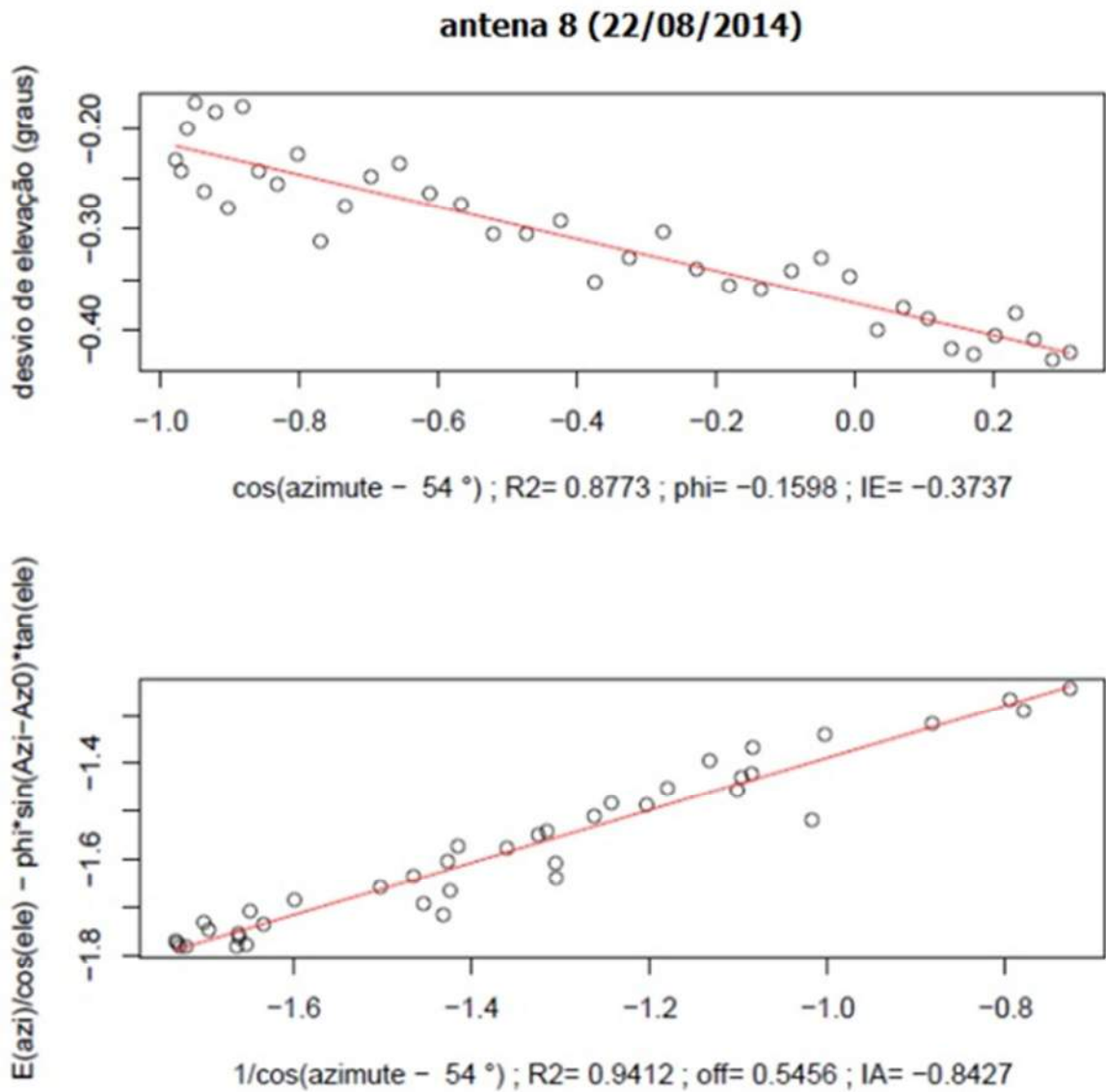


Figura 2: distribuição e ajuste pelo método visual da antena 8.

### antena 21 (22/08/2014)

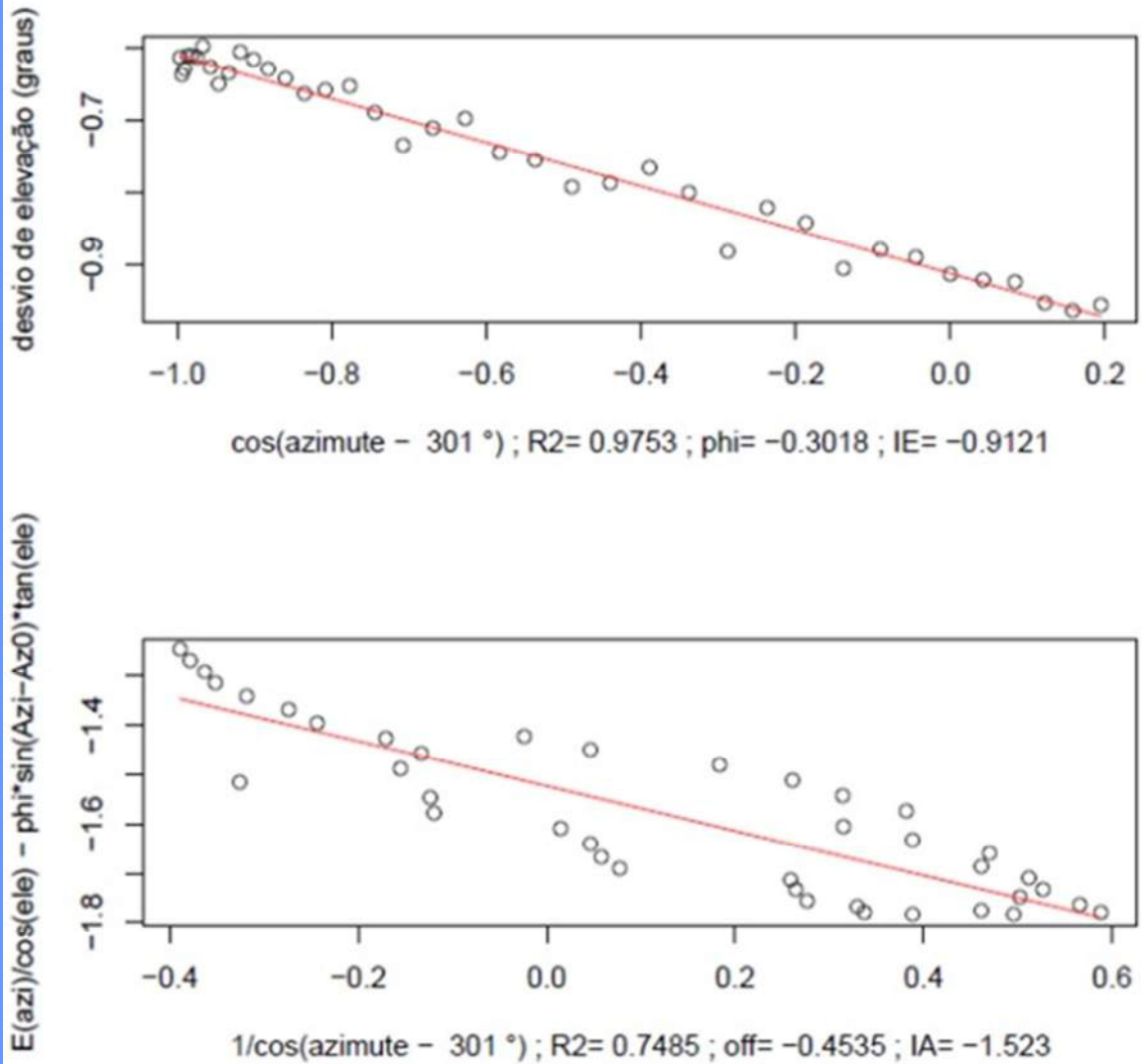


Figura 3: distribuição e ajuste pelo método visual da antenna 21.

A Figura 4 abaixo mostra o caso da antena 1, onde os parâmetros encontrados de acordo com o algoritmo não conseguiram dispor os pontos ao longo de retas em ambos os gráficos, significando que os parâmetros são inválidos:

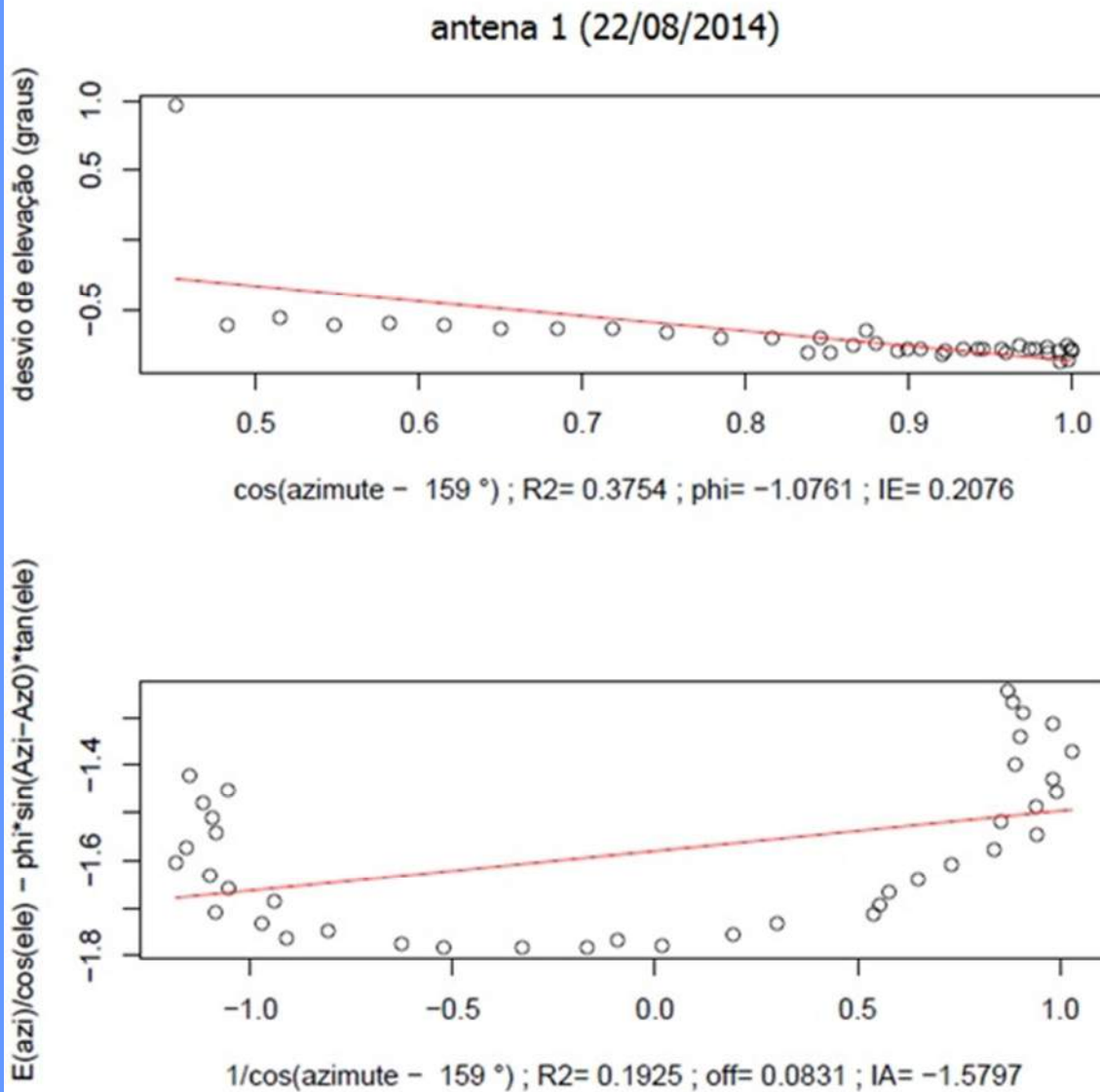


Figura 4: distribuição e ajuste pelo método de minimização da antena 1.



## Método por minimização de todos os parâmetros

O segundo método usa um algoritmo de minimização não linear da linguagem R, para obter os parâmetros  $Az_0$ ,  $\phi$ ,  $IE$ ,  $off$  e  $IA$  que resultem na curva que melhor se ajuste aos dados. Ele conseguiu encontrar curvas de ajuste para as antenas 2 e 8 (Figuras 5 e 6), e os parâmetros encontrados puderam ser usados para reduzir o erro de desvio.

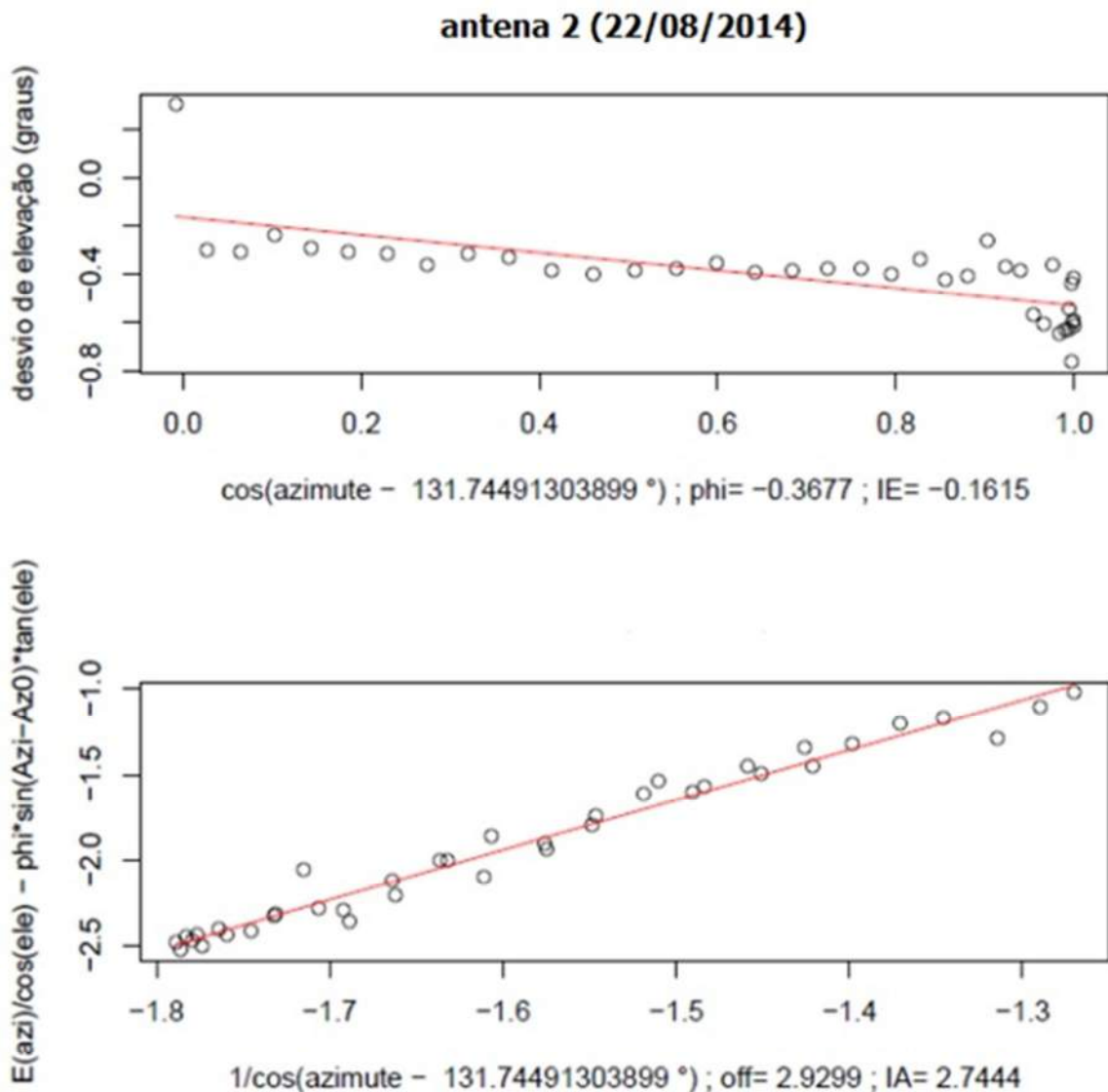


Figura 5: distribuição e ajuste pelo método de minimização da antena 2.



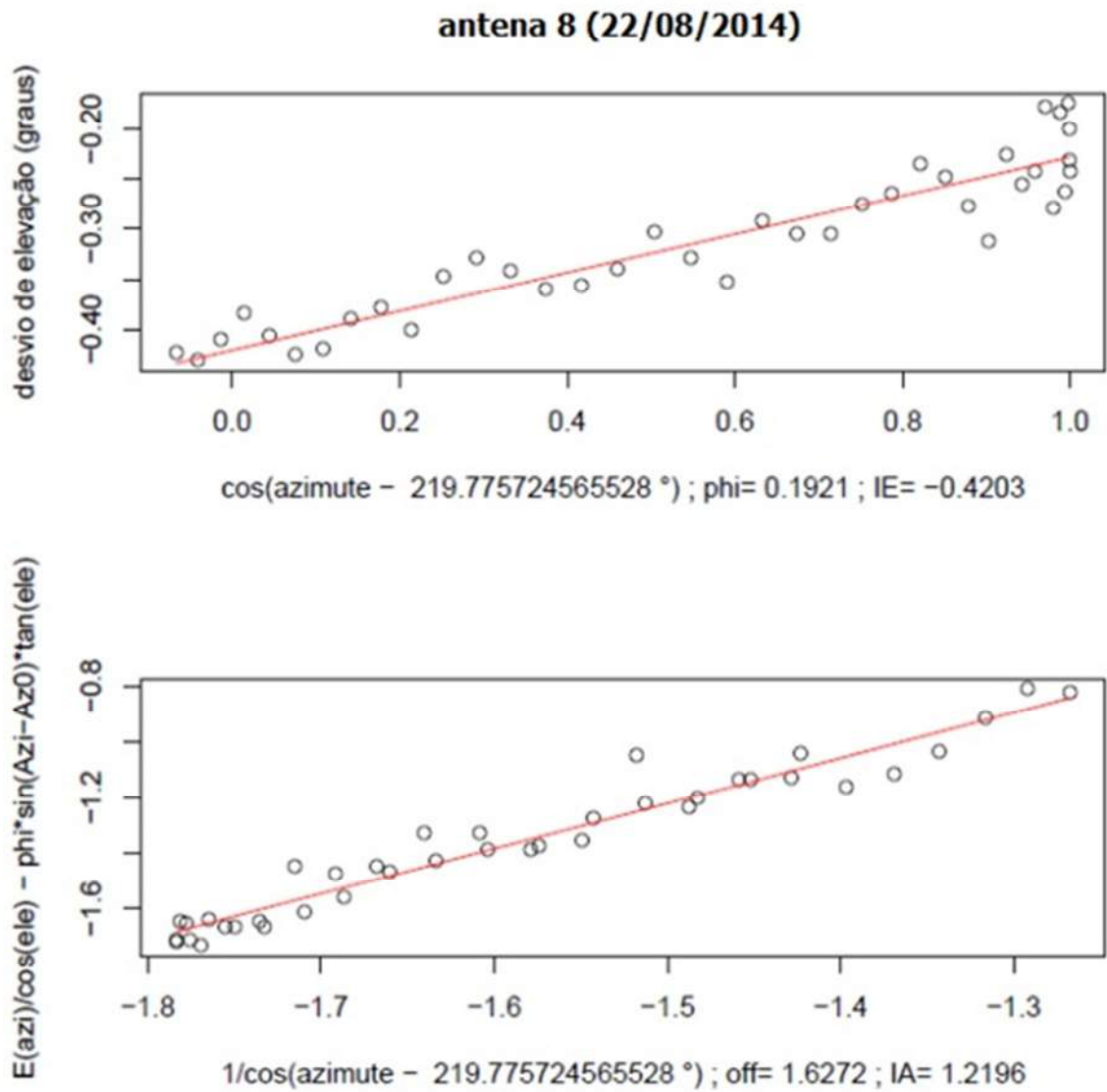
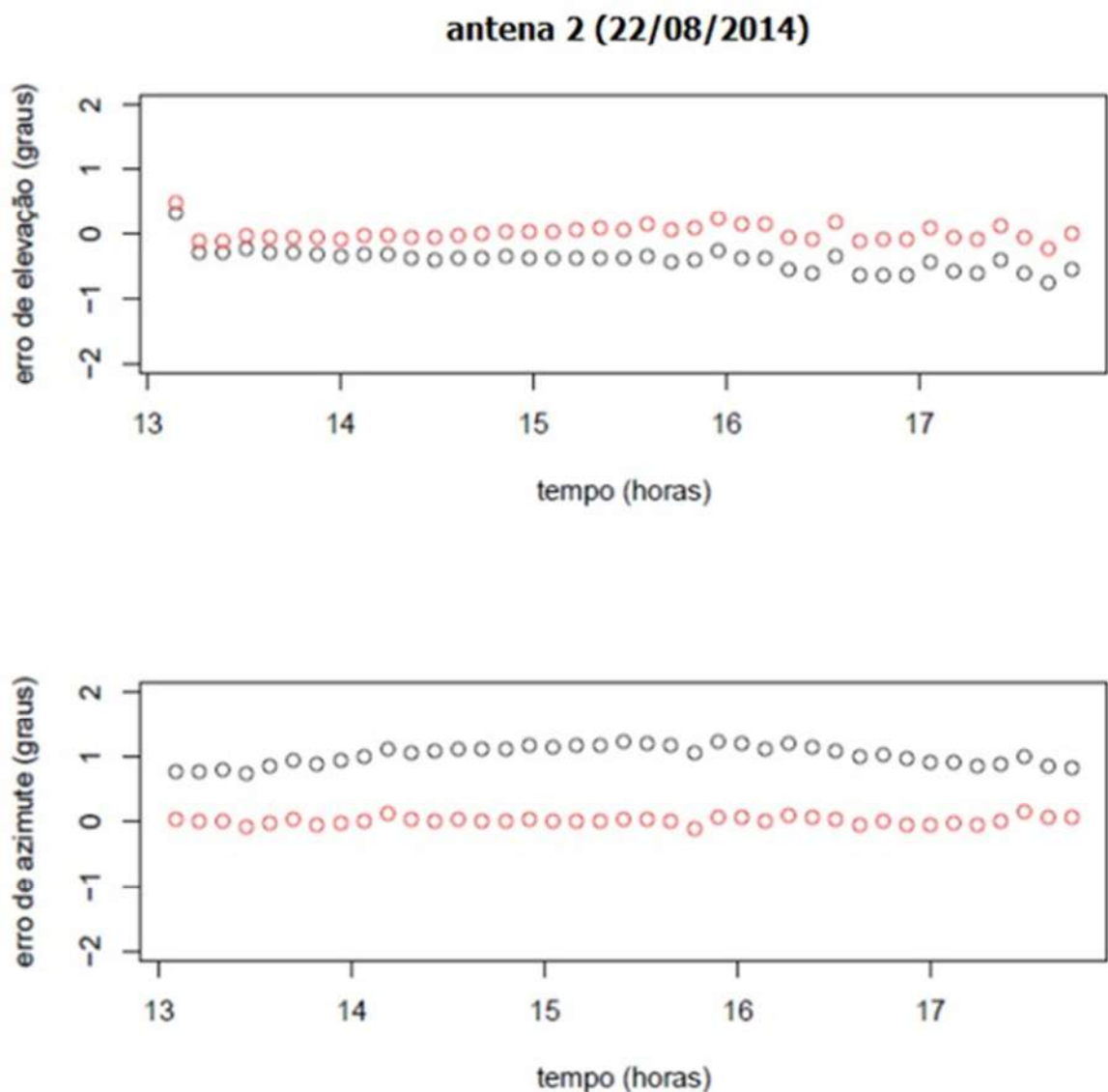


Figura 6: distribuição e ajuste pelo método de minimização da antena 8.

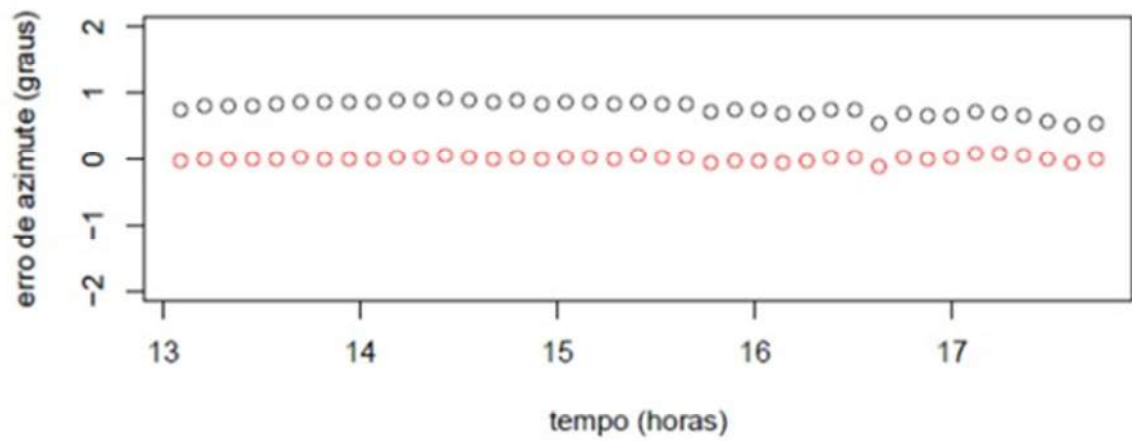
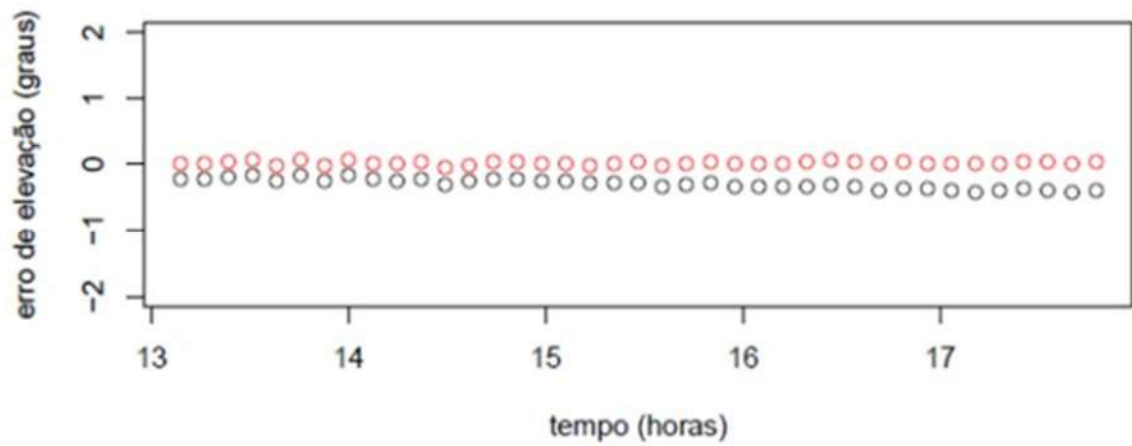
## Desvios após a correção

As Figuras 7 e 8 mostram a comparação entre os desvios originais (em preto), e após a correção do modelo de apontamento (em vermelho), com os parâmetros encontrados pelo método de minimização de parâmetros. É possível ver que nas antenas 2 e 8, a correta determinação dos parâmetros do modelo permite reduzir os erros de apontamento.



Figuras 7.

### antena 8 (22/08/2014)



Figuras 8



## Comparação

As Tabelas 1 e 2 mostram uma comparação dos parâmetros encontrados por cada método para cada antena:

**Tabela 1: Parâmetros encontrados pelo método visual**

	Az0 (graus)	phi	IE	off	IA
Antena 2	90	-2.478	-0.3736	0.3437	-0.9336
Antena 8	54	-0.1598	-0.3737	0.5456	-0.8427
Antena 21	301	-0.3018	-0.9121	-0.4535	-1.523

**Tabela 2: parâmetros encontrados pelo método por minimização**

	Az0 (graus)	phi	IE	off	IA
Antena 2	131.744	-0.3677	-0.1615	2.9299	2.7444
Antena 8	219.77	0.1921	-0.4203	1.6272	1.2196



## 7) Conclusões Gerais

Foi possível implementar dois métodos em R para determinar os parâmetros do modelo de apontamento das antenas, um visual e outro por minimização. O método visual encontrou parâmetros de apontamento para mais antenas 2, 8 e 21, mas não pôde encontrar valores que anulassem completamente os desvios de apontamento; uma possível causa seriam desvios adicionais não modelados.

O método por minimização foi bem sucedido nas antenas 2 e 8, também sugerindo a presença de desvios não modelados nas outras antenas. Seus valores encontrados puderam ser usados para reduzir os desvios de apontamento.

**São José dos Campos-SP, 18 de dezembro de 2015**

---

**Bolsista: [Jairo Cavalcanti Amaral]**

---

**Supervisor(a): [Cesar Strauss]**

---

**Coordenador(a) PCI da área: [Alison Dal Lago]**