



**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT**  
**Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE - MCT**  
**Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT**



**Universidade Federal de Santa Maria – UFSM**  
**Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria –**  
**LACESM/CT/UFSM**

**SISTEMA PARA DETECÇÃO DE CAMPO  
GEOMAGNÉTICO BASEADO EM SENSORES FLUXGATE  
PARA APLICAÇÕES EM SOLO NAS ESTAÇÕES  
GEOMAGNÉTICAS DE OBSERVATÓRIOS ESPACIAIS**

**EDUARDO ANDRIGHETTO**

Bolsista PIBIC/CNPq/INPE – UFSM

Curso de Engenharia Elétrica

5º Ano

Orientador: Dr. Nalin Babulal Trivedi

Co-autores: Cassio Espindola Antunes, Everton Frigo,

Elias Fernando Berra,

Nelson Jorge Schuch



CRICTE  
2005



# INTRODUÇÃO



- ◆ O trabalho a seguir apresentará a implementação eletrônica de um magnetômetro utilizando sensores fluxgate em barra linear para detecção do campo magnético na ordem de frações de nanoteslas;
- ◆ Os resultados finais obtidos com o magnetômetro são apresentados na forma de gráficos diários obtidos na Estação Geomagnética do Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT em São Martinho da Serra, RS.



CRICTE  
2005



# OBJETIVOS



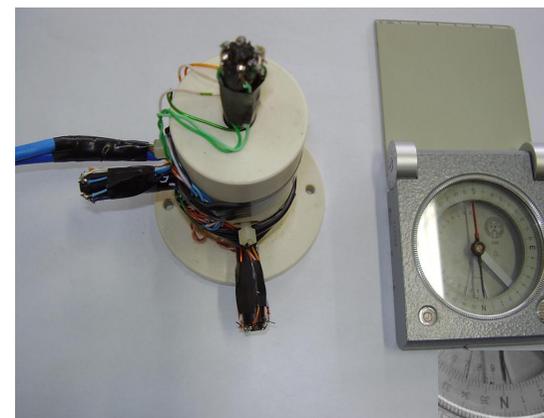
- Desenvolver estudos experimentais visando o desenvolvimento de instrumentação para medidas geomagnéticas – magnetômetro de tipo “fluxgate” de três componentes;
- Estudar técnicas de medição das variações de Campo Magnético Terrestre para realizar estudos na área de Geofísica Espacial;
- Participar na operação do magnetômetro “fluxgate” na Estação Geomagnética do Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS;





## O Sensor

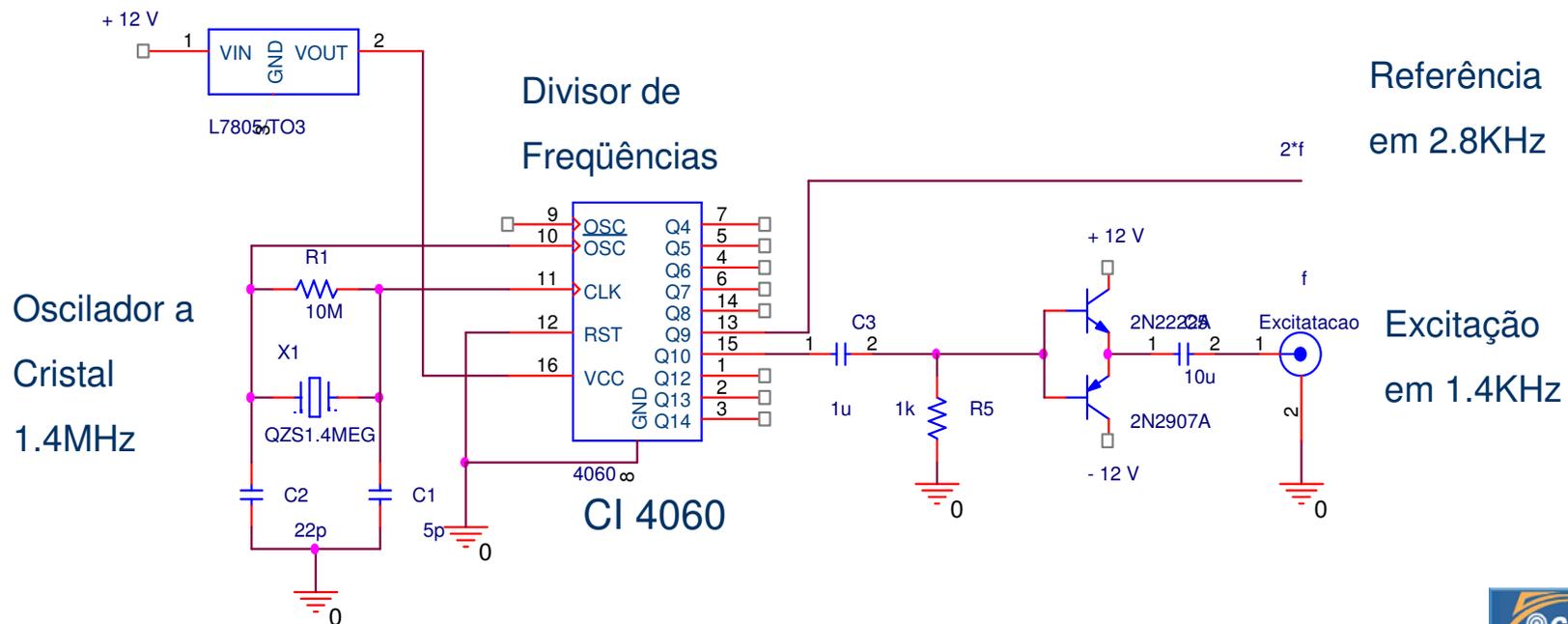
Fabricado por S.Smith & Sons (England) Ltd. O LFG – A13 é constituído de uma barra ferromagnética linear com alta permeabilidade magnética e enrolada por três bobinas em que se compõem a excitação, a detecção e a realimentação para a desmagnetização do núcleo.





# Excitação Magnética do Sensor

O circuito eletrônico a seguir é decorrência de se ter escolhido um sensor linear para detectar o campo magnético. Dessa forma, para garantir uma boa resposta do sensor deve ser empregada uma frequência de excitação entre 1000 a 2000 Hertz.



CRICTE  
2005



## Processamento do Sinal

- ◆ O circuito responsável pelo tratamento do sinal é exposto numa seqüência de estágios que ao final informa um nível de tensão contínuo que varia linearmente com o campo magnético, ao qual está submetido, numa escala de 10000 nT para cada 1 Volt de sinal gerado no final.
- ◆ Utiliza-se uma referência com o dobro da freqüência de excitação para comparação com o sinal obtido no sensor porque este é induzido em freqüência dobrada.

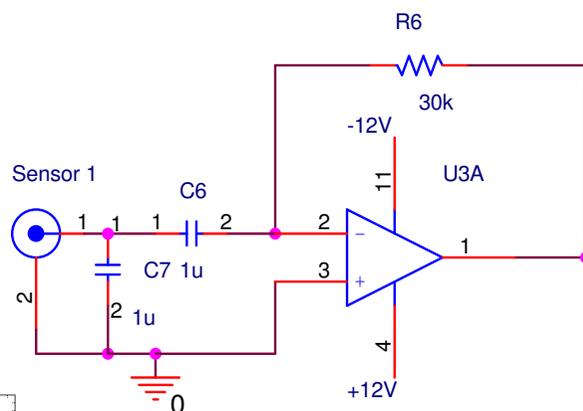




# Processamento do Sinal

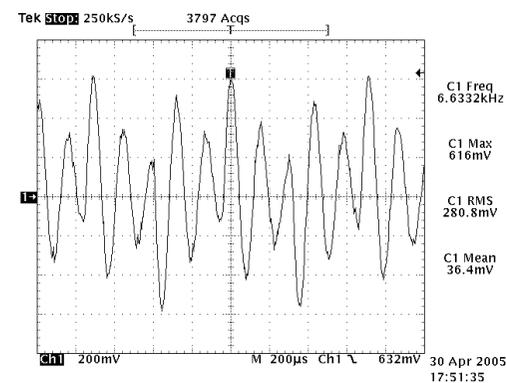
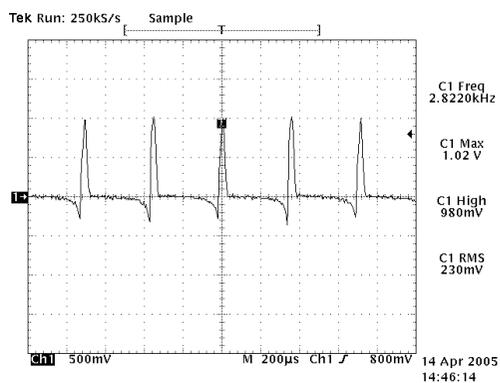
- ◆ Circuito de Conversão – Corrente/Tensão
  - Um para cada barra sensora

Pulsos de corrente  
induzidos no  
secundário



Sinal convertido em tensão com  
várias harmônicas

Amplificador  
operacional  
TL071

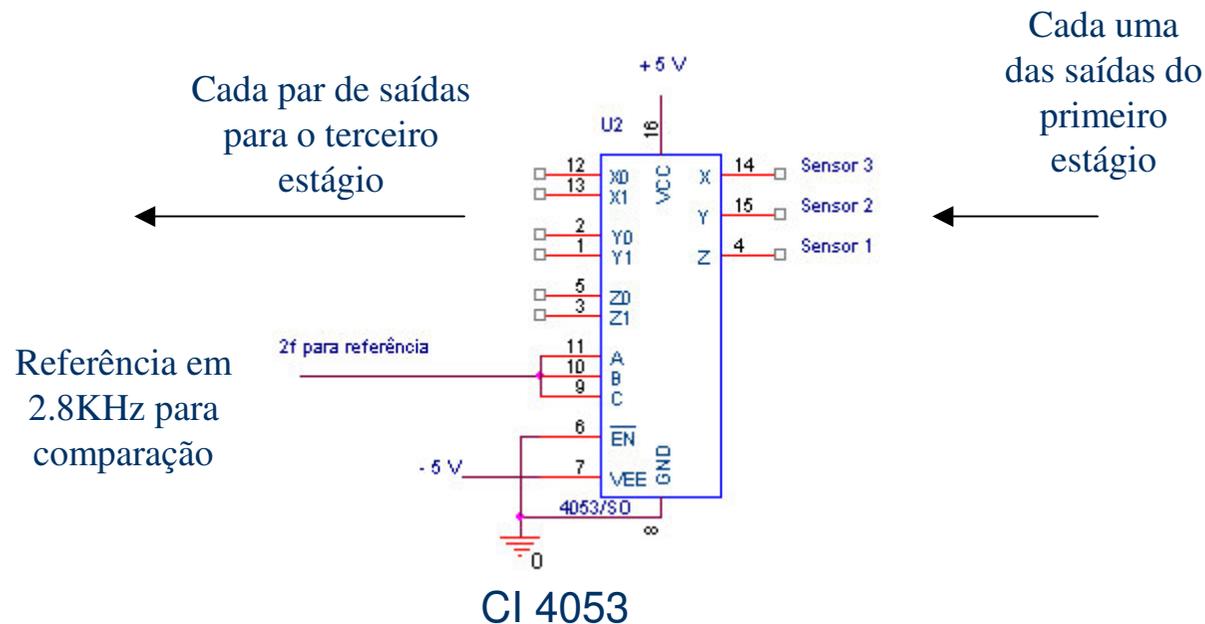




# Processamento do Sinal

## ◆ Multiplexador Analógico

- Gera pares de saída com o 2º harmônico da referência e da excitação



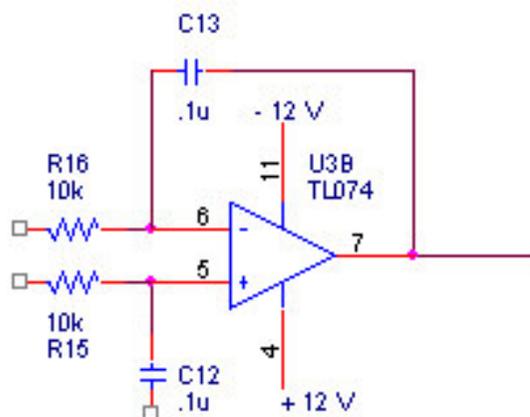


## Processamento do Sinal

### ◆ Integrador

- Integra a diferença de fase entre os 2º harmônicos gerando um nível contínuo. Utiliza-se 3 integradores, 1 por sensor.

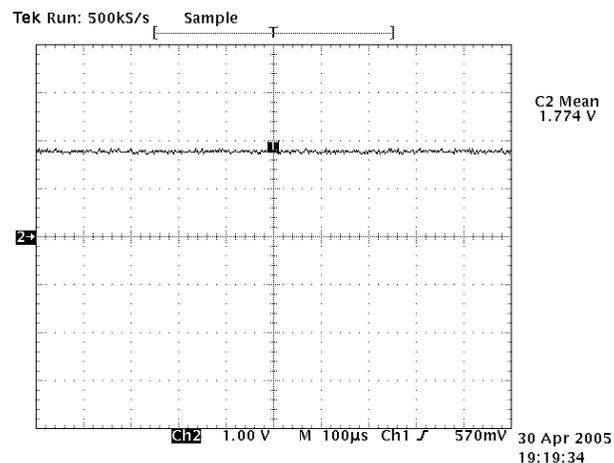
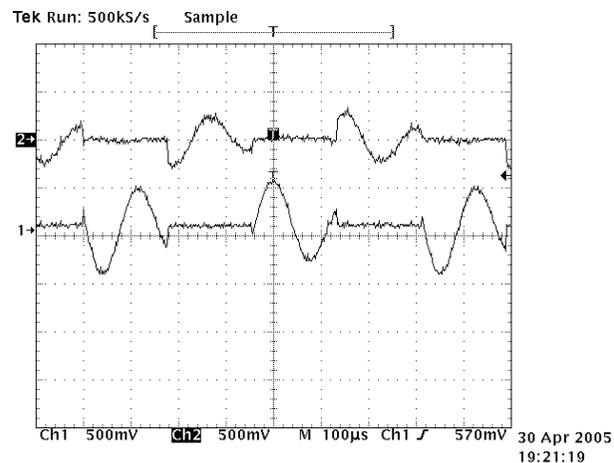
Par de uma das saídas do CI 4053 →



Ponto comum para filtro passa baixa e a realimentação, terceira bobina que desmagnetiza o núcleo e garante a linearidade do sensor



# Processamento do Sinal



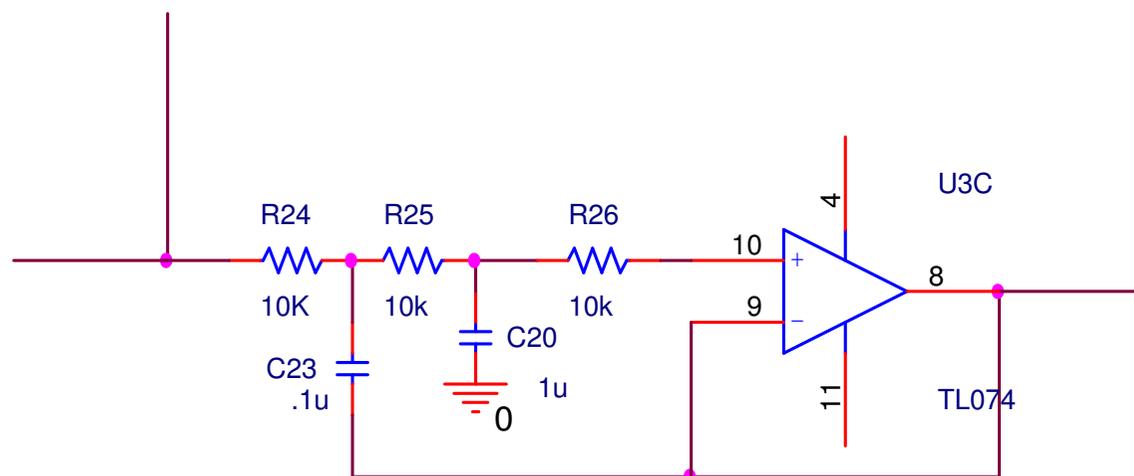
Diferença de fase entre os 2º harmônicos da excitação e da referência após a integração do sinal gerando um nível contínuo



## Processamento do Sinal

### ◆ Filtro Passa-baixa

- Corta frequências acima de 10 Hertz já que a variação do Campo Geomagnético varia lentamente. Utiliza-se 3 filtros, 1 para cada sensor.

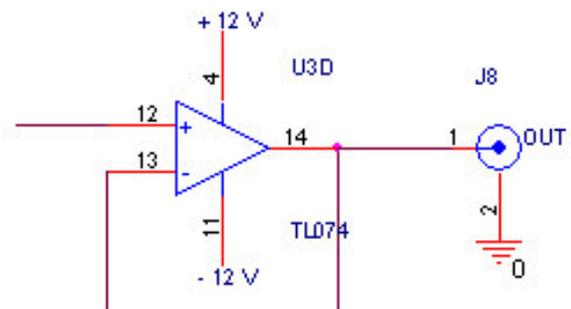




## Processamento do Sinal

### ◆ Buffer

- Após a filtragem é utilizado um seguidor unitário para permitir a conexão de cabos longos entre o sensor e a estação de operação. Utiliza-se 3 buffer, 1 para cada sensor.



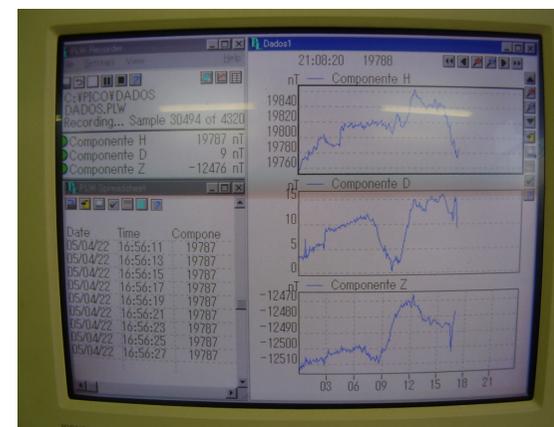
Saída para o  
conversor A/D



## Processamento do Sinal

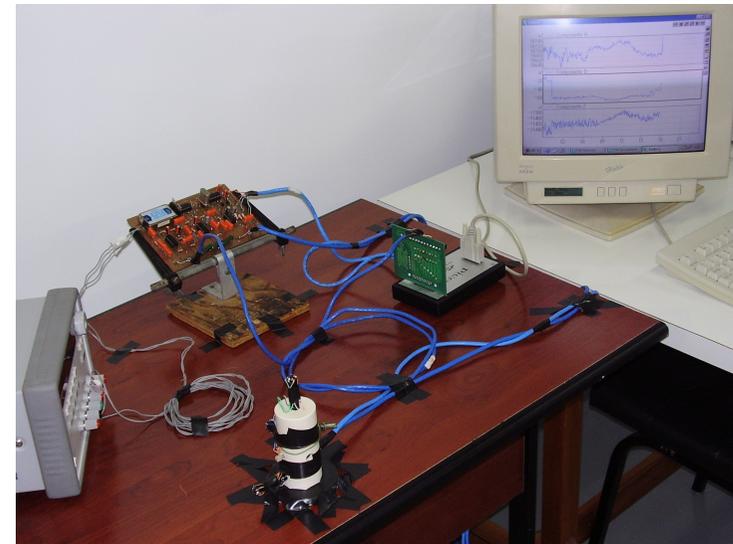
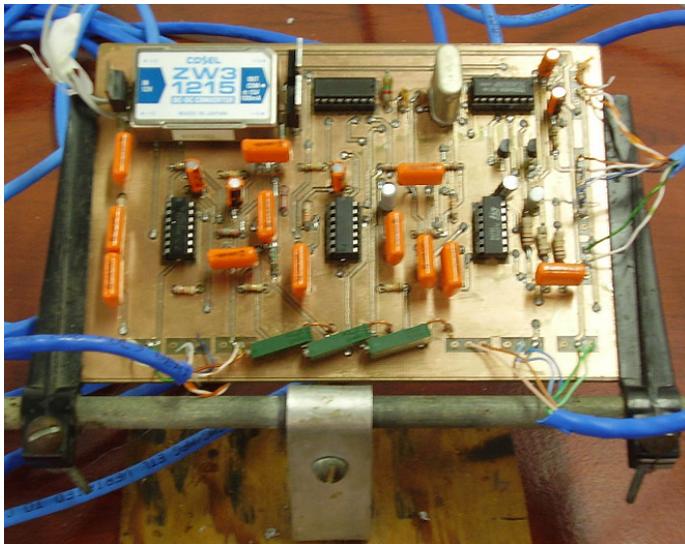
- ◆ Conversão Analógica/Digital e Interface com PC

Foi utilizado um conversor A/D de 16 bits para suprir a necessidade de se ter medidas com grandezas da ordem de 20000nT.



Conversor ADC16 High Resolution Data Logger fabricado pela empresa PICO Technology Limited

## Resultados Obtidos



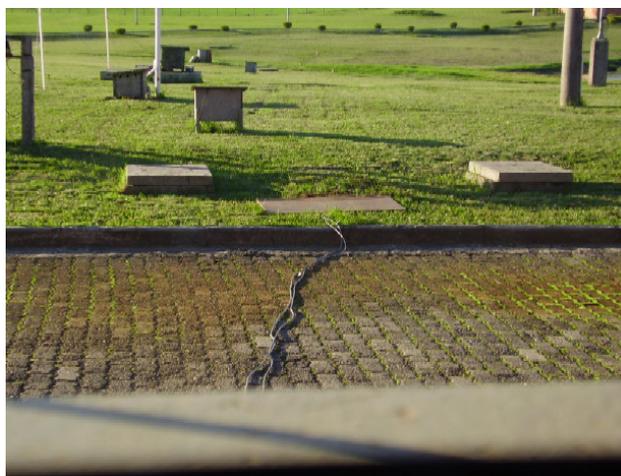
Sistema em operação para análises e testes

CRICTE  
2005



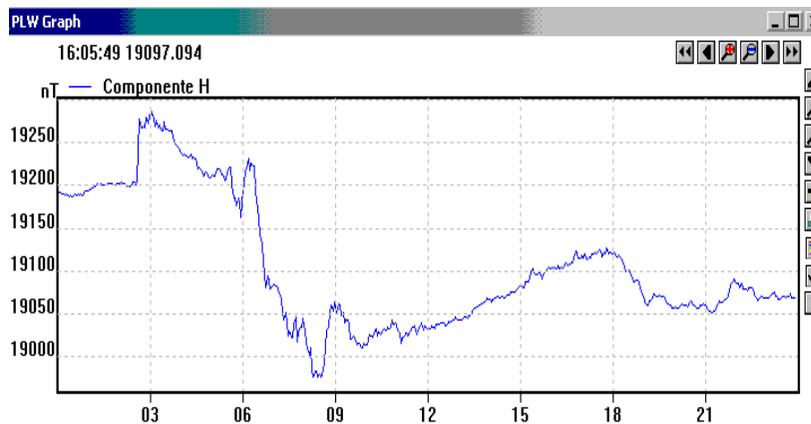
## Resultados Obtidos

- ♦ Para a análise dos resultados obtidos no magnetômetro implementado neste Projeto, estão sendo utilizados os dados coletados pelo magnetômetro NAROD fabricado pela Narod Geophysics do Canadá e instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT pela Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT e que opera segundo a taxa de variação de 1 Volt para 10000nT, admitindo a sua ótima confiabilidade para uma linearidade de medidas bastante satisfatória.

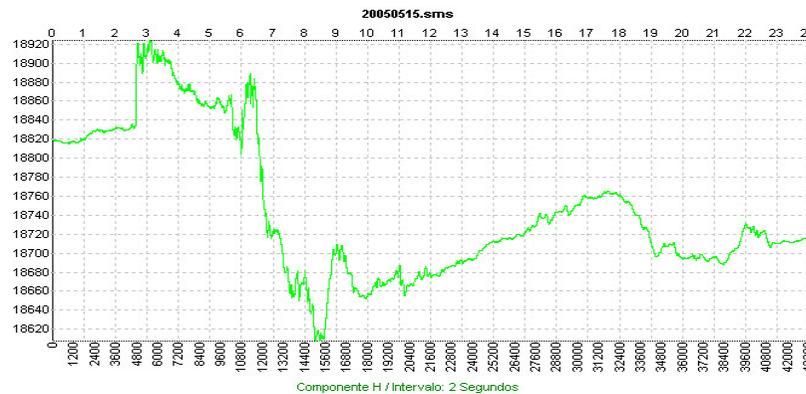




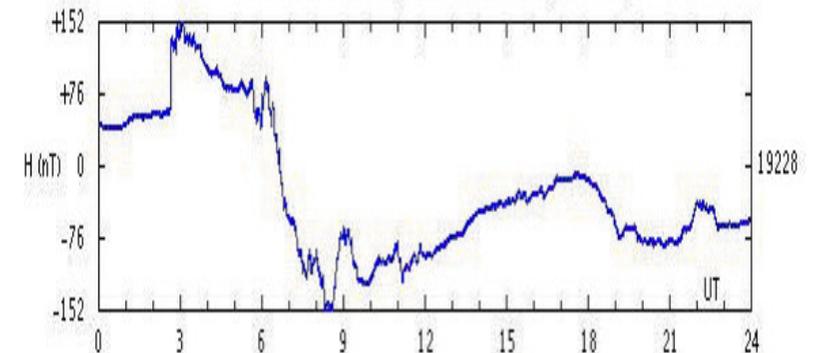
# Resultados Obtidos



- ◆ Tempestade magnética do dia 15/05/2005 na direção Norte obtida através do magnetômetro implementado em São Martinho do Serra, RS.

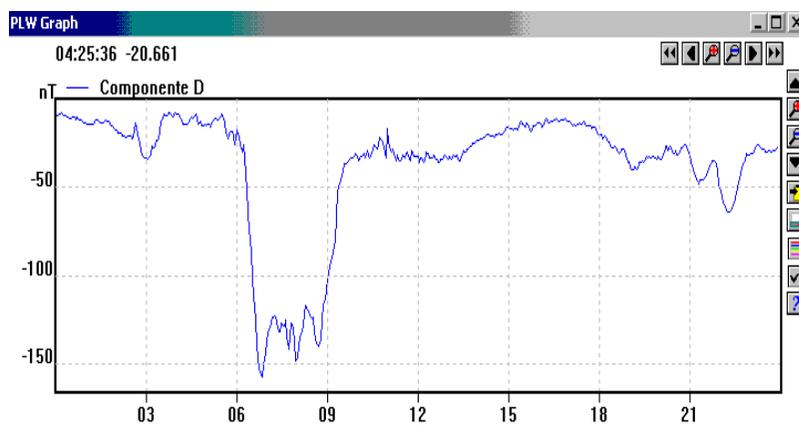


VSS - Vassouras ( Lat: 112.4 Long: 316.4 )

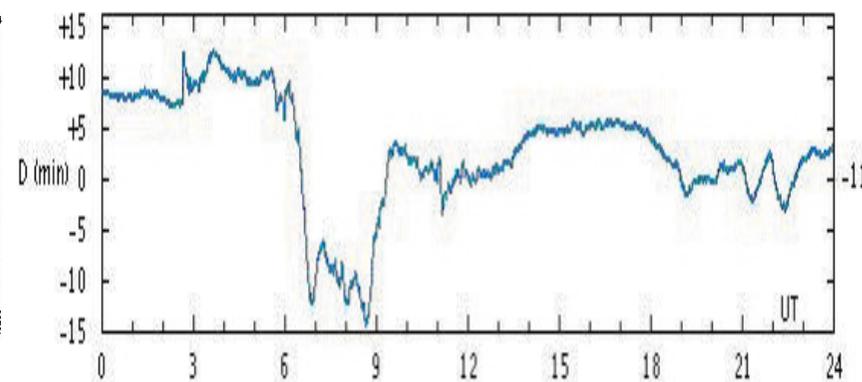
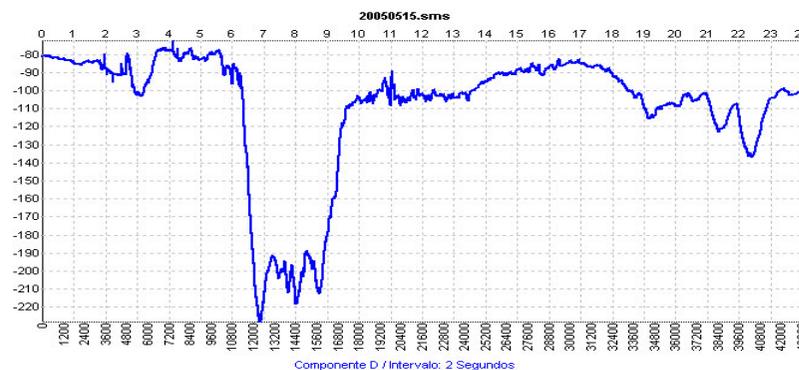




## Resultados Obtidos

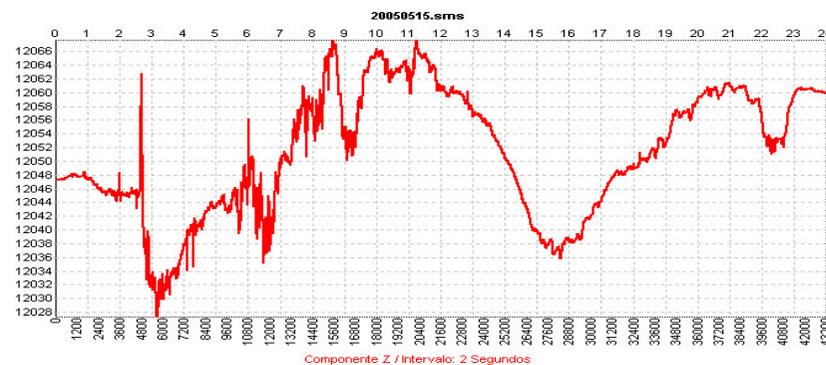


- ◆ Tempestade magnética do dia 15/05/2005 na direção Leste obtida através do magnetômetro implementado em São Martinho do Serra, RS.

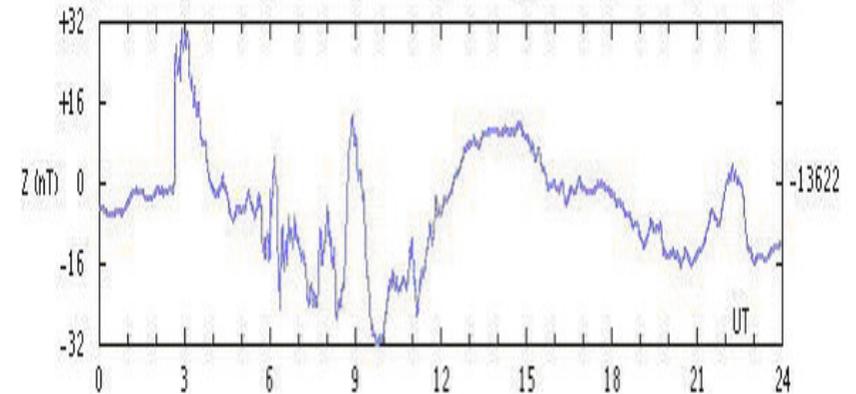




## Resultados Obtidos



- ◆ Tempestade magnética do dia 15/05/2005 na direção vertical obtida através do magnetômetro implementado em São Martinho do Serra, RS.



CRICTE  
2005



# CONCLUSÕES



- ◆ Através da comparação das componentes e dos magnetogramas coletados durante a tempestade magnética ocorrida no dia 15/05/2005, entre ambos os magnetômetros, já podemos concluir que o Sistema desenvolvido e implementado no CRSPE/INPE – MCT tem um funcionamento bastante satisfatório e uma linearidade muito similar entre os dois magnetômetros. Dessa forma, sendo a variação geomagnética observada pelo magnetômetro NAROD de ótima confiabilidade, é comparável e idêntica ao registro da variação geomagnética adquirida pelo magnetômetro construído no CRSPE/INPE – MCT, através do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT. Podemos concluir que o magnetômetro desenvolvido e construído neste Projeto é um sucesso real.



CRICTE  
2005



# AGRADECIMENTOS



- Ao programa PIBIC/CNPq.
- Ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT.

## REFERÊNCIAS

- ♦**Campbell, W. H.** Introduction to Geomagnetic Fields, Cambridge University Press, New York, 1997.
- ♦**Primdahl, F., Peterson, J. R., Olin, C. And Anderson, K. H.,** The Short-circuited Fluxgate Output Current, J.Phys.E:Sci.Instrum., n.22, p.349-354, 1989.
- ♦**Primdahl, F.,** Instrumentos Geomagnéticos, Publicações do Observatório Nacional, Publicação Especial, N<sup>o</sup> 09, 1986.
- ♦**Trivedi, N.B.; Russell, C.T.; Barbosa, M.J.F.; Dutra, S.L.G.; Teixeira, N.R.; Means, J.D.; Neri J.A.** - 2000 - Geomagnetic field measurements on a polar microsatellite SACI-1, Advances in Space Research, 25 (7/8), 1315-1323.

