



**UNICAMP**

# Wavelets Aplicadas à Detecção de Fontes Pontuais de Raios Cósmicos Ultra-Energéticos

R. A. Batista, E. Kemp, R. M. de Almeida

Instituto de Física Gleb Wataghin

Outubro de 2010.

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D  
Filtragem de Mapas  
Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações  
O Observatório Pierre Auger  
Resultados  
Simulações  
Aplicação a Dados  
Conclusões  
Perspectivas  
Wavelets na esfera

# O Que São?

- ▶ funções matemáticas  $\in \mathbb{L}^2$ ;
- ▶ dividem sinais contínuos em diferentes componentes de escala;
- ▶ permitem estudar cada componente de escala com uma resolução adequada;
- ▶ têm tamanho variável e varrem o sinal em intervalos arbitrários, permitindo obter o espectro;
- ▶ permitem obter uma coleção de representações tempo-frequência, com diferentes resoluções.

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

## Wavelets

Wavelets em 1-D

CWT

Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)

MHWF

Resultados de Simulações

O Observatório Pierre Auger

Resultados

Simulações

Aplicação a Dados

Conclusões

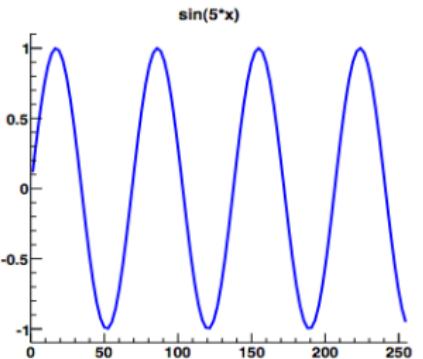
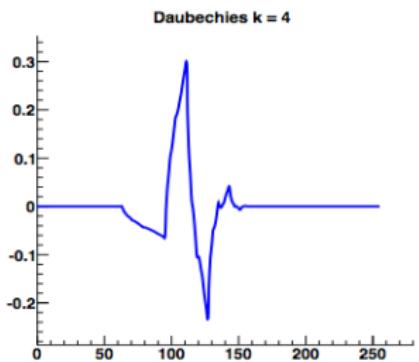
Perspectivas

Wavelets na esfera

# Wavelets em 1 Dimensão

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

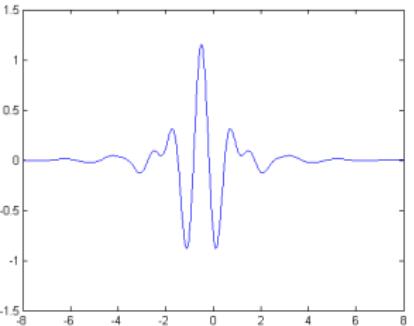
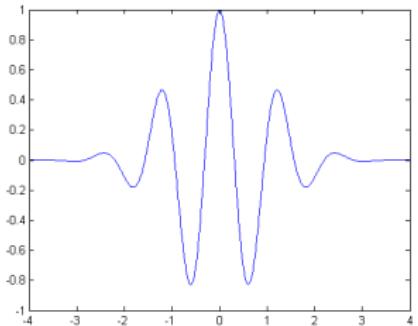


- Wavelets
- Wavelets em 1-D
- CWT
- Wavelets em 2-D
- Filtragem de Mapas
- Aplicações (CMB)
- MHWF
- Resultados de Simulações
- O Observatório Pierre Auger
- Resultados
- Simulações
- Aplicação a Dados
- Conclusões
- Perspectivas
- Wavelets na esfera

# Algumas Wavelets

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista



Wavelet de Morlet (à esquerda) e wavelet de Meyer (à direita).

Wavelets

Wavelets em 1-D

CWT

Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)

MHWF

Resultados de Simulações

O Observatório Pierre Auger

Resultados

Simulações

Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas

Wavelets na esfera

# A Transformada Contínua de Wavelets (CWT)

- A CWT pode ser escrita como:

$$\Phi(s, \tau) = \int f(t) \Psi_{s,\tau}^*(t) dt, \quad (1)$$

onde  $s$  ( $s > 0$ ,  $s \in \mathbb{R}$ ) e  $\tau$  ( $\tau \in \mathbb{R}$ ) são, respectivamente, os parâmetros de escala (dilatação) e translação.

- A transformada inversa é dada por:

$$f(t) = \int \int \Phi(s, \tau) \Psi_{s,\tau}(t) d\tau ds. \quad (2)$$

- A wavelets  $\Psi_{s,\tau}$  são geradas a partir de uma wavelet-mãe ( $\Psi(t)$ ) através de dilatações e translações.

$$\Psi_{s,\tau} = \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi \left( \frac{t - \tau}{s} \right) \quad (3)$$

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
**CWT**  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

Resultados  
Simulações  
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Wavelets em 2 Dimensões

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

- ▶ Pode ser definida em diferentes métricas.
- ▶ Wavelets no plano: útil no tratamento de imagens.
- ▶ Wavelets na esfera: problemas esfericamente simétricos (CMB, raios cósmicos).

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
**Wavelets em 2-D**  
Filtragem de Mapas  
Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações  
O Observatório Pierre Auger  
Resultados  
Simulações  
Aplicação a Dados  
Conclusões  
Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Filtragem de Mapas

- Resolução angular do detector  $\rightarrow$  PSF (*Point Spreading Function*).
- A amplificação( $\lambda$ ) da razão sinal-ruído é:

$$\lambda = \frac{w/\sigma_w}{w_0/\sigma_0} \quad (4)$$

onde  $w$  e  $w_0$  são, respectivamente, o valor dos pixels correspondentes no mapa filtrado e no mapa não-filtrado, e  $\sigma$  e  $\sigma_0$  os desvios quadráticos médios associados.

- A convolução de um mapa com um filtro é matematicamente descrita por:

$$M_f(k) = \frac{\sum_j M(j)\Phi(\vec{r}_k, \vec{r}_j)}{\sum_j \Phi(\vec{r}_k), \vec{r}_j} \quad (5)$$

onde  $M(j)$  é o número de raios cósmicos associada ao pixel de índice  $j$  que está na direção  $\vec{r}_j$  e  $\Phi$  é o filtro utilizado.

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre Auger

Resultados  
Simulações  
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Aplicações em Estudos de CMB - A Família de Wavelets de Chapéu Mexicano (MHWF)

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

- Em paper de 2006, González-Nuevo *et al* propõem o uso de wavelets da família de wavelets de chapéu mexicano (MHWF).
- A MHWF é obtida pelo laplaciano da gaussiana bidimensional:

$$\Psi_n(\vec{x}) = \frac{(-1)^n}{2^n n!} \nabla^{2n} \phi(\vec{x}), \quad (6)$$

onde  $n$  é a ordem da wavelet,  $\phi(\vec{x})$  é a gaussiana bidimensional, i. e,

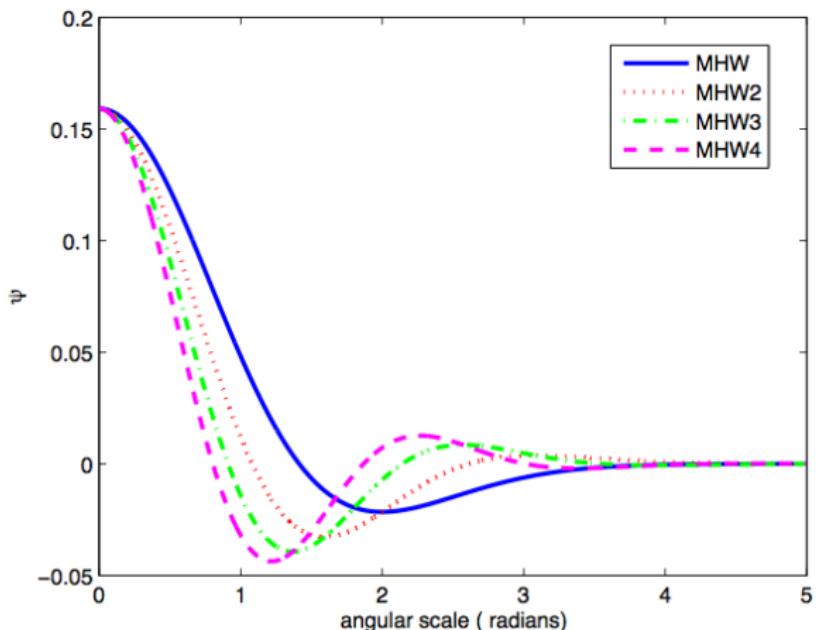
$$\phi(\vec{x}) = \frac{1}{2\pi} \exp\left(-\frac{\vec{x} \cdot \vec{x}}{2\sigma}\right). \quad (7)$$

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D  
  
Filtragem de Mapas  
  
Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações  
  
O Observatório Pierre Auger  
  
Resultados  
Simulações  
Aplicação a Dados  
  
Conclusões  
  
Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Aplicações em Estudos de CMB - A Família de Wavelets de Chapéu Mexicano (MHWF)

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

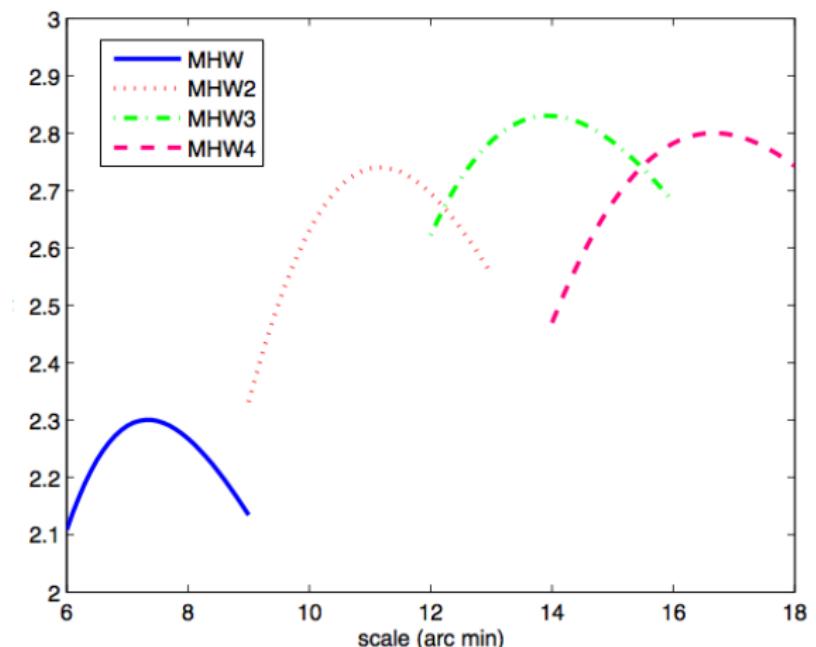


- Wavelets
  - Wavelets em 1-D
  - CWT
  - Wavelets em 2-D
- Filtragem de Mapas
- Aplicações (CMB)
  - MHWF
  - Resultados de Simulações
- O Observatório Pierre Auger
- Resultados
- Simulações
- Aplicação a Dados
- Conclusões
- Perspectivas
- Wavelets na esfera

# Aplicações em Estudos de CMB - Cálculo da Amplificação

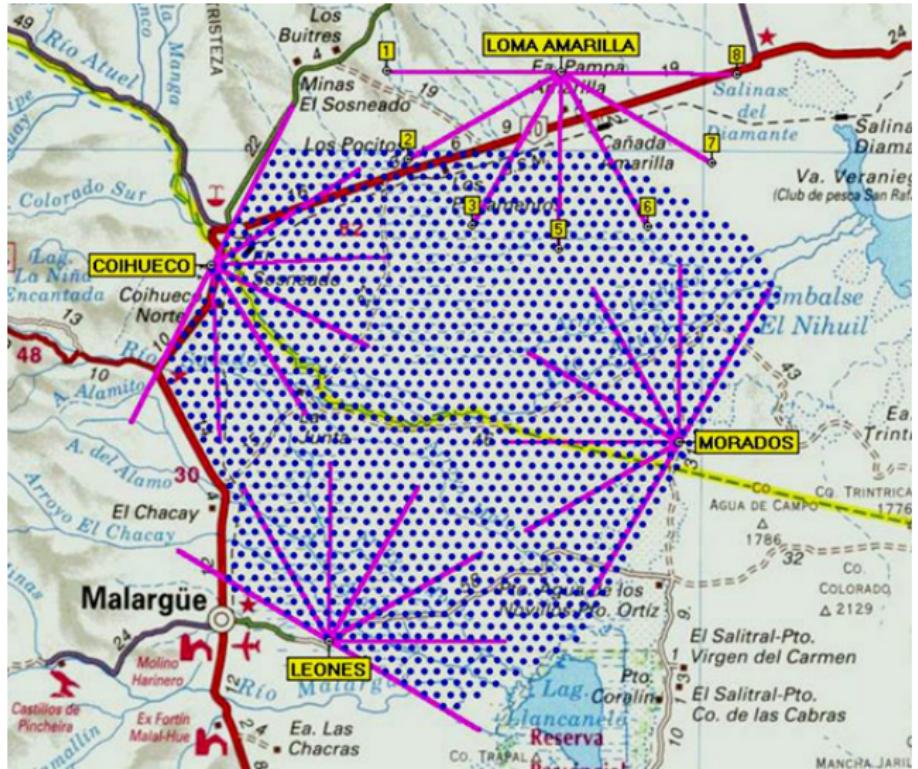
Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista



- Wavelets
- Wavelets em 1-D
- CWT
- Wavelets em 2-D
- Filtragem de Mapas
- Aplicações (CMB)
- MHWF
- Resultados de Simulações**
- O Observatório Pierre Auger
- Resultados
- Simulações
- Aplicação a Dados
- Conclusões
- Perspectivas
- Wavelets na esfera

# O Observatório Pierre Auger



Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

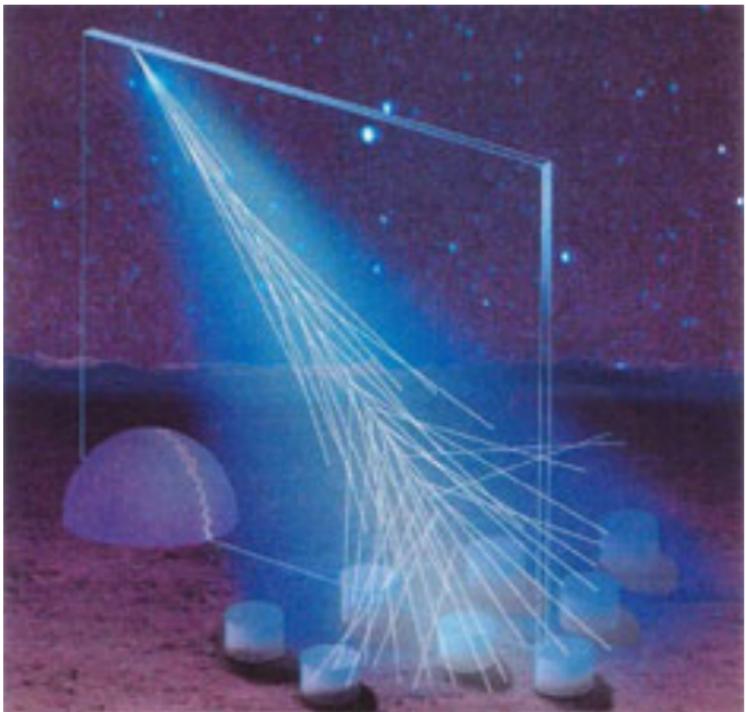
Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D  
Filtragem de Mapas  
Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre Auger

Resultados  
Simulações  
Aplicação a Dados  
Conclusões  
Perspectivas  
Wavelets na esfera

# O Observatório Pierre Auger - Detecção Híbrida



Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D  
  
Filtragem de Mapas  
  
Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

Resultados  
Simulações  
Aplicação a Dados  
  
Conclusões  
  
Perspectivas  
Wavelets na esfera

# O Observatório Pierre Auger - Detectores de Superfície



Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

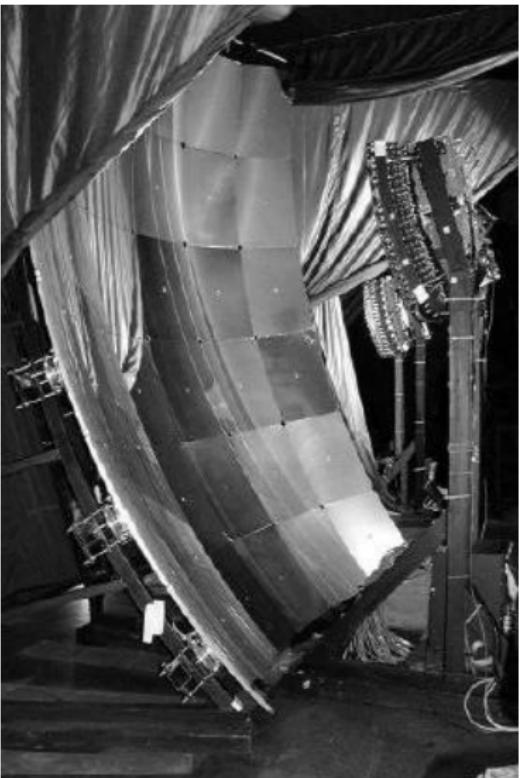
Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D  
  
Filtragem de Mapas  
  
Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre Auger

Resultados  
Simulações  
Aplicação a Dados  
  
Conclusões  
  
Perspectivas  
Wavelets na esfera

# O Observatório Pierre Auger - Detectores de Fluorescência



Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D  
  
Filtragem de Mapas  
  
Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

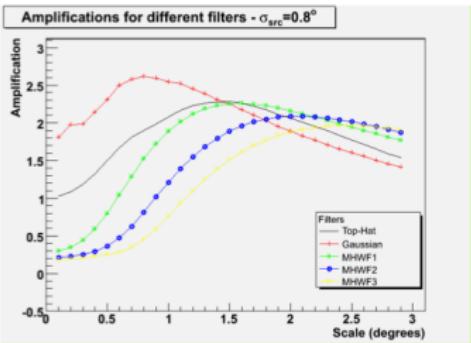
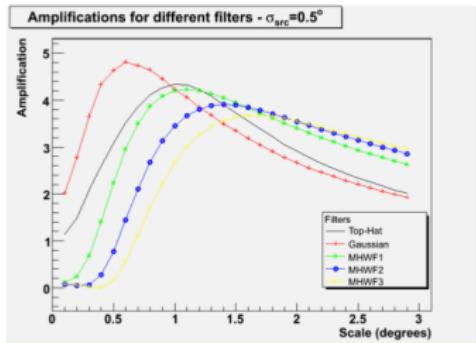
O Observatório Pierre Auger

Resultados  
Simulações  
Aplicação a Dados  
  
Conclusões  
  
Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista



Amplificação da razão sinal-ruído em função da escala angular. Fonte gaussiana com  $\sigma = 0.5^\circ$  (à esquerda) e  $\sigma = 0.8^\circ$  (à direita).

Wavelets

Wavelets em 1-D

CWT

Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)

MHWF

Resultados de Simulações

O Observatório Pierre Auger

Resultados

Simulações

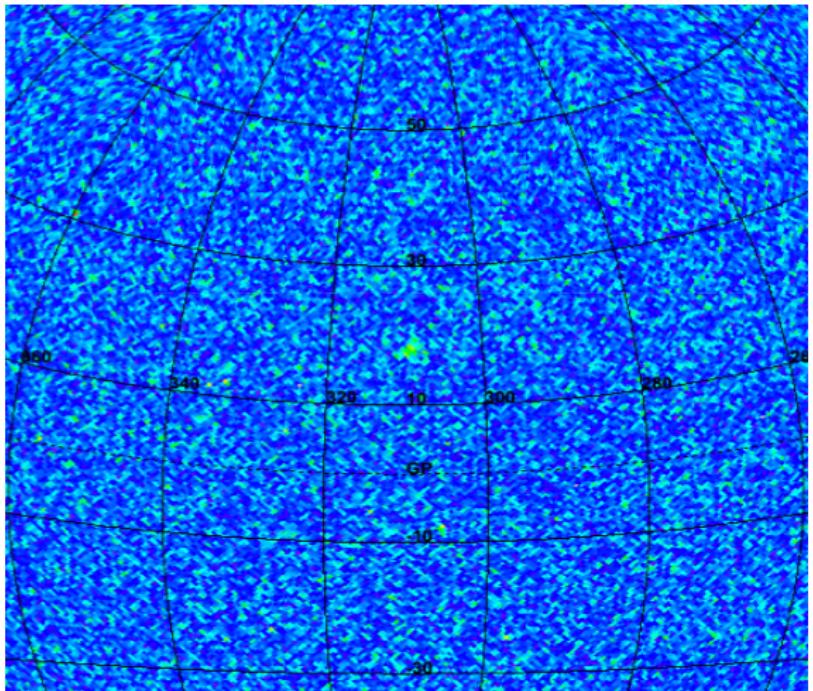
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas

Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  $\sigma = 0.1^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets

Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)

MHWF

Resultados de Simulações

O Observatório Pierre Auger

Resultados

Simulações

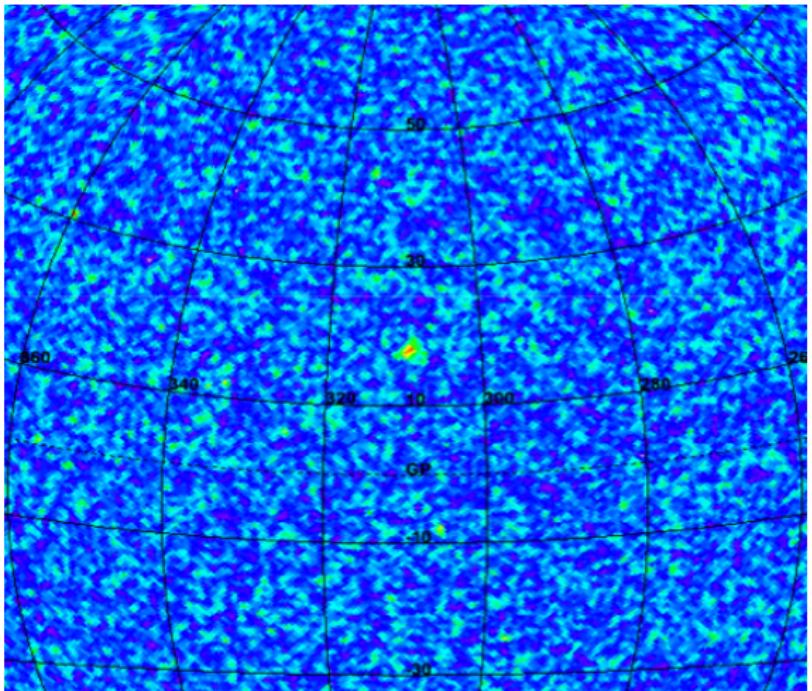
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas

Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  
 $\sigma = 0.3^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets

Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)

MHWF

Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

Resultados

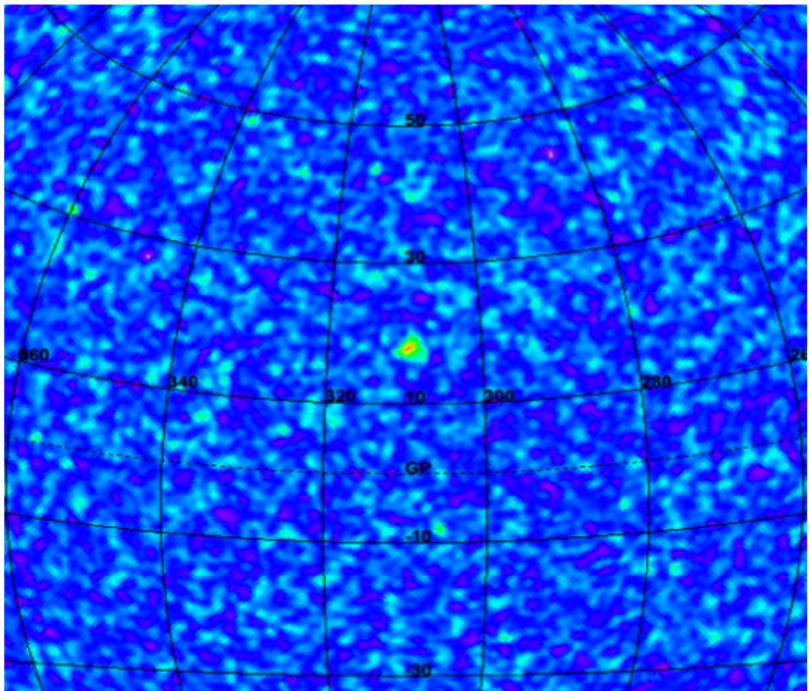
Simulações  
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas

Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  $\sigma = 0.5^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

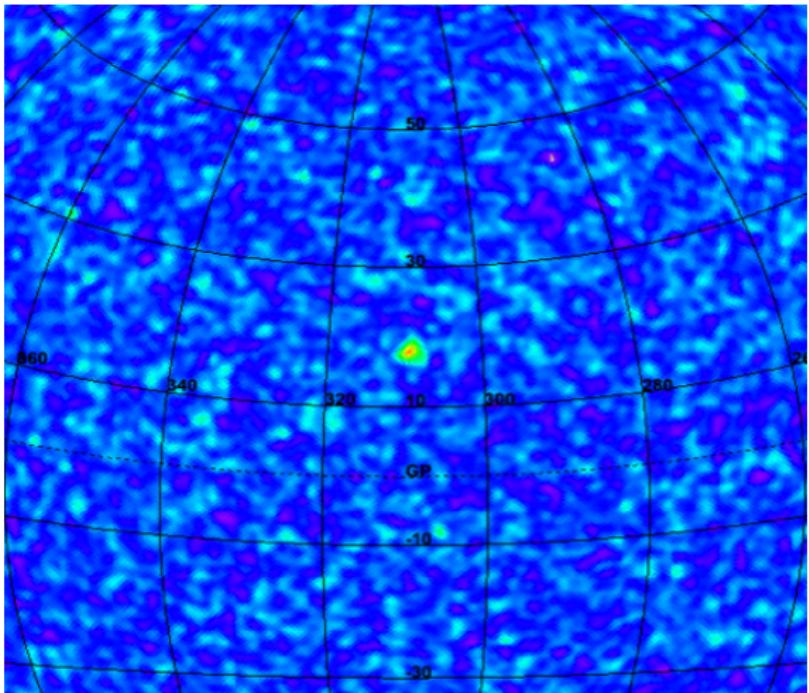
Resultados

Simulações  
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  $\sigma = 0.6^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

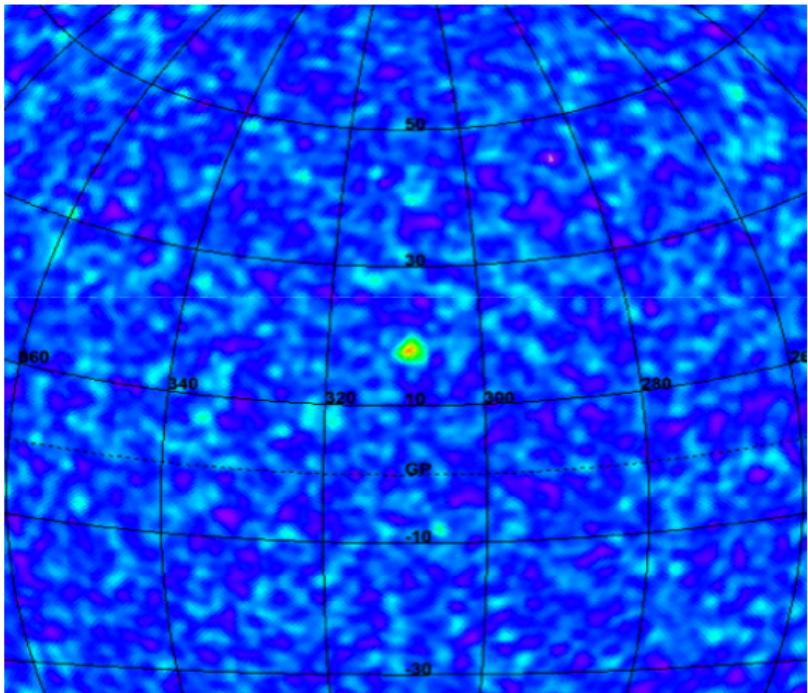
Resultados

Simulações  
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  
 $\sigma = 0.7^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

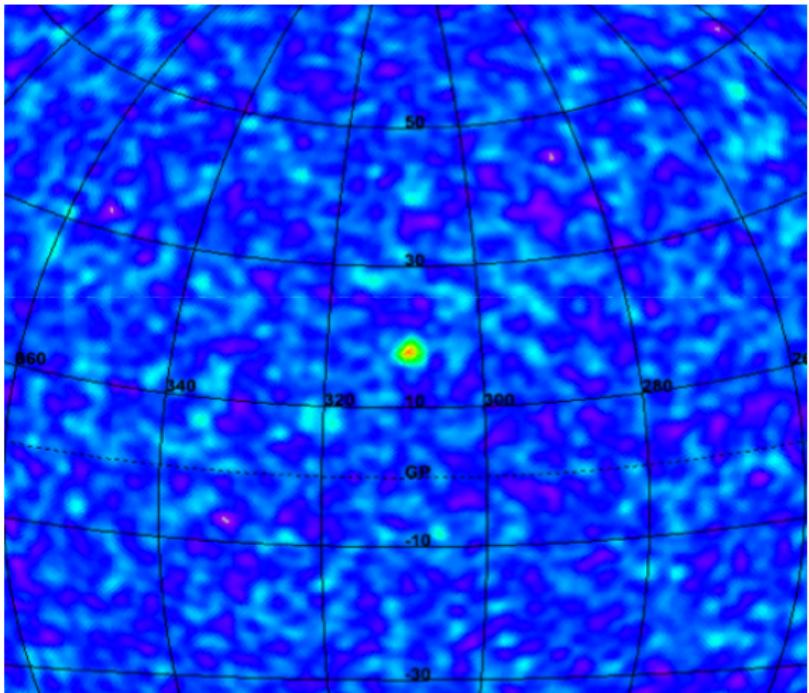
Resultados

Simulações  
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  
 $\sigma = 0.8^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets

Wavelets em 1-D

CWT

Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)

MHWF

Resultados de Simulações

O Observatório Pierre Auger

Resultados

Simulações

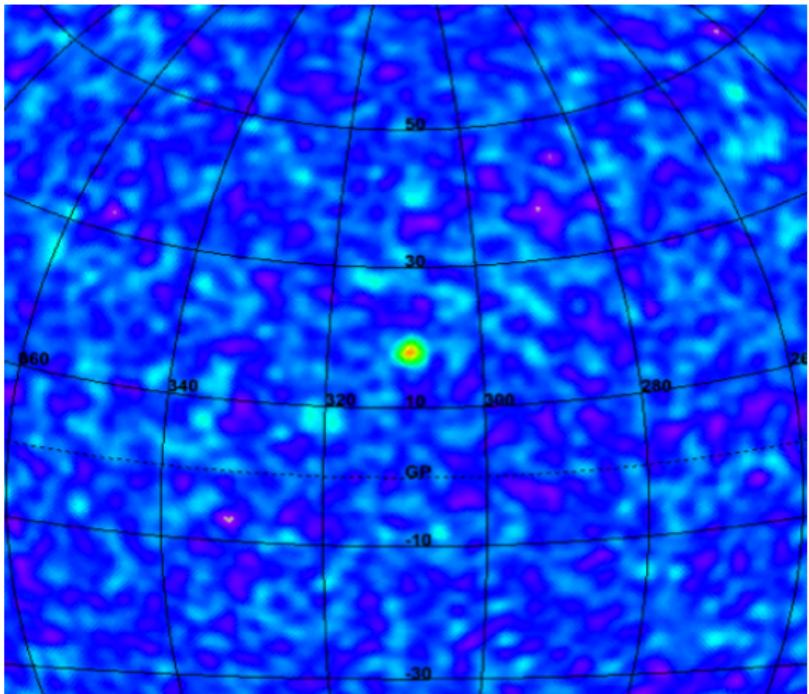
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas

Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.9^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  
 $\sigma = 0.9^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

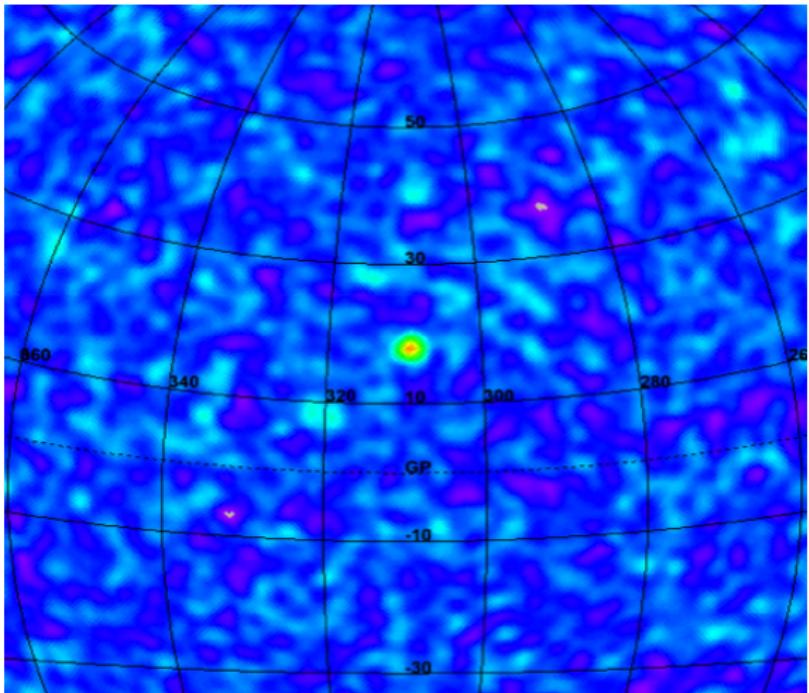
Resultados

Simulações  
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  $\sigma = 1.0^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

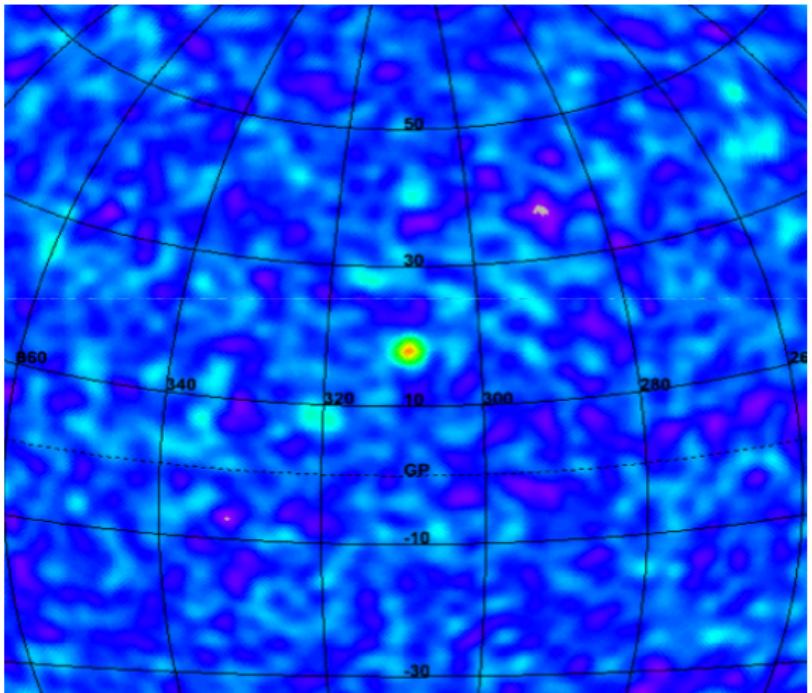
Resultados

Simulações  
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  $\sigma = 1.1^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

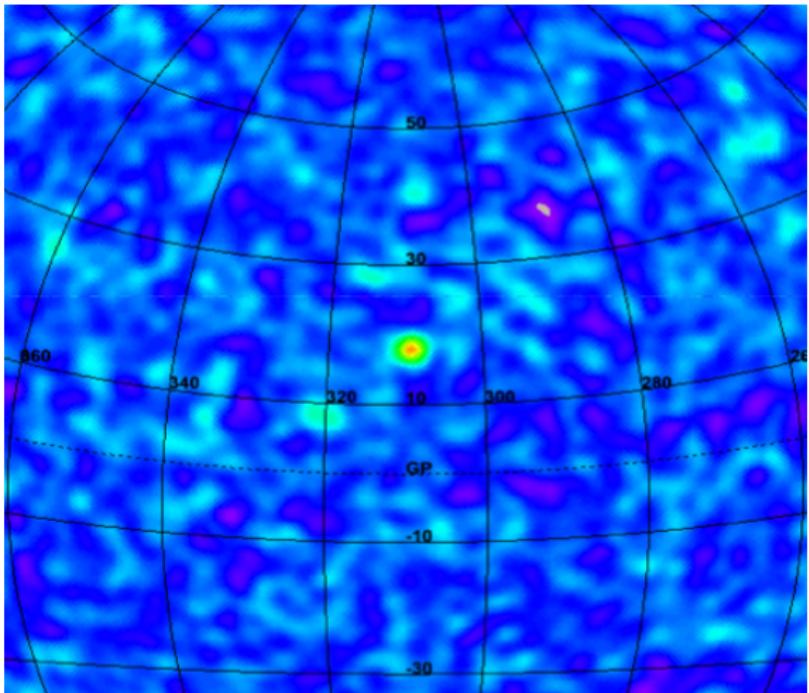
Resultados

Simulações  
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  
 $\sigma = 1.2^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

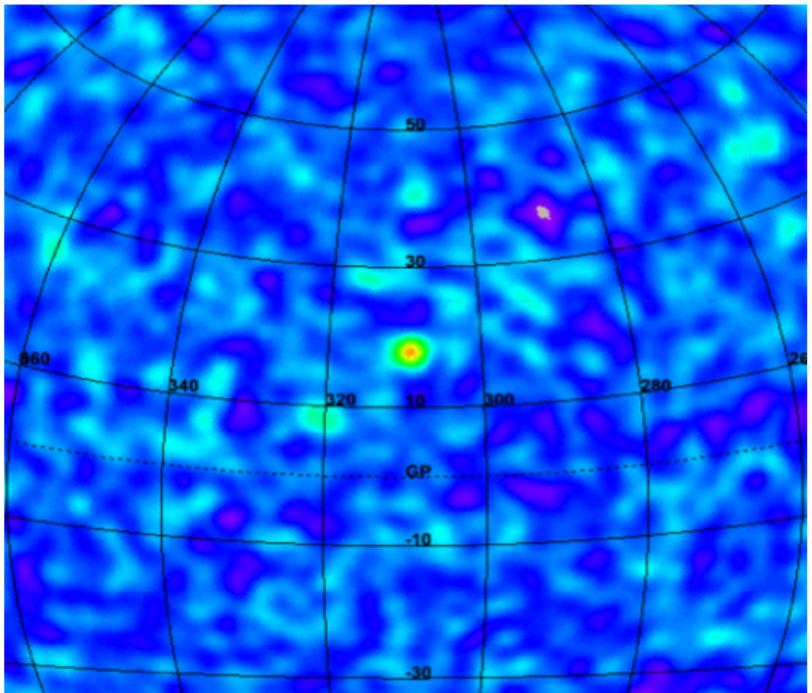
Resultados

Simulações  
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  
 $\sigma = 1.3^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

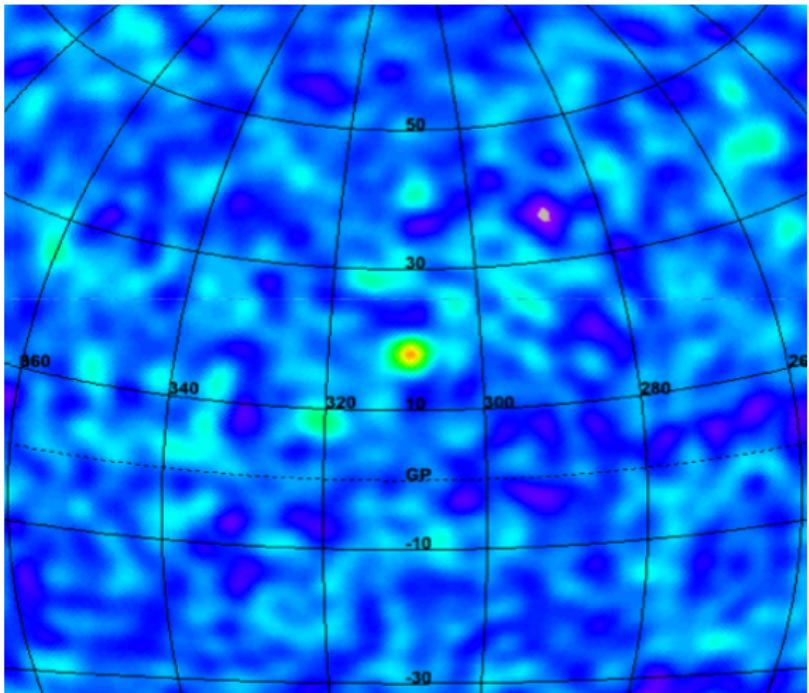
Resultados

Simulações  
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  $\sigma = 1.5^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets

Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)

MHWF

Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

Resultados

Simulações

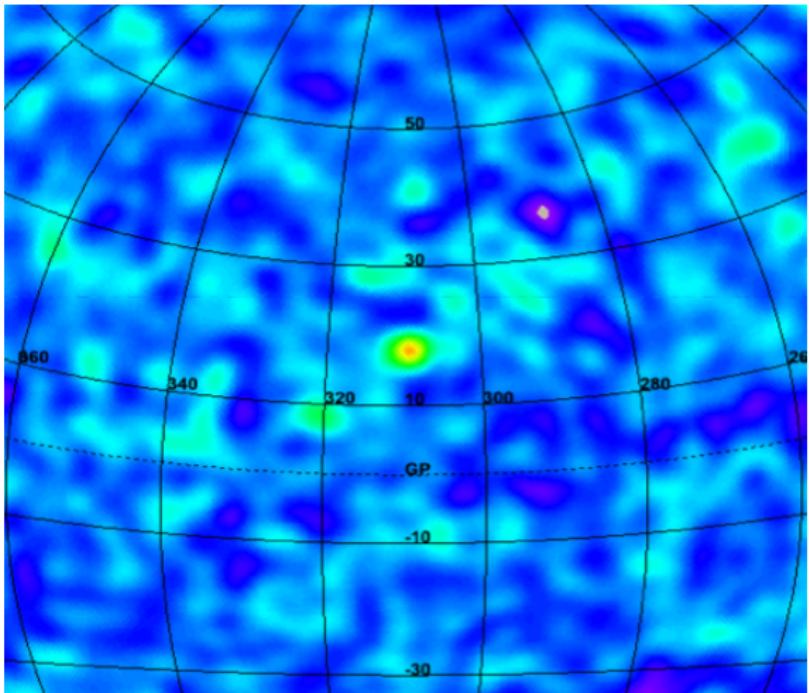
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas

Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  $\sigma = 1.7^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

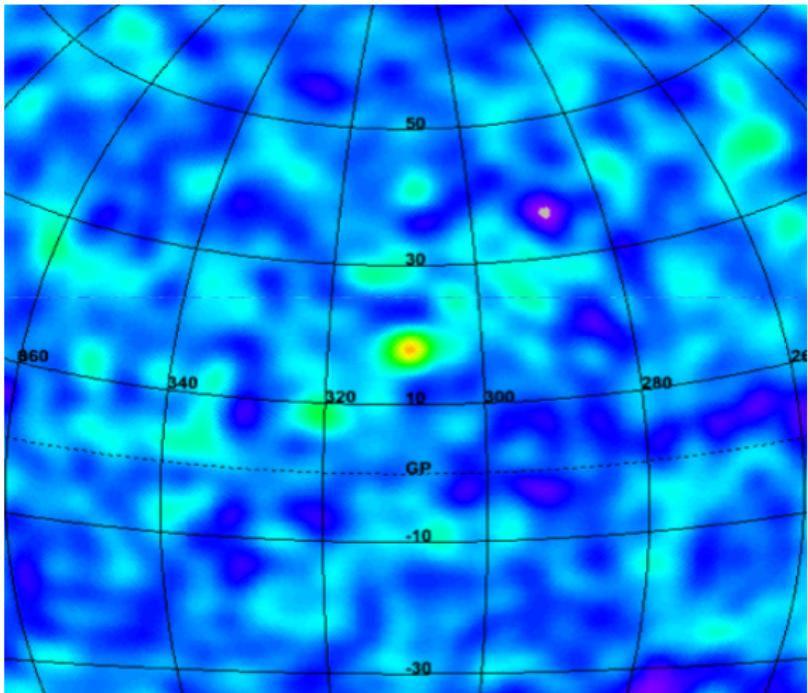
Resultados

Simulações  
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  $\sigma = 1.9^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets

Wavelets em 1-D

CWT

Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)

MHWF

Resultados de Simulações

O Observatório Pierre Auger

Resultados

Simulações

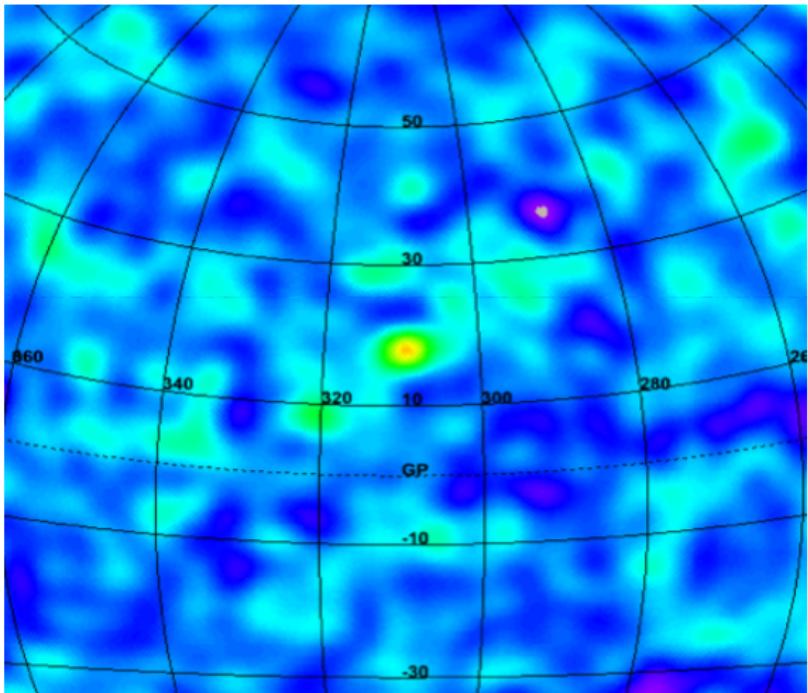
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas

Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  
 $\sigma = 2.1^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets

Wavelets em 1-D

CWT

Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)

MHWF

Resultados de Simulações

O Observatório Pierre Auger

Resultados

Simulações

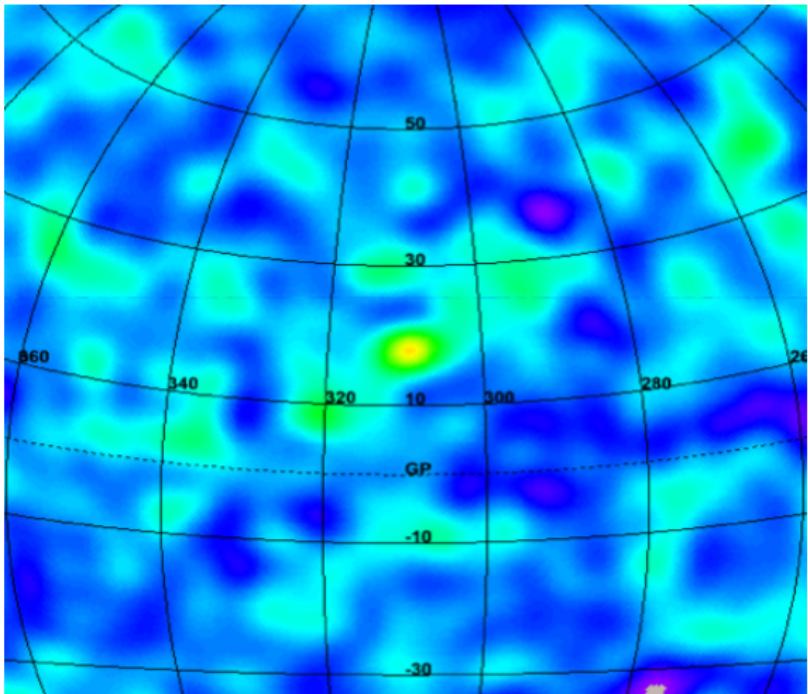
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas

Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  
 $\sigma = 2.5^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

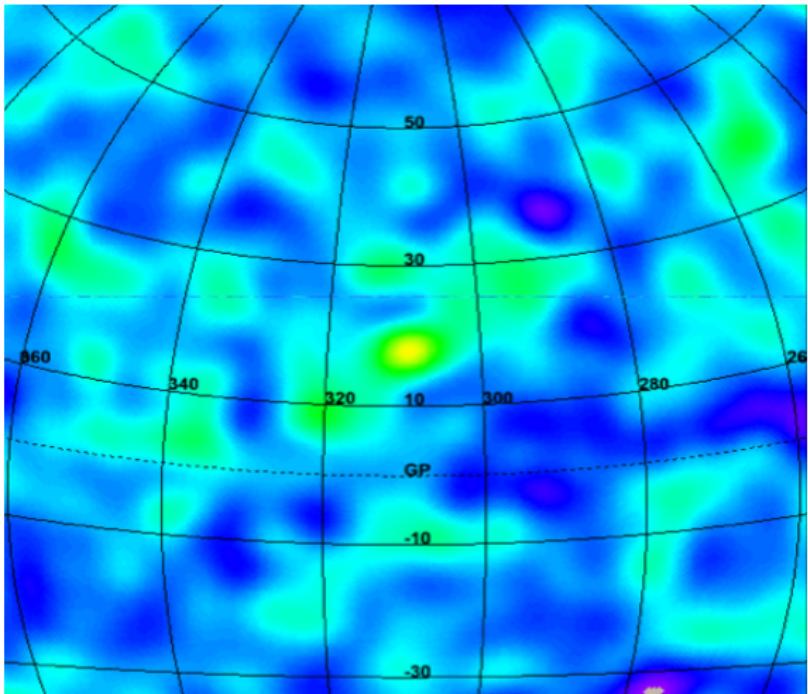
Resultados

Simulações  
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco



Fonte gaussiana  $\sigma = 0.8^\circ$  convoluída com filtro gaussiano  
 $\sigma = 2.8^\circ$ .

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

Resultados  
Simulações

Aplicação a Dados

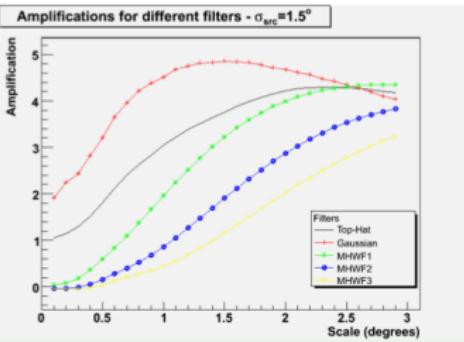
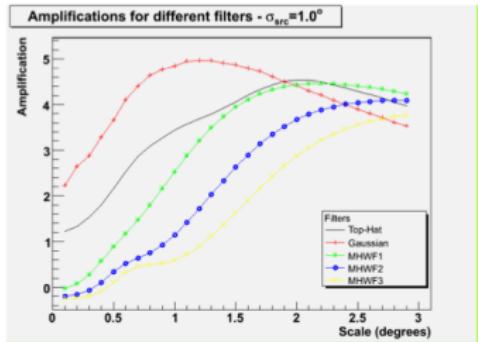
Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Simulação: Fonte Gaussiana+Ruído Branco

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista



Amplificação da razão sinal-ruído em função da escala angular. Fonte gaussiana com  $\sigma = 1.0^\circ$  (à esquerda) e  $\sigma = 1.5^\circ$  (à direita).

Wavelets

Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre Auger

Resultados

Simulações  
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Aplicação a Dados: Busca de Fontes: SGR1806-20

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

- ▶ 11864 eventos;
- ▶ período: 17/11/2004 - 27/06/2005
- ▶ corte em energia:  $E > 1,1 \text{ EeV}$ ;
- ▶ critério de seleção T5;
- ▶ filtros: MHWF1, MHWF2, MHWF3 e gaussiano;
- ▶ escalas ( $\sigma$ ) dos filtros:  $1,7^\circ, 2,0^\circ, 2,3^\circ, 2,6^\circ$ ;
- ▶ cálculo dos mapas de probabilidade por Monte Carlo;  
simulação de 10000 conjuntos isotrópicos.

$$M_{prob}(k) = 1 - M_{prob}^{iso}(k) = \frac{N(M_{iso}^{MC}(k)) \geq M_{evt}(k)}{N_{tot}} \quad (8)$$

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D  
Filtragem de Mapas  
Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações  
O Observatório Pierre Auger  
Resultados  
Simulações  
**Aplicação a Dados**  
Conclusões  
Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Aplicação a Dados: Busca de Fontes: SGR1806-20

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Escala	MHWF1	MHWF2	MHWF3	Gauss
1,7°	0,428	0,381	0,423	0,245
2,0°	0,472	0,367	0,352	0,214
2,3°	0,519	0,424	0,230	0,185
2,6°	0,537	0,535	0,354	0,151

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

Resultados  
Simulações  
Aplicação a Dados

Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Conclusões

- ▶ Wavelets são poderosas ferramentas no processamento de sinais.
- ▶ Sinal imerso em ruído branco: maior amplificação para filtro gaussiano com  $\sigma = \sigma_{src}$ .
- ▶ Se o ruído não é branco, filtros de MHWF podem proporcionar maior amplificação da razão sinal-ruído.
- ▶ Busca de UHECRs provenientes da direção do SGR1806-20: resultado negativo.
- ▶ A não-detecção de UHE nêutrons deste objeto permite impor vínculos astrofísicos sobre suas variáveis (variabilidade da escala de tempo, fração de conversão de energia cinética em interna, luminosidade em energia cinética, energia do próton primário).

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D

Filtragem de Mapas

Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações

O Observatório Pierre  
Auger

Resultados  
Simulações  
Aplicação a Dados

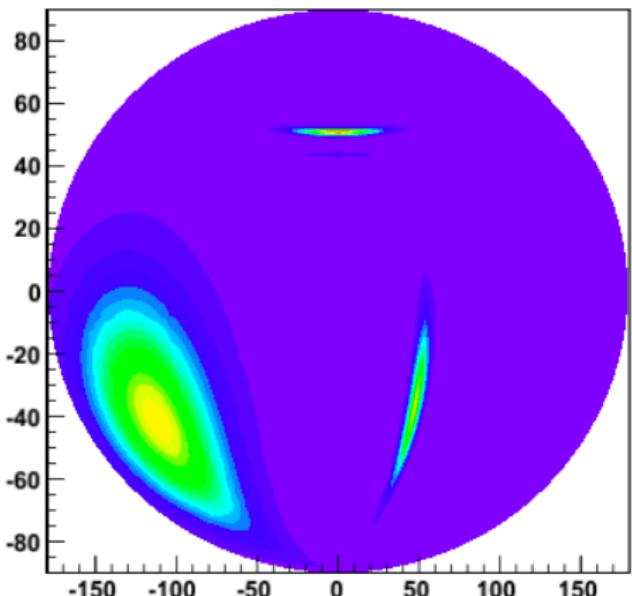
Conclusões

Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Perspectivas- Wavelets na esfera

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista



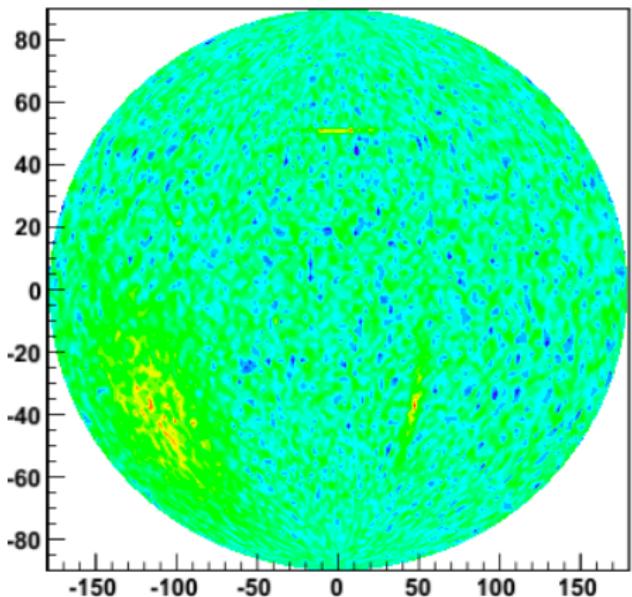
Sinal simulado.

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D  
Filtragem de Mapas  
Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações  
O Observatório Pierre Auger  
Resultados  
Simulações  
Aplicação a Dados  
Conclusões  
Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Perspectivas- Wavelets na esfera

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista



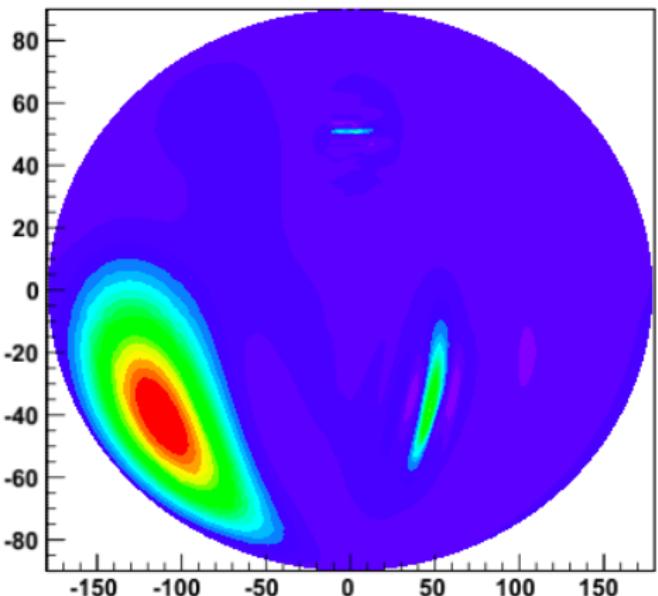
Ruído simulado.

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D  
  
Filtragem de Mapas  
  
Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações  
  
O Observatório Pierre  
Auger  
  
Resultados  
Simulações  
Aplicação a Dados  
  
Conclusões  
  
Perspectivas  
Wavelets na esfera

# Perspectivas- Wavelets na esfera

Wavelets Aplicadas à  
Detecção de Fontes  
Pontuais de Raios  
Cósmicos  
Ultra-Energéticos

Rafael Alves Batista



Identificação das estruturas imersas no ruído.

Wavelets  
Wavelets em 1-D  
CWT  
Wavelets em 2-D  
Filtragem de Mapas  
Aplicações (CMB)  
MHWF  
Resultados de Simulações  
O Observatório Pierre Auger  
Resultados  
Simulações  
Aplicação a Dados  
Conclusões  
Perspectivas  
Wavelets na esfera