

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Claudia Fracchiolla**

**Estudo da Resolução Angular do Observatório Pierre  
Auger.**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Física da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Ronald Cintra Shellard

Rio de Janeiro  
Junho de 2007



Claudia Fracchiola

## **Estudo da Resolução Angular do Observatório Pierre Auger**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Física da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Ronald Cintra Shellard**

Orientador

Departamento de Física-PUC-RIO

**Profa. Carla Göbel Burlamaqui de Mello**

Departamento de Física – PUC-RIO

**Prof. Antoine Eugène Letessier-Selvon**

CBPF e Université de Paris VI

**Profa. Carla Brenda Bonifazi**

CBPF

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador(a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 13 de junho de 2007

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Claudia Fracchiolla**

Graduada em Física na Universidade Simón Bolívar, Venezuela no 2004. Trabalhe como assistente de professor na Universidad Simón Bolívar e também como estudante de pesquisa para o projeto IceCube, ATLAS e na actualidade para Pierre Auger.

#### Ficha Catalográfica

Fracchiolla, Claudia

Estudo da resolução angular do Observatório Pierre Auger / Claudia Fracchiolla; orientador: Ronald Cintra Shellard; co-orientador: Carla Brenda Bonifazi. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Física, 2007.

v., 68 f: il. ; 29,7 cm

1. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Física.

Inclui referências bibliográficas.

1. Física – Tese. 2. Raios cósmicos . 3. Observatório Pierre Auger. 4. Detector de Superfície. 5. Resolução angular. 6. Anisotropia. I. Shellard, Ronald C.. II. Bonifazi, Carla. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Física. IV. Título.

CDD: 510

## Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que direta e indiretamente colaboraram na realização deste trabalho, oferecendo tanto seu apoio acadêmico como pessoal. Dentre os primeiros gostaria de agradecer:

A o Prof. Shellard, Carla B., Prof. Letessier-Selvon, Edivaldo, meus colegas e amigos, Alberto e minha família... OBRIGADA!!!

Tambem queria agradecer a Colaboração Pierre Auge e o CBPF por me permitir desenvolver meu trabalho.

Á PUC-RIO e ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pelo apoio financeiro.

É finalmente mais não menos importante a minha amiga invaluable é parceira de trabalho Minervinha.

## Resumo

Fracchiolla, Claudia; Shellard, Ronald C.; Bonifazi, Carla. **Estudo da resolução angular do Observatório Pierre Auger**. Rio de Janeiro, 2007. 68p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O Observatório Pierre Auger, cuja construção na Província de Mendoza, na Argentina está na sua fase final, tem por objetivo medir as características dos raios cósmicos de grande energia. O Observatório está produzindo dados desde o início de 2004, à medida em que a rede de detectores vai aumentando. Um dos principais temas de pesquisas, usando os dados produzidos pelo detector, é o exame da anisotropia na direção de origem dos raios cósmicos energéticos. Para isto é necessário entender-mos a resolução angular do detector. Nesta tese, estudamos a resolução angular dos detectores de Superfície (ou detectores de radiação de Cherenkov). O principal elemento que limita a acuracidade angular dos detectores de superfície é a precisão temporal do registro dos sinais de chegada dos raios cósmicos. Este estudo está baseado na comparação dos sinais em um conjunto de tanques que estão muito próximos um do outro (11 metros).

### Palavras-chave

Raios cósmicos . Observatório Pierre Auger. Detector de Superfície. Resolução angular. Anisotropia.

## Abstract

Fracchiolla, Claudia; Shellard, Ronald C.; Bonifazi, Carla. **A study of the Angular Resolution of the Pierre Auger Observatory**. Rio de Janeiro, 2007. 68p. MsC Thesis — Department of Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The Pierre Auger Observatory, in the Province of Mendoza Argentina, is in its final phases of construction. Its aimed to determine the characteristics of high energy cosmic rays. The Observatory is collecting data since the beginning of 2004, while the size of the array continue increasing. One of the main topics of research of Auger, is the study of the anisotropy of the arrival direction of the energetic cosmic rays. For that purpose it is necessary to have a good estimative of the angular resolution of the detector. The main limiting element on the accuracy of the angular determination is the arrival time of the particles generated by the cosmic ray in the detectors. In this thesis we study the angular resolution of the Surface Detector (or the Cherenkov radiation detector). This study is based on the comparison of the signals in a subset of detectors deployed very close one from the other (11 m).

## Keywords

Cosmic rays . Pierre Auger Observatory. Surface Detector. Angular Resolution. Anisotropy.

# Sumário

1	Introdução	<b>10</b>
2	Raios Cósmicos	<b>12</b>
2.1	Considerações Históricas	12
2.2	Descrição	13
2.3	Medindo Raios Cósmicos	20
3	Chuveiros Extensivos de Ar	<b>27</b>
3.1	Desenvolvimento de EAS	27
4	Observatório Auger	<b>33</b>
4.1	Descrição	33
4.2	Detectores de Superfície	35
4.3	Detectores de Fluorescência	41
5	Resolução Angular	<b>47</b>
5.1	Evento a Evento	47
5.2	Resultados	55
5.3	Medida Direta	57
6	Conclusões	<b>63</b>

## Lista de figuras

2.1	Espectro dos Raios C3smicos.	17
2.2	Espectro dos Raios C3smicos de ultra altas energias.	17
2.3	$X_{max}$ como funcao da energia.	19
2.4	Perda de energia de um proton atraves da interacao com a radiao cosmica de fundo	25
2.5	Comparacao do espectro medido por os experimentos AGASA e HiRes	26
3.1	Representacao de um EAS	31
3.2	Distribuicao lateral para mions, elons e gamas	32
4.1	Observatorio Pierre Auger - arranjo Sur	34
4.2	Estacao de SD	35
4.3	Histograma carregado para uma estacao SD	39
4.4	Arrando Super Hexagono	42
4.5	Figura esquematica de um detetor de fluorescencia	43
5.1	Desenho da definicao do $T^{50}$	49
5.2	Desenho de um dos tanques gmeos	51
5.3	Distribuicao de $\Delta T$	52
5.4	$\Delta T/\sqrt{\Delta T}$ distribution	52
5.5	RMS da $\Delta T/\sqrt{\Delta T}$ .	54
5.6	Distribuicao de probabilidade de $\chi^2$	54
5.7	$\chi^2$ probability distribution for multiplicity greater than 4.	55
5.8	Resolucao angular para detetor de superficie como funcao de um angulo zenital $\theta$ (somente reconstrucao geometrica)	56
5.9	Resolucao angular para detetor de superficie como funcao do angulo zenital $\theta$ (reconstrucao completa) for SD	56
5.10	Event Selection	58
5.11	Distribution of the zenith difference	59
5.12	Distribution of the azimuth difference	59
5.13	Espacamento angular para a reconstrucao dos doubletos	60
5.14	Espacamento angular para a reconstrucao hibrida	62



## Lista de tabelas

5.1	Comparação dos parâmetros ajustados $a$ e $b$	53
5.2	Comparação da AR entre método evento a evento e a medida direta com dubletos.	59
5.3	Comparação de AR entre a reconstrução SD e Híbridos	60