

1-) Introdução: Raios cósmicos são partículas carregadas que viajam pelo espaço, sujeitas ao campo magnético extragaláctico e que interagem com a atmosfera terrestre, formando um grande chuva de partículas secundárias.

O observatório Pierre Auger, situado na Argentina, coleta informações destas partículas, como a direção de chegada e a energia. Em um artigo publicado recentemente [2], a Colaboração Auger estuda a direção de chegada de Raios Cósmicos ultra-energéticos para tentar entender a origem destas partículas. Neste artigo é efetuado um estudo de correlações entre a direção de chegada dos eventos medidos com a direção de objetos astronômicos conhecidos, em particular com a direção de núcleos ativos de Galáxias (AGN) de uma catálogo específico Véron Cetty [2]. O objetivo deste trabalho de IC é reproduzir a análise feita no artigo [2], utilizando métodos estatísticos e as técnicas de programação desenvolvidas no período de iniciação científica.

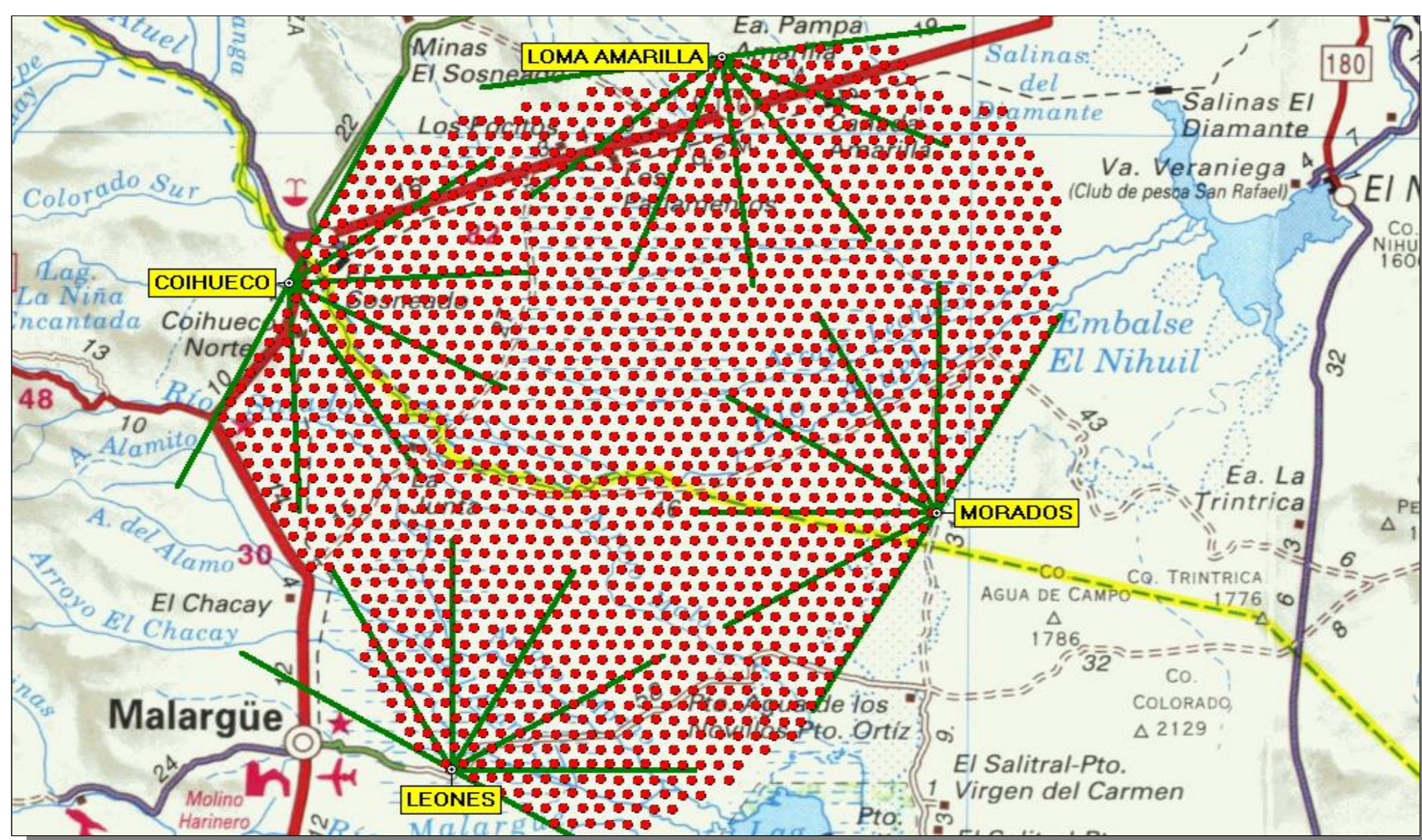


Figura 1 : Mapa do observatório Pierre Auger, localizado em Malargüe, Argentina. Os tanques estão indicados em vermelho e os pontos com legenda amarela são os detectores de fluorescência (os feixes verdes indicam o raio de alcance de cada um, 20 km).

2-) Metodologia: Utilizando métodos estatísticos, foi calculado a probabilidade "p" de um evento de origem isotrópica se correlacionar com alguma AGN (ou seja, estar à uma certa distância angular máxima (Ψ) de algum AGN). Isto foi feito simulando um céu com 100.000 eventos isotrópicos e calculando a razão entre os eventos correlacionados e os eventos totais. A partir desse valor "p", é calculado a probabilidade "P" de um conjunto de eventos medidos pelo Observatório Auger ser de origem isotrópica ("P" obedece a uma distribuição binomial, utilizando "p", e os estados "correlacionado" ou "não correlacionado" sobre o número de eventos totais). Definimos um parâmetro K que é a porcentagem de eventos correlacionados em relação ao total de eventos medidos.

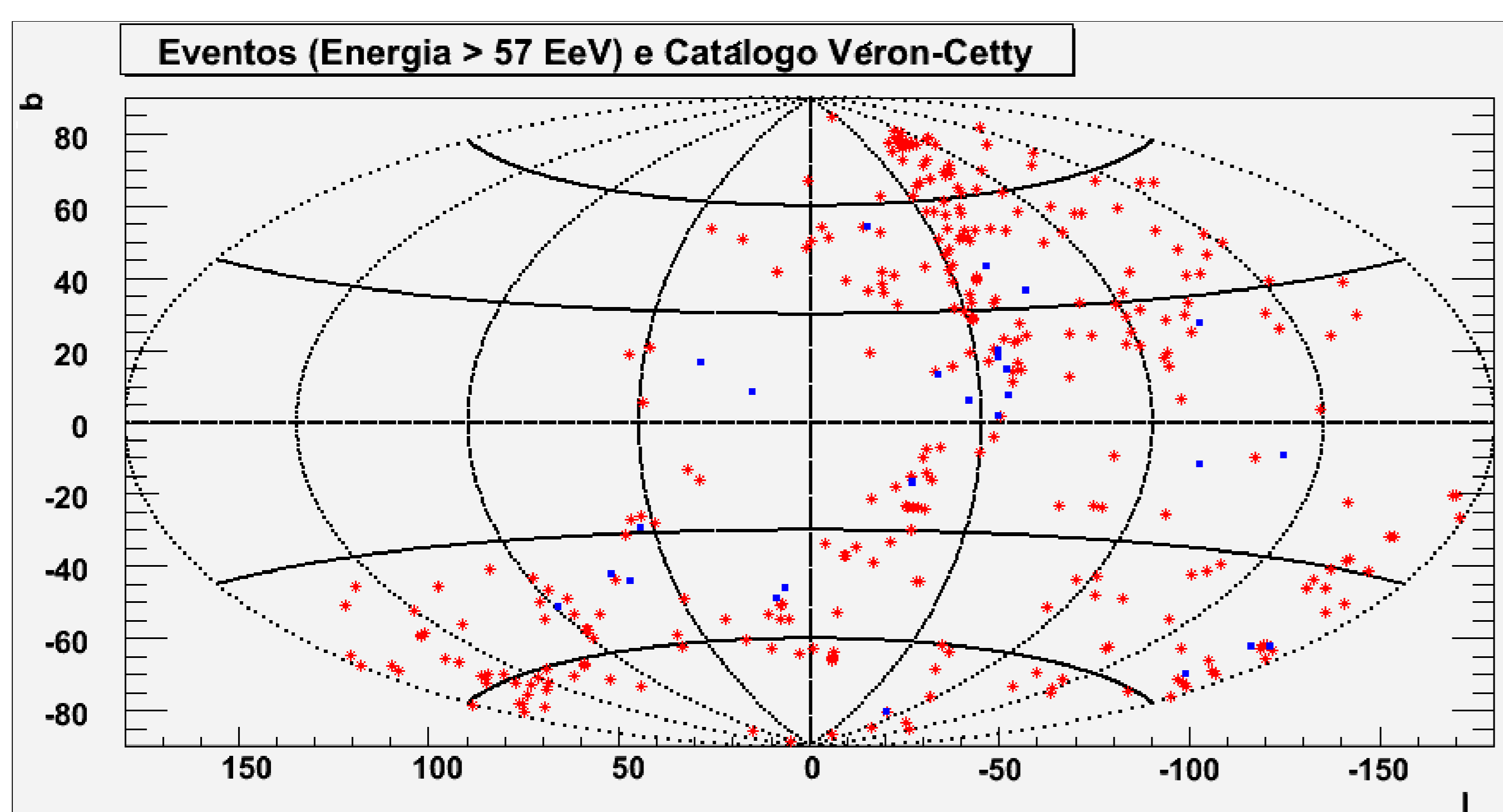


Figura 2: Catálogo Véron-Cetty em vermelho (318 AGNs no campo de visão do Pierre Auger) e os 27 eventos registrados pelo Pierre Auger (Com energia maior do que 57 EeV).

3-) Resultados: Foram calculados os valores de P em função de (Ψ) no intervalo $[1^\circ, 11^\circ]$. Utilizando os métodos computacionais desenvolvidos no projeto de iniciação, a janela onde ocorre o mínimo do parâmetro "P" foi obtida em de 2.9° . No artigo [2] ela foi encontrada em 3.1° . No artigo foram feitas buscas do mínimo de "P" na energia dos eventos e na distância até as AGNs (redshift). Aqui na análise, foi feita a busca apenas na janela, para compreensão das etapas da análise.

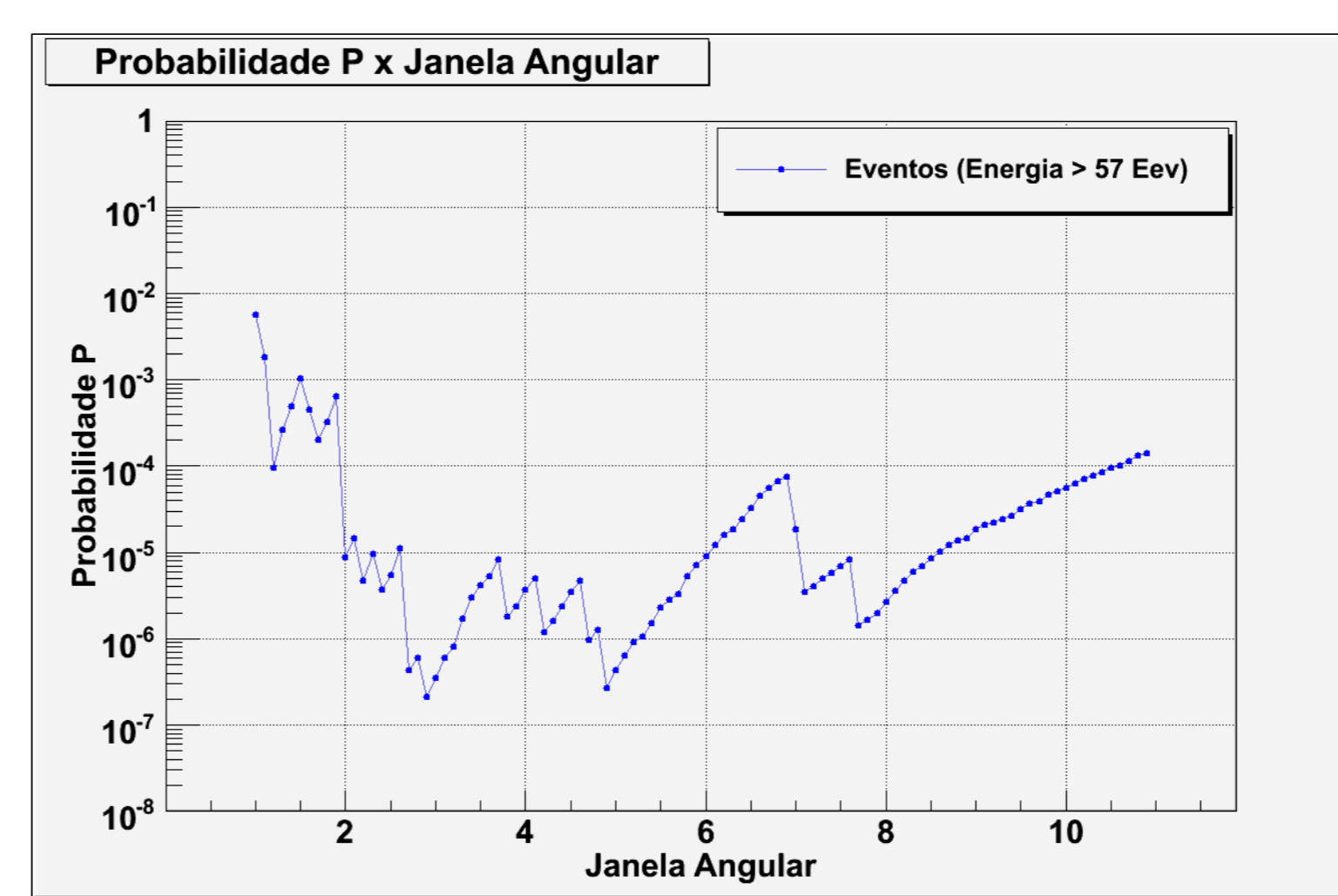


Figura 4 : Comportamento do parâmetro P em função do da janela Ψ .

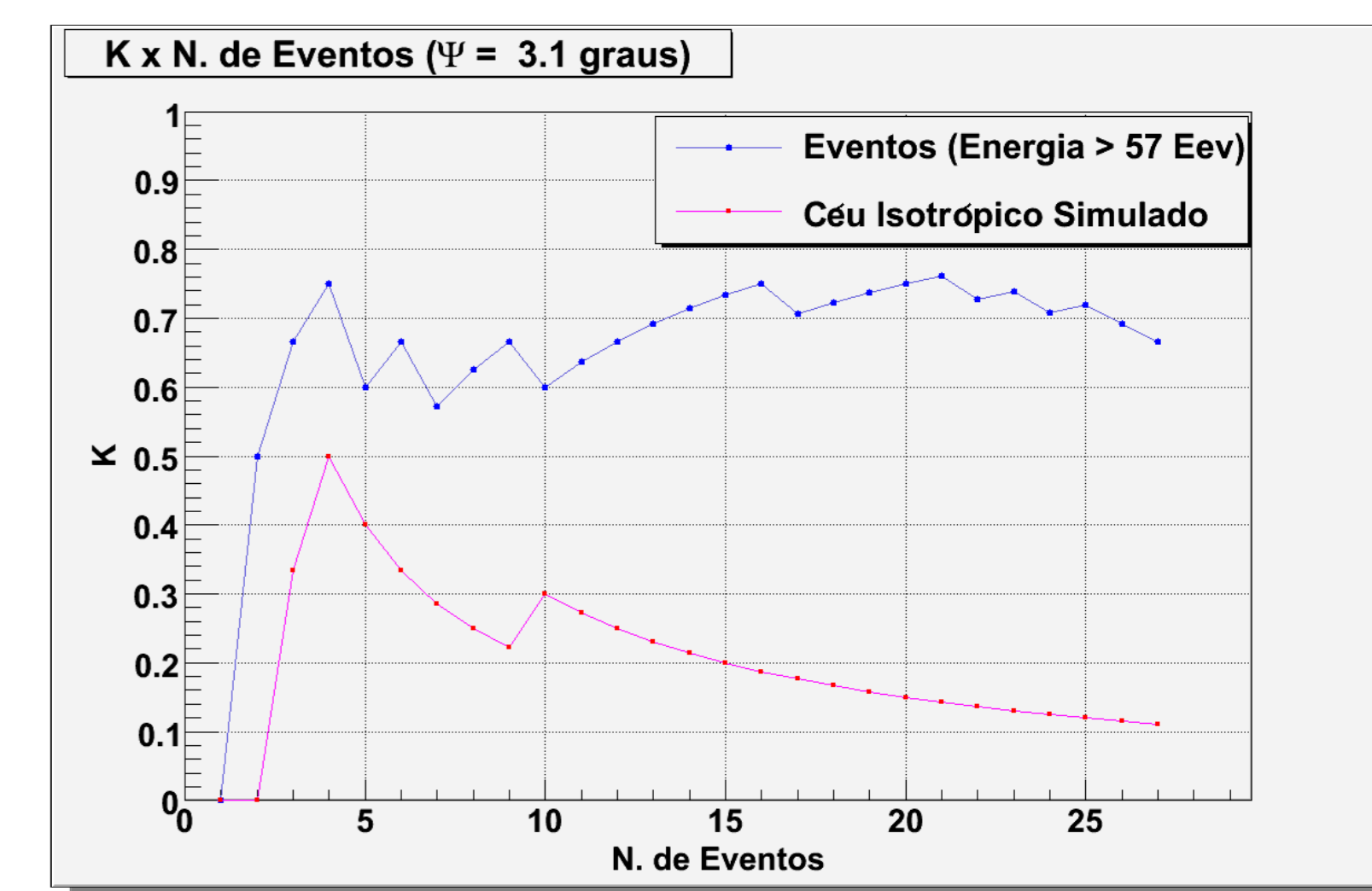


Figura 5: Comportamento do parâmetro K em função dos eventos obtidos.

A porcentagem K correlacionada dos eventos totais também é evidentemente diferente para o céu simulado e os dados do Auger. Enquanto o céu medido pelo Observatório Pierre Auger tem aproximadamente 68% dos seus eventos correlacionados, o céu isotrópico simulado tem apenas 12.5%.

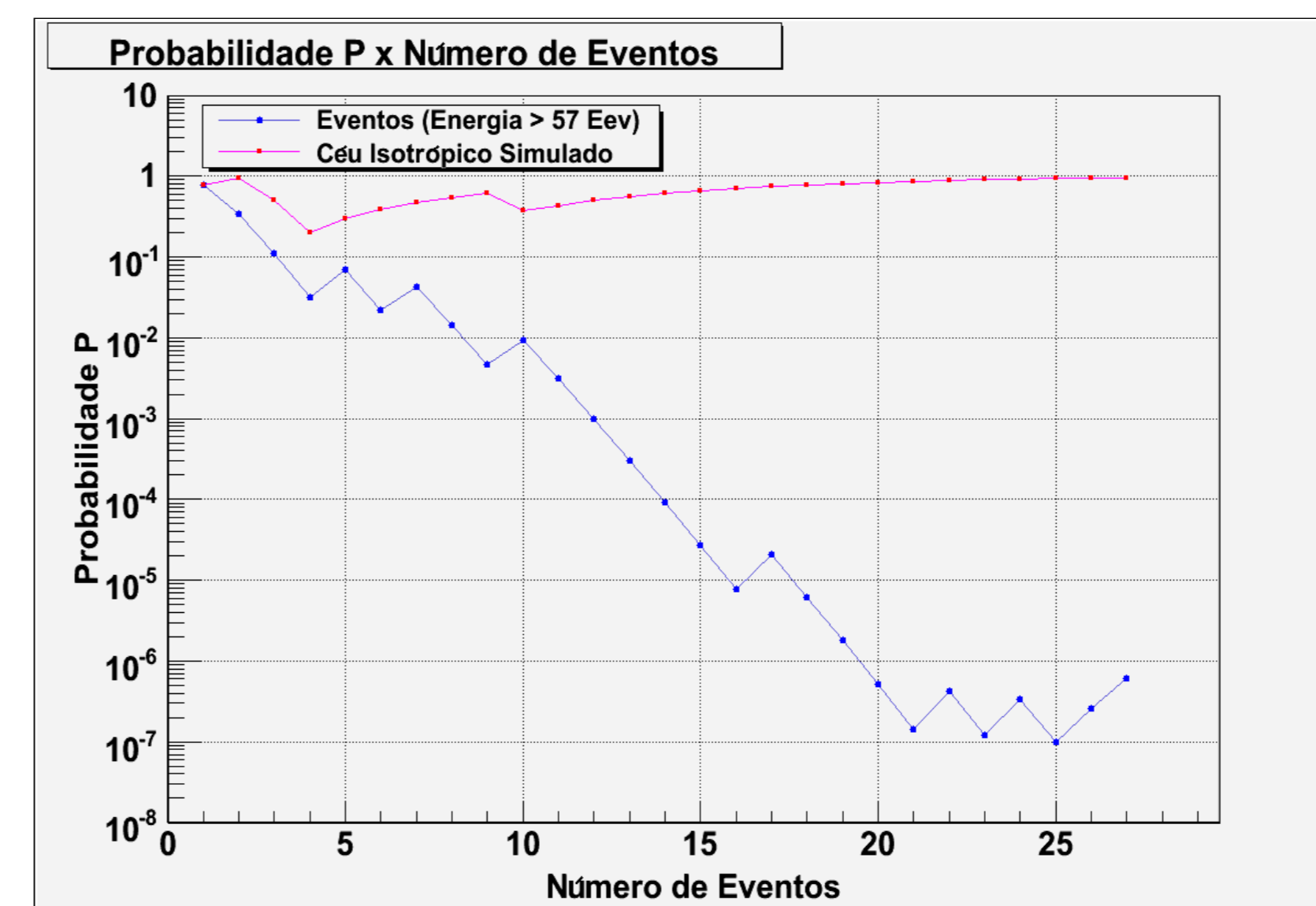


Figura 6: Parâmetro P em função dos eventos registrados pelo Auger e eventos de um céu isotrópico simulado.

Utilizando a janela encontrada a partir da figura 4, foi obtido um gráfico da probabilidade "P" em função do número de eventos medidos. Percebemos a discrepância entre o comportamento da probabilidade "P" para um céu isotrópico simulado e para o céu medido pelo Pierre Auger. É possível inferir da figura 6 que quanto mais eventos ultra-energéticos o observatório Pierre Auger medir, a probabilidade de que o céu seja de origem isotrópica é cada vez menor, firmando cada vez mais a hipótese de anisotropia das direções de chegada dos raios cósmicos de altas energias.

5-) Conclusões: A conclusão desta análise é que para eventos ultra-energéticos medidos no Auger (com energia acima de 57 EeV) existe uma grande probabilidade de que a direção de chegada destes eventos está correlacionada com a direção de AGN do catálogo Véron-Cetty [3]. Com este trabalho, foi possível reproduzir e compreender cada etapa da análise desenvolvida no artigo da colaboração AUGER publicado na revista Science [1]. Esperamos dar continuidade a este trabalho, ampliando o estudo incluindo os eventos que foram medidos posteriormente.

6-) Referências:

- [1]- "Correlation of the highest-energy cosmic rays with the positions of nearby active galactic nuclei," *Astropart. Phys.* 29 (2008) 188-204;
- [2] - <http://root.cern.ch/>;
- [3] - www.auger.org.ar/;