

# Influência da física difrativa em chuviros atmosféricos extensos ultraenergéticos

Luan Arbeletche

Orientador: Victor Gonçalves

Coorientador: Márcio Müller

Grupo de Altas e Médias Energias (GAME)  
Programa de Pós-graduação em Física  
Universidade Federal de Pelotas

21 de março de 2016



Disciplinas e eventos

Motivação

Objetivos e Metodologia

Resultados preliminares

Conclusões

Próximos passos

Referências

- 1º semestre: Mecânica estatística  
Mecânica quântica  
Seminários de Física de Partículas e Hádrons
- 2º semestre: Estágio docente  
Seminários de Física de Partículas e Hádrons  
Teoria eletromagnética  
Teoria quântica de campos
- 3º semestre: Dissertação de mestrado  
Tópicos em física de partículas e hádrons
- Eventos: Março 2015: Monte Carlo School on Event Generators (ICTP - SAIFR)

Qual é a influência da física difrativa sobre observáveis de raios cósmicos ultraenergéticos  
- de até  $10^{20}$  eV?

Qual é a influência da física difrativa sobre observáveis de raios cósmicos ultraenergéticos - de até  $10^{20}$  eV?

É possível estimar as incertezas sistemáticas na interpretação de dados dos raios cósmicos mais energéticos devido à modelagem e simulação da física hadrônica difrativa?

Qual é a influência da física difrativa sobre observáveis de raios cósmicos ultraenergéticos - de até  $10^{20}$  eV?

É possível estimar as incertezas sistemáticas na interpretação de dados dos raios cósmicos mais energéticos devido à modelagem e simulação da física hadrônica difrativa?

Quais observáveis de Raios Cósmicos são mais sensíveis à alterações nos modelos teóricos de física de altas energias?

Raios Cósmicos (RCs): radiação cósmica com energias de até  $E_p \approx 10^{20}$  eV

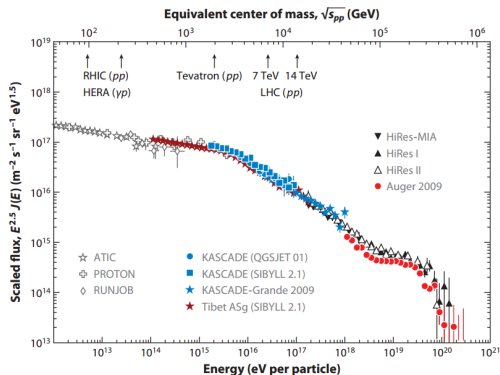


Figura 1: Espectro de Raios Cósmicos <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Engel et al. 2013.

Raios C3smicos (RCs): radia33o c3smica com energias de at3e  $E_p \approx 10^{20}$  eV

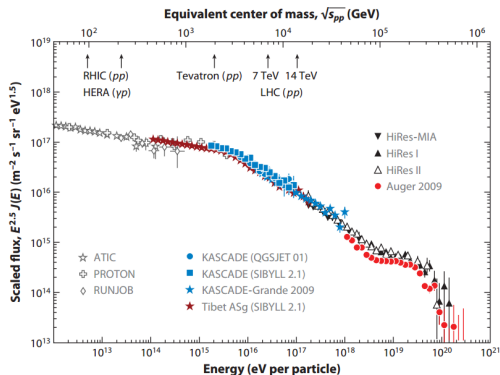


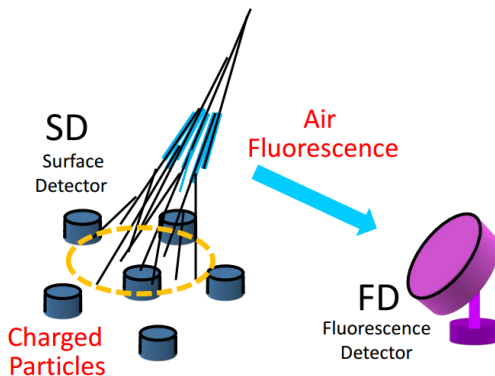
Figura 1: Espectro de Raios C3smicos <sup>1</sup>

Os RCs mais energ3ticos s3o detectados indiretamente

<sup>1</sup>Engel et al. 2013.

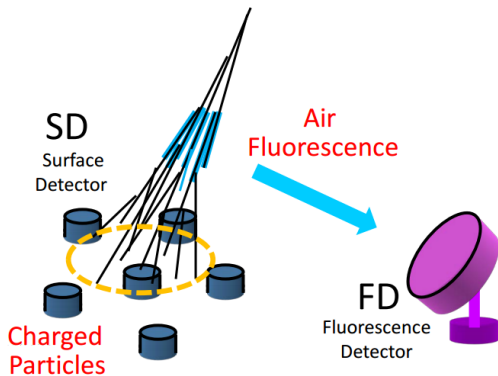


## Deteção de Chuveiros Atmosféricos Extensos - CAEs



**Figura 2:** Técnicas de detecção de CAEs. Os detectores de fluorescência tem um ciclo de trabalho de 10%.

## Deteção de Chuveiros Atmosféricos Extensos - CAEs

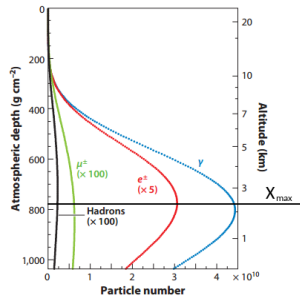
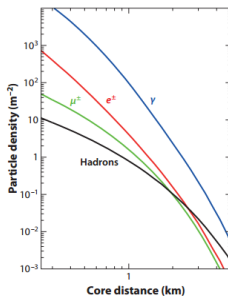


**Figura 2:** Técnicas de detecção de CAEs. Os detectores de fluorescência têm um ciclo de trabalho de 10%.

A interpretação dos dados de observatórios depende da comparação com simulações computacionais dos chuveiros.

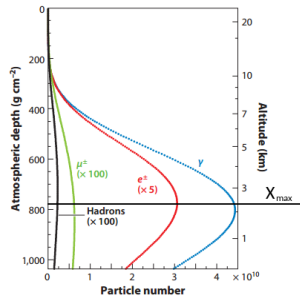
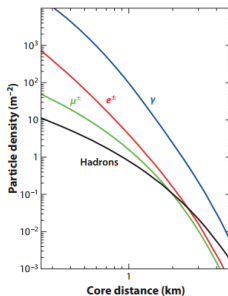
As simulações devem prever simultaneamente todas as características globais de um CAE

- Perfil longitudinal ( $X_{max}$ )
- Distribuição lateral
- Componente muônica



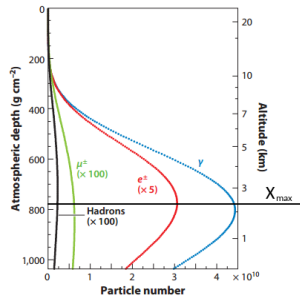
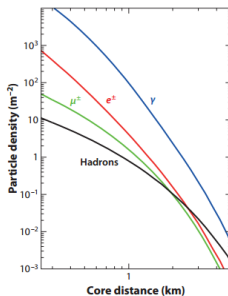
As simulações devem prever simultaneamente todas as características globais de um CAE

- Perfil longitudinal ( $X_{max}$ )
- Distribuição lateral
- Componente muônica



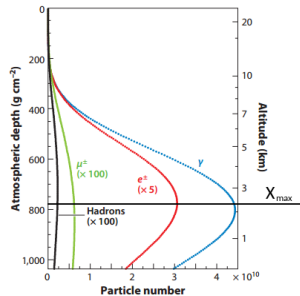
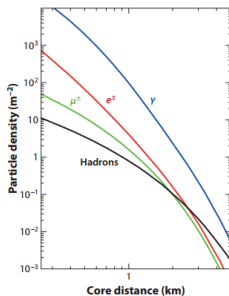
As simulações devem prever simultaneamente todas as características globais de um CAE

- Perfil longitudinal ( $X_{max}$ )
- Distribuição lateral
- Componente muônica



As simulações devem prever simultaneamente todas as características globais de um CAE

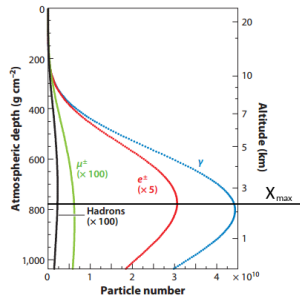
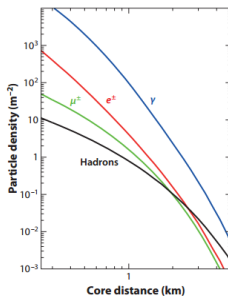
- Perfil longitudinal ( $X_{max}$ )
- Distribuição lateral
- **Componente muônica**



# Simulação e detecção de CAEs

As simulações devem prever simultaneamente todas as características globais de um CAE

- Perfil longitudinal ( $X_{max}$ )
- Distribuição lateral
- Componente muônica

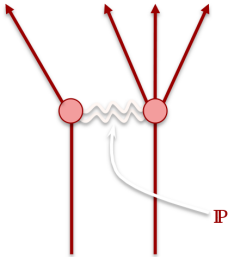


A maior fonte de incertezas na interpretação de dados está na modelagem de interações hadrônicas...

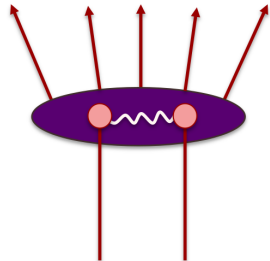
...e, em particular, da física hadrônica difrativa!

**Difração:** Reações nas quais **não há trocas de números quânticos** entre as partículas que estão interagindo.

**Difrativo:** troca de  $n^{\text{os}}$  quânticos do vácuo



**Não-difrativo:** troca de cor



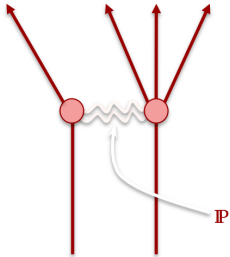
**Figura 3:** Interações difrativas são mediadas pela troca de pomérons.



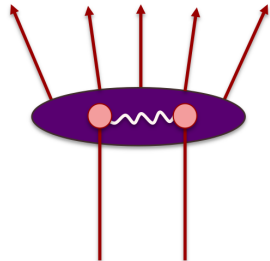
...e, em particular, da física hadrônica difrativa!

**Difração:** Reações nas quais **não há trocas de números quânticos** entre as partículas que estão interagindo.

**Difrativo:** troca de  $n^{\text{os}}$  quânticos do vácuo



**Não-difrativo:** troca de cor



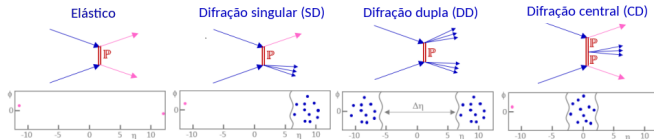
**Figura 3:** Interações difrativas são mediadas pela troca de pomérons.

São processos essencialmente *soft*, com baixa troca de momento -  $t$  pequeno.

## Interações difrativas nos interessam por:

- Constituirem fração apreciável da seção de choque total

$$\sigma_{tot} = \sigma_{dif} + \sigma_{nd}$$



**Figura 4:** Na prática, a difração é detectada em termos de *gaps* de rapidez.

## Interações difrativas nos interessam por:

- Constituírem fração apreciável da seção de choque total
- Produzirem secundários altamente energéticos na região frontal

$$\sigma_{tot} = \sigma_{dif} + \sigma_{nd}$$

$$\frac{d\sigma_{dif}}{dt} \propto e^{-B|t|}$$

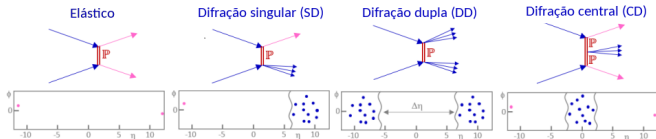
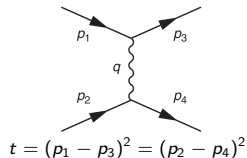


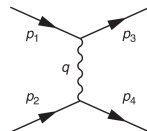
Figura 4: Na prática, a difração é detectada em termos de *gaps* de rapidez.

## Interações difrativas nos interessam por:

- Constituírem fração apreciável da seção de choque total
- Produzirem secundários altamente energéticos na região frontal
- São tratadas por modelos fenomenológicos

$$\sigma_{tot} = \sigma_{dif} + \sigma_{nd}$$

$$\frac{d\sigma_{dif}}{dt} \propto e^{-B|t|}$$



$t = (p_1 - p_3)^2 = (p_2 - p_4)^2$

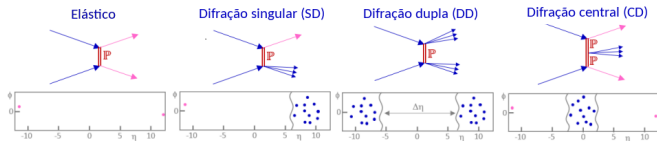


Figura 4: Na prática, a difração é detectada em termos de *gaps* de rapidez.

Testar modelos de física hadrônica para Raios Cósmitos - difração

EPOS LHC   QGSJET-II 04   Sibyll 2.1





# Resultados 1: Colisões individuais

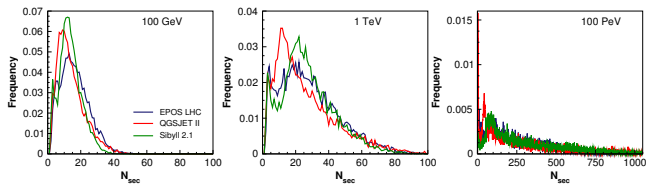


Figura 5: Distribuições de secundários em colisões  $p$ -Ar.



# Resultados 1: Colisões individuais

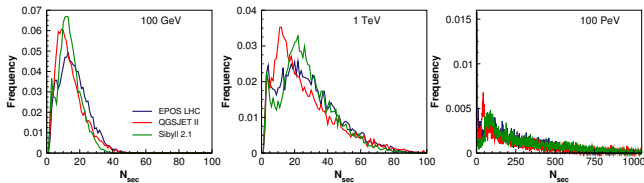


Figura 5: Distribuições de secundários em colisões  $p$ -Ar.

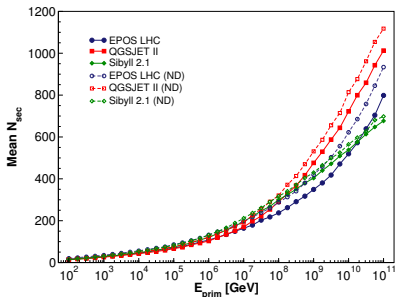


Figura 6: Número médio (sobre  $10^4$  colisões) de secundários em função da energia primária.

# Resultados 1: Colisões individuais

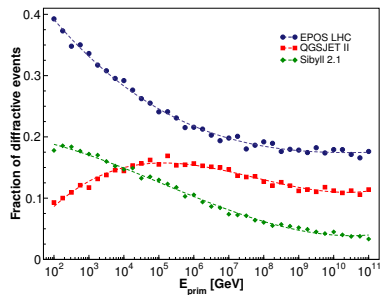


Figura 7: Fração de eventos difrativos.

# Resultados 1: Colisões individuais

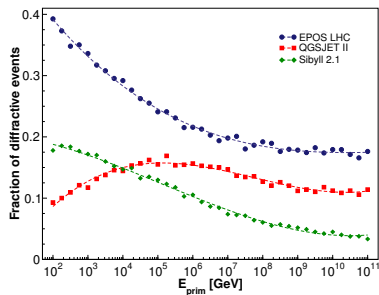


Figura 7: Fração de eventos difrativos.

$$F_{diff} \approx \frac{\sigma_{diff}}{\sigma_{tot}}$$

# Resultados 1: Colisões individuais

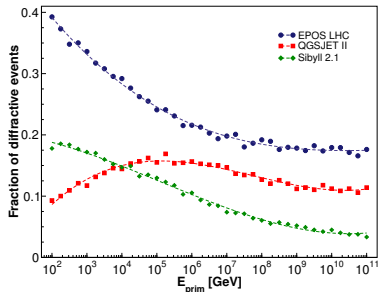


Figura 7: Fração de eventos difrativos.

$$F_{\text{diff}} \approx \frac{\sigma_{\text{diff}}}{\sigma_{\text{tot}}}$$

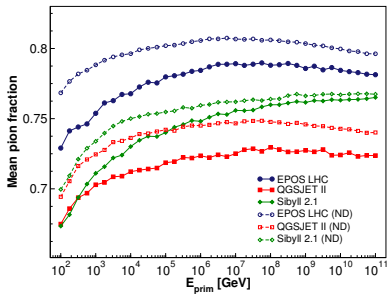


Figura 8: Fração de píons produzidos.

# Resultados 1: Colisões individuais

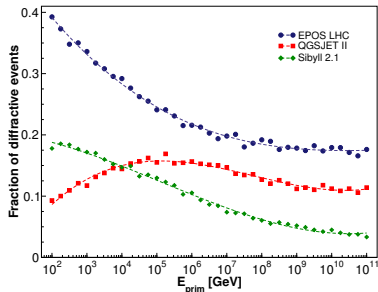


Figura 7: Fração de eventos difrativos.

$$F_{diff} \approx \frac{\sigma_{diff}}{\sigma_{tot}}$$

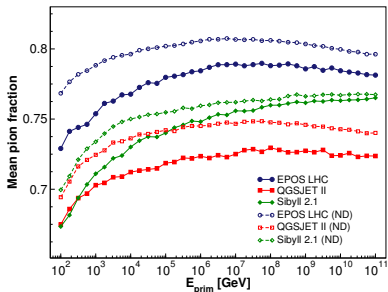
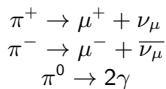
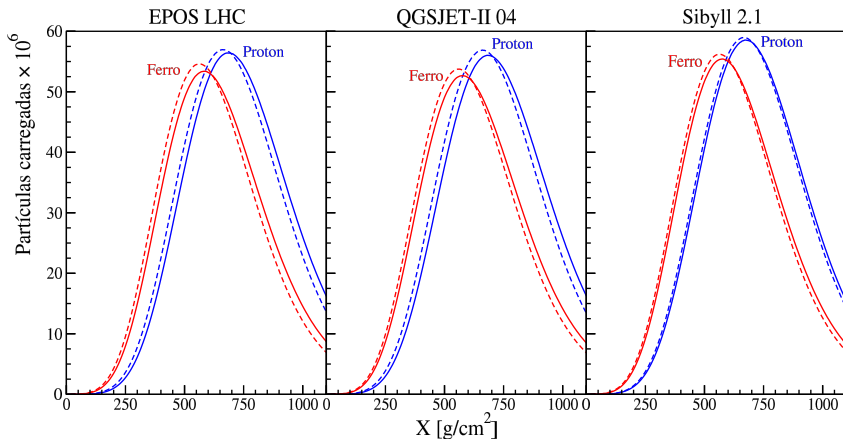


Figura 8: Fração de píons produzidos.

## Resultados 2: Física difrativa e observáveis (CORSIKA)



**Figura 9:** Perfil médio de 1000 chuviscos iniciados por  $p$  e  $Fe$  a  $10^{17}$  eV. As linhas tracejadas são de simulações que não incluem difração.

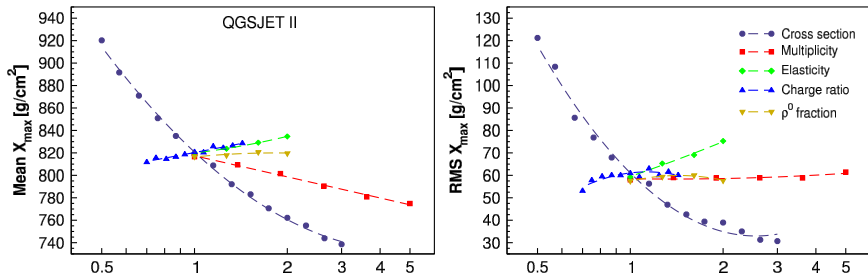
## Resultados 2: Física difrativa e observáveis (CORSIKA)

Modelo	Proton	Proton (ND)	Ferro	Ferro (ND)
EPOS LHC	680	660	585	560
QGSJET-II 04	680	660	575	560
Sibyll 2.1	675	660	575	560

**Quadro 1:**  $X_{max}$  em  $g/cm^2$

## Resultados 3: Extrapolações (CONEX)

Chuveiros iniciados por prótons a  $10^{19.5}$  eV  
Limiar de extrapolação em  $10^{15}$  eV

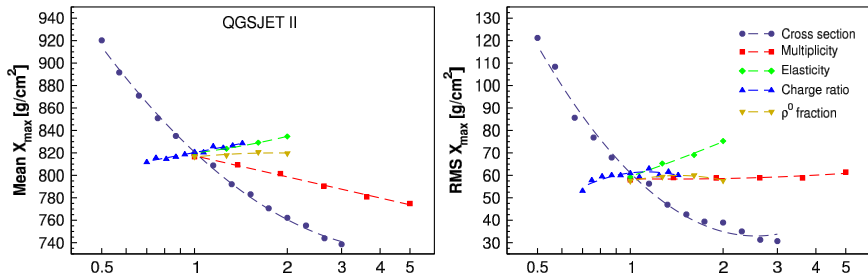


**Figura 10:** Impacto das extrapolações na produção de partículas do modelo QGSJET-II sobre  $X_{max}$  e seu desvio RMS.



## Resultados 3: Extrapolações (CONEX)

Chuveiros iniciados por prótons a  $10^{19.5}$  eV  
Limiar de extrapolação em  $10^{15}$  eV



**Figura 10:** Impacto das extrapolações na produção de partículas do modelo QGSJET-II sobre  $X_{max}$  e seu desvio RMS.

Temos resultados para os outros modelos EPOS LHC e Sibyll 2.1

- Produção de partículas - diferenças quando à difração

- Produção de partículas - diferenças quando à difração
- Existe um impacto apreciável da física difrativa sobre observáveis de CAEs

- Produção de partículas - diferenças quando à difração
- Existe um impacto apreciável da física difrativa sobre observáveis de CAEs
- Faltam análises e resultados para outras energias (superiores)

- Produção de partículas - diferenças quando à difração
- Existe um impacto apreciável da física difrativa sobre observáveis de CAEs
- Faltam análises e resultados para outras energias (superiores)
- Temos resultados das extrapolações - elas nos dão indicativos da dependência de observáveis em relação à modelagem de interações hadrônicas

### Trabalho de mestrado

Estudar o impacto da física difrativa a  $10^{20}$  eV

Realizar as extrapolações com limiar a  $10^{17}$  eV

Iniciar a escrita da (pré) dissertação

### Eventos

Xth International Conference on the Interconnection between Particle Physics and Cosmology (ICTP - SAIFR)

Encontro Nacional de Física (SBF)

- BAUS, C.; ENGEL, R.; ULRICH, R. Relation between hadronic interactions and ultra-high energy extensive air showers. EPJ Web of Conferences, v.99, 2015.
- ENGEL, R.; ULRICH, R.; UNGER, M. Hadronic Multiparticle Production at Ultra-High Energies and Extensive Air Showers. Physical Review D, Estados Unidos, v.83, 2011
- ENGEL, R.; HECK, D.; PIEROG, T. Extensive Air Showers and Hadronic Interactions at High Energy. Annual Review of Nuclear and Particle Science, Estados Unidos, v.61, p.467-489, 2011.
- CANAL, C. A. G.; LUNA, R.; SCIUTTO, S. J.; ZEPEDA, A. Influence of diffractive interactions on cosmic ray air showers. Physical Review D, Estados Unidos, v.70, p.1-11, 2004.
- CAPDEVIELLE, J. N.; HECK, D.; KNAPP, J.; SCHATZ, G.; THOUW, T. CORSIKA: A Monte Carlo Code to Simulate Extensive Air Showers. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe. 1998.
- LIPARI, P. Cosmic ray and hadronic interactions. In: XII Hadron Physics, Bento Gonçalves, 2012. AIP Conference Proceedings, Estados Unidos: AIP, v.1520, p.27-67, 2013.



## Grupo de Altas e Médias Energias GAME

