

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE FÍSICA GLEB WATAGHIN

SIMULAÇÃO DE EVENTOS SEMI-ARTIFICIAL DE INTERAÇÕES DA
RADIAÇÃO CÓSMICA NA ATMOSFERA

LUIZ CARLOS ANTUNES FERREIRA

ORIENTADOR: prof. Dr. KOTARO SAWAYANAGI

Tese submetida ao Instituto de Física Gleb
Wataghin da Universidade Estadual de Campinas
como parte dos requisitos para a obtenção do
grau de Mestre em Ciências.

Setembro de 1986

*Este exemplar corresponde
a redação final da Tese
defendida pelo aluno LUIZ
CARLOS ANTUNES FERREIRA
e aprovado pela Comissão
Julgadora.*

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

Kotaro Sawayanagi

A minha esposa, Verlaine, pelo constante apoio, sempre
incentivando com muita fé

Que Deus continue nos abençoando

MEMBROS DA COLABORAÇÃO BRASIL/JAPÃO

Amato, N. ; Arata, N. ; Castro, F. M. de O.

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

Maldonado, R. H C.

Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense

Chinellato, J. A.; Chinellato, C. D.; Bellandi F^o, J. ;

Fauth, A. C. ; Lattes, C.M.G.; Menon, M.J.; Ojeda, C.E.N.;

Sawayanagi, K.; Shibuya, E. H.; Turtelli Jr, A.

Instituto de Física Gleb Wataghin, UNICAMP

Aoki, H.; Fujimoto, Y.; Funayama, Y.; Hasegawa, S.; Kumano, H.;

Semba, H.; Tamada, M.; Yamashita, S.

Science and Engineering Research Laboratory, Waseda University

Shibata, T.; Yokoi, K.

Department of Physics, Aoyama Gakuin University

Ohsawa, A.

Institute for Cosmic Ray Research

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao prof. Dr. Kotaro Sawayanagi pela dedicação e prestação com que me orientou neste trabalho

Aos profs. Drs. José Augusto Chinellato e Carola Dobrigkeit Chinellato pela simpatia e atenção

Ao prof. Dr C.M.G. Lattes por sua atenção para com todos nós

Aos profs. Drs. Armando Turtelli Jr , como chefe do departamento, e Edison H. Shibuya , como chefe do grupo de Emulsões, o uso das facilidades do DRCCAEL

Aos amigos profs. Drs. Naoyuki Arata, Helio M. Portella, Neusa Amato, Francisco M. de O. Castro (o professor), Regina H.C. Maldonado pelo incentivo constante, um abraço

A Colaboração Brasil/Japão pela permissão em usar os dados armazenados em fita magnética, neste trabalho

Aos colegas de sala : Covolan , Querino, Antônio Braz de Padua, José Tadeu e a José Carlos (por não fumar cachimbo), pelo companheirismo, tornando a nossa sala um local agradável

A Pedro A. Nascente pela acolhida quando cheguei à Unicamp e pela prestação, é um amigo

A Anderson C. Fauth, sempre disposto a ajudar e trocar idéias

A Sandra e Marilena pela atenção que nos dispensa, e pelo sacrifício de "traduzir" nossos hieróglifos

Ao prof. Dr. José Galvão de Pisapia Ramos, coordenador da Pós Graduação, pela atenção que dispensa a todos nós quando precisamos de sua ajuda

A Ma Ighes, Cidinha e Cora pela atenção e prontidão com que nos atendem (com muita paciência), obrigado

As microscopistas Analzira, Divanilde e Rosângela, na ajuda em treinar contagem e busca de eventos, muito obrigado

Ao pessoal da Computação Mário Firmino, Antonella, Ana pela paciência com que me aturaram, obrigado e obrigado pelo que ainda vem por aí

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de Mestrado no período de 8/84 à 2/85

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

pela bolsa de Mestrado no período de 3/85 à 8/86

ÍNDICE

Resumo ----- vii

Capítulo I-

I- Introdução ----- 2

Capítulo II-

II- Metodologia Experimental ----- 9

II.1- Estrutura ----- 9

II.2- Classificação das Interações ----- 9

II.3- Procedimento com as Fotoemulsões ----- 10

II.4- Mapeamento do Bloco ----- 13

Capítulo III-

III- Simulação Monte Carlo Híbrida ----- 14

Capítulo IV-

IV- Resultados ----- 23

Capítulo V-

V- Conclusão -----	30
Apêndice 1 -----	32
Apêndice 2 -----	33
Apêndice 3 -----	34
Apêndice 4 -----	35
Apêndice 5 -----	36
Apêndice 6 -----	38
Apêndice 7 -----	40
Apêndice 8 -----	41
Referências -----	43

RESUMO

A fim de estudarmos as interações atmosféricas, fizemos uma simulação onde os dados usados para simular A-jatos artificiais foram de C-jatos observados. O objetivo do presente trabalho é estudar comparativamente os A-jatos artificiais com os A-jatos observados. Primeiro fizemos um tratamento com uma única interação e a seguir, introduzimos a possibilidade de interações sucessivas.

Na comparação entre A-jatos artificiais e observados, não encontramos diferenças significativas.

Também avaliamos um processo chamado "descascatização", na fase de uma interação. Para isso, aplicamos este método às seguintes razões entre as quantidades depois (b) e antes (o) de transformar e ajustar a energia para A-jatos artificiais :

$\langle ER \rangle_b / \langle Pt \rangle_o$, $\sum ER_b / \sum Pt_o$, densidade em pseudo-rapidez ρ_b / ρ_o
e multiplicidade N_b / N_o .

-1

C A P Í T U L O I

I - INTRODUÇÃO

A partir de trabalhos tais como o de Wilson [1] sobre aplicação do Método Monte Carlo para estudo da interação da radiação cósmica na atmosfera, muitos outros trabalhos foram realizados [2,3,4,15,16] visando os mais variados interesses, estudando cascatas eletromagnéticas e nucleares.

O nosso método, aqui exposto, poderia chamar-se Método Monte Carlo "Híbrido", uma vez que não segue todo o esquema habitual das simulações Monte Carlo. Este trabalho visa fornecer uma maneira simples de se estudar os efeitos da interação da radiação cósmica na Atmosfera. Para isto, nos utilizamos dos dados experimentais de C-jatos da Colaboração Brasil/Japão na Experiência da Câmara de Emulsões em Chacaltaya (CBJ) e os transformamos e ajustamos - boosted - para A-jatos artificiais, ou seja, não se fez uma simulação pura, mas uma mistura, pois usamos dados reais como fonte geradora para nossa simulação.

Existem várias razões que tornam difícil fazer alguma comparação entre os dados de A-jatos e C-jatos. A seguinte tabela, na qual a diferença mais significativa é a falta de informações acerca das alturas de interação e interação sucessiva para A-jato, mostra a diferença entre eles.

Tabela I- Algumas diferenças entre A-jatos e C-jatos

tipo de informação	A-jato	C-jato
altura de interação	desconhecida na maioria	estimável dentro de um intervalo
estimativa do nº de interações	possível, mas difícil	possível e melhor de- finida
material do alvo	atmosfera	hidrocarbo- neto
calibração da energia	indireta	direta : $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ cinemática de decalmento
limiar de ener- gia para obser- vação	$\geq 2 \text{ TeV}$ $\pm 100\%$ de efi- ciência	$> 0,2 \text{ TeV}$ eficiência de $\pm 50\%$

Uma comparação simples e direta é difícil e sem sentido se as diferenças acima descritas não são consideradas.

Certamente podemos fazer simulações Monte Carlo para estudar os dados de A-jatos, mas devemos considerar vários fatores antes de iniciar uma simulação completa.

Infelizmente não temos predições teóricas claras para serem aplicadas aos eventos envolvendo colisão periférica ("soft collision"), enquanto que processos envolvendo colisão frontal ("hard collision") podem ser bem descritos pela Cromodinâmica Quântica (QCD).

Realmente, tentativas de aplicação de QCD para processos de colisão periférica existem, mas elas não são confiáveis e nem decisivas. Por outro lado, podemos extrapolar alguns resultados de aceleradores para nossa região de energia, mas informações deste tipo também não são confiáveis.

O presente projeto fica entre esses dois extremos, comparação simples sem levar em conta as diferenças entre A-jatos e C-jatos ou uma completa e grande simulação. O nosso objetivo é fazê-lo tão simples quanto possível, para levar a cabo uma comparação dos "dados" de A-jatos com os "dados ajustados" de C-jatos. E nós gostaríamos de achar e discutir quaisquer mudanças entre eles, sem considerar qualquer "pré-suposição".

Somente depois desta comparação poderemos ser capazes de estudar a dependência com a energia primária para algumas quantidades. Pela comparação dos C-jatos ajustados, ou C-jatos "boosted" (vide cap.III), com os A-jatos, esperamos obter as seguintes informações:

- 1) grandezas (E,ER etc) em degradação pelo efeito da cascata atmosférica, especialmente dependência das várias quantidades com a altura de interação, através da comparação dos C-jatos "boosted" com os C-jatos observados ;
- 2) estimativa de P_t dos A-jatos observados por método estatístico ;
- 3) estimativa da altura de escala de interação.

RESUMO HISTÓRICO DA COLABORAÇÃO BRASIL/JAPÃO. [18]

Desde o início do século XX muitos pesquisadores vêm estudando, direta ou indiretamente, os produtos e os mecanismos da interação da radiação cósmica com a matéria. Poderíamos citar vários pesquisadores e experiências desde a década de 10 até nossos dias, porém, vamos citar dois de fundamental importância para a pesquisa de Raios Cósmicos no Brasil. Primeiro Gleb Wataghin, que nas décadas de 30 e 40, principalmente na de 40, teve grande participação neste campo, lançando a idéia de Bola-de-Fogo, em 41 [17], co-

mo estado intermediário durante a colisão. Seu nome foi dado ao Instituto de Física da UNICAMP, pelo trabalho que realizou aqui no Brasil.

O outro pesquisador é C.M.G. Lattes. Bem antes das atuais Câmaras de Emulsões da CBJ, foi ele o primeiro a expor material fotosensível em Chacaltaya, obtendo uma nova comprovação experimental do meson de Yukawa, em 1947 [18], quando levou o material para análise em Bristol [19], onde pouco antes Lattes e o grupo de Bristol haviam, pela primeira vez encontrado o meson de Yukawa [19].

Em 1959 Lattes recebe uma carta de Yukawa apresentando físicos japoneses de Raios Cósmicos e propondo a criação de uma colaboração entre os dois países. Durante a Conferência Internacional de Raios Cósmicos em Kioto, 1961, houve um encontro entre Lattes, Occhialini, Koshiha, Fujimoto e Taketani no qual abordou-se a criação da colaboração.

Em abril de 1962, Fujimoto e Yokoi chegam ao Brasil e então a primeira Câmara de emulsões foi montada em Chacaltaya.

Desde então as câmaras da CBJ foram expostas à radiação cósmica no Monte Chacaltaya, Bolívia a cerca de 150 m abaixo do segundo pico mais alto, a uma altura de +- 5200 m. Desde a 1ª exposição até os nossos dias, estas câmaras têm fornecido vasto material para estudo. Teorias sobre produção de partículas têm sido elaboradas com base nas observações das fotoemulsões, bem como simulações em computa

dor, enfim muitos trabalhos já foram realizados no Campo de Raios Cósmicos e seus produtos, através de interações na atmosfera ou alvo localizado.

C A P Í T U L O _ _ I I

II- METODOLOGIA EXPERIMENTAL

II.1- ESTRUTURA

CÂMARA

É composta por dois andares de detetores, fig.11.1. Junto ao detetor superior encontra-se um alvo de piche a fim de provocar interação com a radiação cósmica e produzir os chamados Ç-jatos (recentemente, câmara 22, este alvo foi trocado ppor um material plástico em blocos).

A área do detetor superior é maior que a do inferior para evitar ao máximo que partículas nuclearmente ativas (pna) cheguem diretamente ao detetor inferior, sem passar pelo alvo. Além disso o detetor superior funciona como um filtro da cascata eletromagnética.

BLOCOS

Os detetores são compostos por blocos. Tais blocos são um conjunto de envelopes e placas de chumbo. Dentro dos envelopes estão arrumados filmes de raios-X e emulsões nucleares, respectivamente, sendo que em alguns só há filmes de raio-X, fig.11.1.

II.2- CLASSIFICAÇÃO DAS INTERAÇÕES

Há três classes de interação :A-jatos,C-jatos e Pb-jatos,

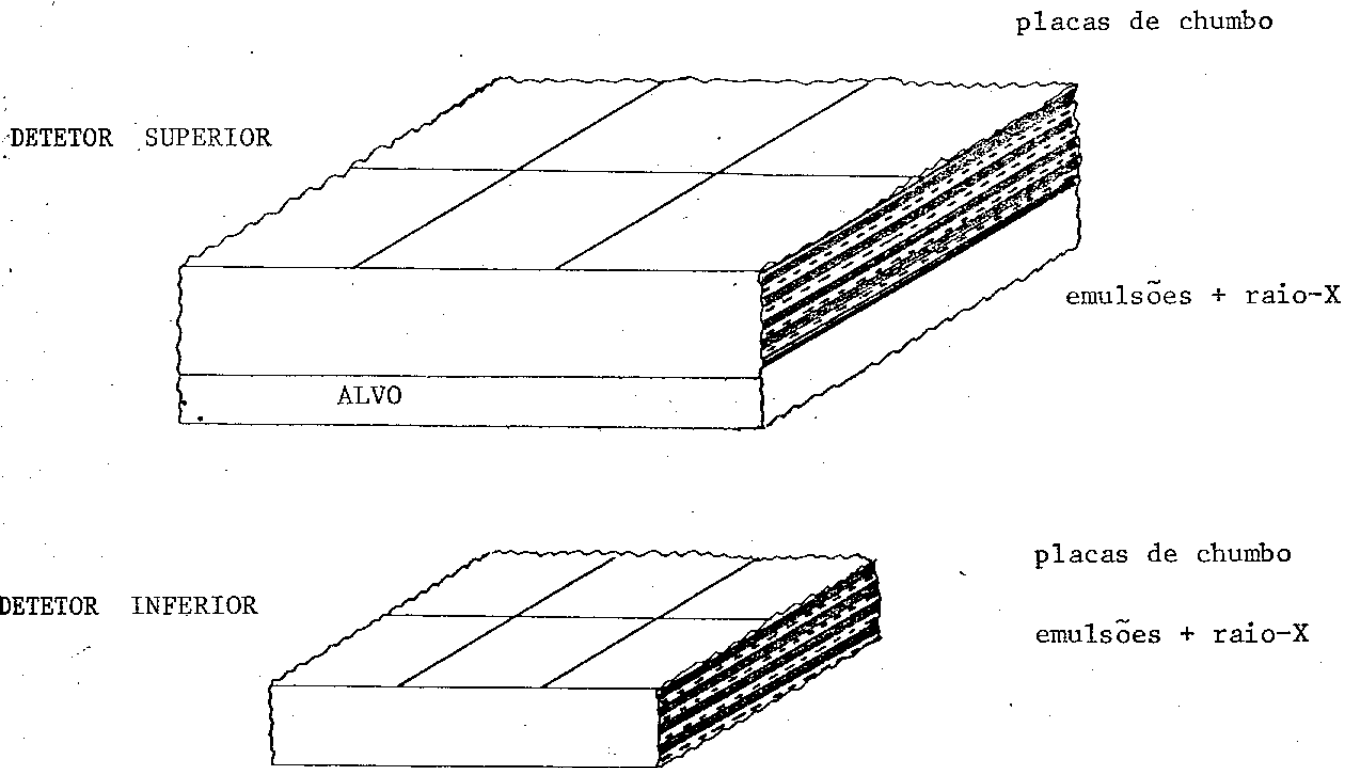


fig. II.1 - Estrutura da Câmara mostrando "blocs".

fig.11.2.

Os A-jatos são interações das p.n.a. com núcleos do ar. Portanto, ocorrem acima da Câmara. Este processo envolve as mais altas energias.

Os C-jatos são interações das p.n.a. com o alvo da Câmara, que é um material denso composto principalmente de átomos de carbono, facilitando a interação e atuando como moderador no processo de multiplicação de cascata, mantendo o nível de multiplicação de partículas pela cascata razoável.

Os Pb-jatos são interações nas placas de chumbo, em geral, ou nos materiais fotosensíveis dos envelopes da câmara, e podem ocorrer tanto na superior quanto na inferior.

Na superior são chamados Pb-jatos superiores e na inferior Pb-jatos inferiores.

Quando se deteta uma cascata eletromagnética na câmara superior tem-se a dificuldade adicional para distinguir se esta cascata é originada por um gama/e⁻ de um A-jato ou é devida a um Pb-jato superior. Igualmente quando a cascata for detetada na câmara inferior deve-se distinguir se ela é originada por um gama/e⁻ proveniente de um C-jato ou é um Pb-jato inferior. Há vários critérios que vem sendo utilizados pela CBJ nestas distinções, envolvendo o comportamento das curvas de transição da cascata ou o início da visualização. Neste trabalho manteve-se a classificação originalmente atribuída segundo estes critérios.

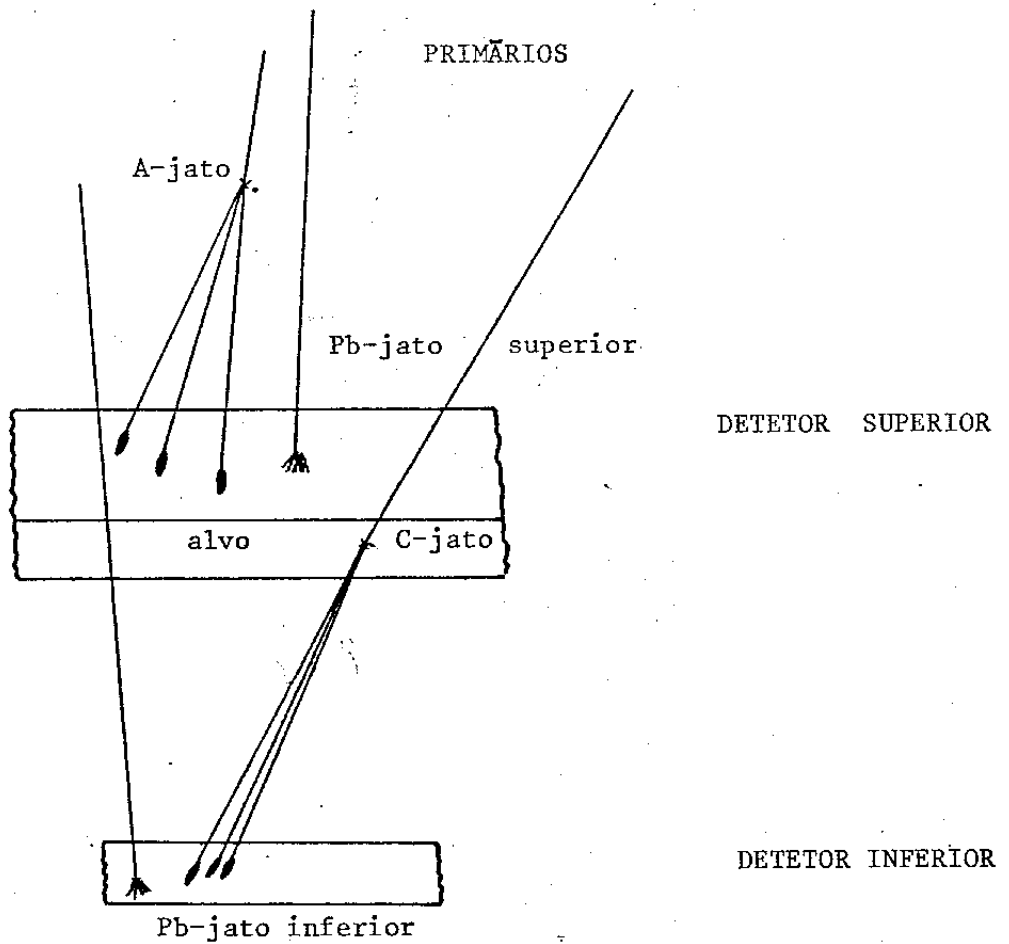


fig. II.2 - Classes de interação das partículas da radiação cósmica.
Os Pb-jatos e C-jatos são interações hadrônicas.

11.3- PROCEDIMENTO COM AS FOTOEMULSÕES

As partículas secundárias geradas pela interação da RC com núcleos do ar, ou com a própria câmara deixam um registro nas emulsões e filmes de raio-X, através das cascatas eletromagnéticas produzidas.

Estes detetores são expostos por um período de +- 2 anos, após o qual são trazidos ao laboratório do Departamento de Raios Cósmicos , Cronologia, Altas Energias e Leptons para revelação. Após a revelação, metade do material fica no Brasil e metade vai para o Japão.

No Brasil, metade fica neste departamento e metade vai para o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro onde está o outro grupo brasileiro.

Após a revelação, começa-se a busca aos eventos. Esta busca é feita da seguinte maneira :

Antes da revelação cada filme de raio-X e emulsão é numerado, por raio-X, de acordo com o bloco onde se localiza, bem como a profundidade correspondente, no bloco.

Os filmes de raio-X são usados para localizar eventos a olho nu e para fotometria (determina a energia total da partícula que deixou a mancha no filme , pela comparação da opacidade).

Localizados os candidatos a evento, nos filmes de raio-X, superpomos a emulsão correspondente ao filme, observando sempre o bloco e a unidade de cascata (u.c.). Marcado o lo

cal , a emulsão é levada ao microscópio para localização de componentes relativos a mancha do raio-X correspondente e para determinar a energia da(s) partícula(s) que deixou (aram) a mancha, pelo método de contagem de traços de e-(+). Uma determinação da energia do evento escolhido é feita através de fotometria pelo filme de raio-X usando fotodensitometria microscópica, com um aparelho do tipo NLM-101, para o caso de A-jato ou quando não se dispõe de emulsão. Pela fotometria, obtemos as opacidades (darkness) relativas ao evento e construímos a curva de transição - opacidade X profundidade . O valor máximo da opacidade dá a energia do chuveiro, mediante calibração.

Depois, para sabermos mais sobre este evento, usamos as correspondentes emulsões. Contando os traços de cada cascata da família na emulsão, para cada profundidade em que esta é observada, podemos construir as curvas de transição - nº de traços X profundidade . Comparando estas curvas as teóricas podemos estimar a energia da partícula que gerou a cascata .

Através da observação na emulsão podemos também estimar a multiplicidade, simplesmente contando as cascatas componentes da família, no caso de C-jatos. Para A-jatos, a multiplicidade pode ser estimada também no filme de raio-X.

II.4.- MAPEAMENTO DO BLOCO

O mapa do evento A-jato ou C-jato é feito após localização de todas as manchas nos filmes de raio-X dos blocos.

Este mapa é feito seguindo-se o evento pelos filmes de raio-X do mesmo bloco, para unidades de cascata, u.c., diferentes, projetando horizontalmente suas posições e observando a direção de incidência.

Com este mapa determinamos a posição do evento e seu ângulo de emissão, no caso de C-jato, pois conhecemos a altura de interação.

Nos mapas dos blocos localizamos eventos isolados e/ou famílias de eventos.

A família corresponde a eventos que têm a mesma direção e sentido de incidência sobre a câmara (ângulos zenital e azimutal).

CAPÍTULO III

III- SIMULAÇÃO MONTE CARLO HÍBRIDA

Reproduzir fenômenos naturais usando computador pode ser ou não possível. Para que seja possível uma simulação devemos ter que o fenômeno seja um processo estocástico.

No nosso caso é perfeitamente viável de ser feita uma simulação em computador, pois o fenômeno de cascata atmosférica é um processo estocástico.

O presente trabalho não é uma proposta de uma maneira avançada de fazer simulação Monte Carlo, mas sim uma tentativa de possibilitar uma comparação dos C-jatos com os A-jatos, através de uma transformação e ajuste, por computador, dos C-jatos.

Preparação dos C-jatos "boosted"

De posse dos dados de C-jatos observados, armazenados em fita magnética, nós aplicamos Transformação de Lorentz na energia dos mesmos transformando C-jatos observados em C-jatos modificados ("boosted"). Tal transformação é dada por :

$E' = E * \Gamma (1 + \beta)$, E' é a energia transformada para a região de A-jatos, E é a energia de C-jato observado e Γ é o fator de Lorentz.

Pt mantém-se invariante quando da transformação na energia e esta invariância é garantida pela relação :

$Pt = E * \theta = E' * \theta'$, onde E é a energia original, θ o ângulo de emissão, E' energia transformada e θ' o ângulo cor-

respondente.

A Tabela II mostra os cortes aplicados aos A-jatos observados, C-jatos "boosted" e C-jatos observados

Tabela II- Cortes aplicados

	A-jatos e C-jatos "boosted"	C-jato
ΣE_{γ}	$\geq 100 \text{ TeV} *$	$\geq 20 \text{ TeV}$
$E_{\gamma \text{ min}}$	$\geq 2 \text{ TeV} *$	$\geq 0,2 \text{ TeV}$
$R^M \#$	$\leq 15 \text{ cm}$	
N_{γ}	≥ 4	

* - Pb-jatos inferior e superior excluídos

- distância da cascata à cascata de maior energia

A fim de se obter uma maneira simples de se analisar as interações atmosféricas, algumas simplificações foram feitas no processo de cascatas nuclear e eletromagnética na atmosfera.

Seguem abaixo simplificações e considerações usadas na simulação :

i) O espectro de energia primária tem a seguinte forma

$$N(E) \propto E^{-\beta} ; \beta = 2,0 ;$$

ii) A atmosfera foi suposta ser isotérmica e estática,

[6]

iii) O caminho livre médio de colisão inelástica entre proton e ar é $\lambda_{inel} = 90 \text{ g/cm}^2$ de ar (Apêndice 1)

iv) A distribuição diferencial do momento transverso da partícula residual é dada por

$$P_t / (P_{t0})^2 * \exp[-P_t/P_{t0}] dP_t ,$$

onde $P_{t0} = \langle P_t \rangle / 2 = 0,5 \text{ GeV}/c$.

v) A distribuição de K_γ [Inelasticidade de gama, (Apêndice 2)] foi considerada uniforme de $0,0-0,5$;

vi) Os C-jatos observados foram usados como fonte geradora para produção múltipla de partículas. Por isso, chamamos a simulação de Monte Carlo Híbrida ;

vii) As distribuições da energia fracionária para os processos de produção de Par e Bremsstrahlung foram obtidas através do formulário de Bethe e Heitler (APENDICE 3);

viii) As seções de choque do dois processos acima não sofreram correções , para o caso de altas energias, devido ao efeito Landau-Pomeranchuk-Migdal, (Apêndice 4) ;

ix) A unidade de cascata na atmosfera é de :

$36,66 \text{ g/cm}^2$, λ_{par} e λ_{brems} foram supostos constantes

(APÊNDICE 5) ;

x) Os ângulos de emissão nos processos de produção de Par e Bremsstrahlung foram considerados desprezíveis e portanto, não responsáveis pela abertura da cascata, (Apêndice 6) ;

xi) O espalhamento múltiplo de Coulomb foi suposto ter uma distribuição do tipo gaussiana, correspondendo ao termo de ordem zero da equação de Bethe (Apêndice 7) e ser o responsável pela abertura da cascata .

Esquema Geral da Simulação: 1ª Parte - programa BST2.FOR

Nesta parte da simulação temos dois objetivos, que são :

- Primeiro fazemos o "boost" sobre os C-jatos observados para passarmos da região de energia de C-jatos para a de A-jatos. Aqui trabalhou-se com uma única interação, seguida de degradação em cascata eletromagnética na atmosfera. Usamos várias alturas de interação em combinação com três fatores de Lorentz (1,5 - 2,5 - 5,0) e três energias de corte (0,5 - 1,5 - 2,0 TeV), de modo a termos vários eventos com uma única interação, que serão usados na próxima parte da simulação.

- Ainda nesta 1ª parte outro objetivo foi avaliar o processo descascatização. Este processo consiste em agrupar os gamas e e γ (+) a fim de se chegar ao gama original da

cascata eletromagnética. Este agrupamento se faz sempre que a soma das energias de dois gamas (ou e γ) for menor que o valor fixo 1,2 TeV.cm, (APÊNDICE 8).

Resumindo esta 1ª parte, temos :

1º - Temos C-jatos observados (80 eventos) ;

2º - Aplicamos o "boost" sobre estes 80 eventos C-jatos e obtivemos os chamados C-jatos "boosted" ;

3º - De posse desses C-jatos "boosted" provocamos uma interação seguida de degradação em cascata eletromagnética na atmosfera ;

4º - Determinamos razões entre grandezas "boosted" e observadas, tais como :

$\Sigma ER(b) / \Sigma Pt(o)$, $\langle ER \rangle (b) / \langle Pt \rangle (o)$, multiplicidade $N(b) / N(o)$, densidade em pseudo-rapidez $f(b) / f(o)$, aqui, R é a distancia ao centro pesado de energia.

((b): "boosted" e (o): observada) ;

5º - Aplicamos "descascatização" sobre os eventos C-jatos "boosted" para compará-los aos C-jatos observados;

6º - Determinamos razões (mesmas de 4º) entre C-jatos "boosted" "descascatizados" e C-jatos observados, para avaliarmos se o processo de "descascatização" recupera

os gamas da interação original ;

7º - Fazemos uma comparação entre as razões antes e depois de "descascatizar" os C-jatos "boosted".

Esquema Geral da Simulação: 2ª parte - programa HYBRID.FOR
Nesta parte da simulação introduzimos interações sucessivas, seguidas de degradação em cascata eletromagnética.

Procedimento para termos interações sucessivas. Como visto na descrição da 1ª parte da simulação, temos vários eventos C-jatos "boosted" todos com uma única interação e degradação em cascata na atmosfera. Estes vários eventos "boosted" têm como principais características alturas de interação diferentes, três fatores de Lorentz, três energias de corte, também diferentes, o que dá uma combinação formando muitos eventos "boosted".

A fim de darmos início ao processo de interações sucessivas fazemos o seguinte :

- a) sorteamos a energia da partícula primária conforme item i) acima ;
- b) sorteamos a altura da 1ª interação a partir do topo da atmosfera ;
- c) sorteamos a inelasticidade K_γ , (APENDICE 2) para sabermos que fração da energia do primário vai para a cascata eletromagnética e qual vai para a partícula residual, que poderá ou não fazer nova interação ;

d) para cada partícula residual usamos a distribuição de Pt dada pelo item iv) acima.

De posse desses elementos sorteados, escolhemos dentre os C-jatos "boosted" um que tenha energia, altura de interação, H_1 , o mais próximo possível dos sorteados.

Feito isto, o nosso próximo passo é relativo à partícula liderante (residual) : novamente sorteamos uma altura de interação, H_2 , e a energia após a interação é dada pela relação : $E' = E (1 - 2K\gamma)$, onde E' é a energia da residual e E a energia da partícula antes de interagir e o $K\gamma$ é um novo $K\gamma$ sorteado. (conforme Apêndice 2)

Esse procedimento é feito até que a energia da partícula residual seja menor ou igual a energia mínima (2TeV) ou que a altura da próxima interação sorteada coincida com a altura do detetor (ou seja abaixo desta, quando a partícula não mais sofrerá interação). Então sorteamos outra energia do primário e fazemos todo o processo novamente. Com isso, temos candidatos a eventos A-jatos artificiais.

De posse destes candidatos, aplicamos todos os cortes referentes a A-jatos, tabela II, e temos então os A-jatos artificiais prontos para comparação com os A-jatos observados.

C A P Í T U L O IV

IV- RESULTADOS

Os produtos de uma interação atmosférica de uma partícula de alta energia da radiação cósmica penetrando na atmosfera estão sujeitos a mudanças significativas em suas características através de colisão inelástica, cascata eletromagnética, etc.. Por outro lado, qualquer detetor tem limitações na detecção de partículas. Estes dois pontos nos deixam limitados em parte para fazermos análises mais precisas sobre certas observações, conforme vimos anteriormente e veremos mais à frente. O detetor que usamos é uma câmara de fotoemulsões, descrita anteriormente no capí. II, e a câmara é principalmente um calorímetro eletromagnético e hadrônico.

Somente chuveis de cascata (cascade showers) acima do limiar (threshold) são registrados e medidos.

A busca de rotina por famílias A-jato é afetada pelo tamanho do bloco, 40 x 50 cm**2. Portanto, algumas das informações das características originais da interação serão perdidas por duas razões :

- i) mudanças que ocorrem com as partículas secundárias, durante sua passagem pela atmosfera;
- ii) limitações determinadas pelas condições experimentais de detecção.

A fim de tentar amenizar um pouco as perdas de informação quando da passagem pela atmosfera, que acarreta entre ou-

tras a multiplicação de partículas por processo de cascata, o processo "descascatização" foi usado para tentar restaurar um evento ao estado anterior à degradação em cascata. Isto é, a "descascatização" tem o objetivo de eliminar multiplicação de partículas feitas nos eventos atmosféricos e recobrar o estado contendo somente gamas primários (Apêndice B).

O simples fato de que as cascatas atmosféricas têm, antes, uma largura pequena e estável é usado para fazer "descascatização".

Resultados da aplicação deste processo "descascatização" estão resumidos na Tabela III. Pudemos notar, através das figuras obtidas, que este processo é aplicável dentro de uma faixa de altura de interação, em torno de 1,0 Km. Isto por que se a altura for muito grande, temos diferentes gamas iniciando cascatas que irão se superpor fazendo com que o processo de "descascatização" agrupe cascatas não cogenéticas, e além disso há a perda de cascatas eletromagnéticas devido ao limiar de energia e dimensões do detector, que eliminaria boa parte da informação para se chegar ao gama original da cascata eletromagnética.

Tabela III-Observações sobre razões de quantidades submetidas à "descascatização".

Antes	Após
-------	------

$\Sigma ER_b / \Sigma Pto$ # não tem diferença significativa

$\langle ER \rangle_b / \langle Pt \rangle_o$ #

para $1 \leq H \leq 3$ Km
o processo "descascatização" funciona razoavelmente

N_b / N_o # * a razão é > 1 para
 $H \geq 1,5$ Km

ρ_b / ρ_o # +

a razão é > 1 para
 $H \geq 1,0$ Km

a razão é aproximadamente 1 para
 $H > 1,0$ Km

: b="boosted" ; o="observado"

* : multiplicidade (nº de gamas e e-(+))

+ : densidade em pseudo-rapidez

Comparando o C-jato "boosted" (que seria agora equivalente a A-jato) com o original através de várias grandezas , podemos estudar a influência da degradação em cascatas para um evento conhecido (C-jato observado).

Especialmente uma dependência dessas quantidades com a altura de interação pode ser examinada, por que a altura de interação dos C-jatos é bem estimável e também a dos C-jatos "boosted".

A soma de ER está diretamente relacionada com a soma de Pt. É claro que a soma de ER não é igual a soma de Pt, mas a uma superposição de Pt's de várias gamas. Como mostra **fig. IV.1**, a soma de ER não é afetada seriamente pela cascata atmosférica abaixo de 1,0 Km.

Acima de 1,0 Km de altura a situação muda drasticamente e a razão $\sum ER$ "boosted" / $\sum Pt$ "original" versus H(Km) não mais cresce com H, mas passa a ser constante com H. Isto sugere que $\sum ER$ "observado" não aumenta com a altura e sim ao contrário, $\sum ER$ "observado" diminui em proporção a altura. Isto, junto com o fato de que a razão de $\sum ER$ "observado" para $\sum Pt$ ser aproximadamente igual a 1, resulta numa coincidência de $\sum ER$ "observado" e $\sum Pt$ [20]. Isto sugere, em outras palavras, que a altura de escala ("scale height") está em torno de 1,0 Km.

A **fig. IV.1** mostra, também, que o processo "descascatização" não muda este resultado.

Isto é esperado do fato de que processo agrupando partículas na "descascatização" não afeta significativamente $\sum ER$ se a multiplicidade não for pequena, embora ER não seja invariante sobre agrupamento.

É claro, de sua intenção principal, que o processo "descascatização" não é aplicável a eventos A-jatos que são pro

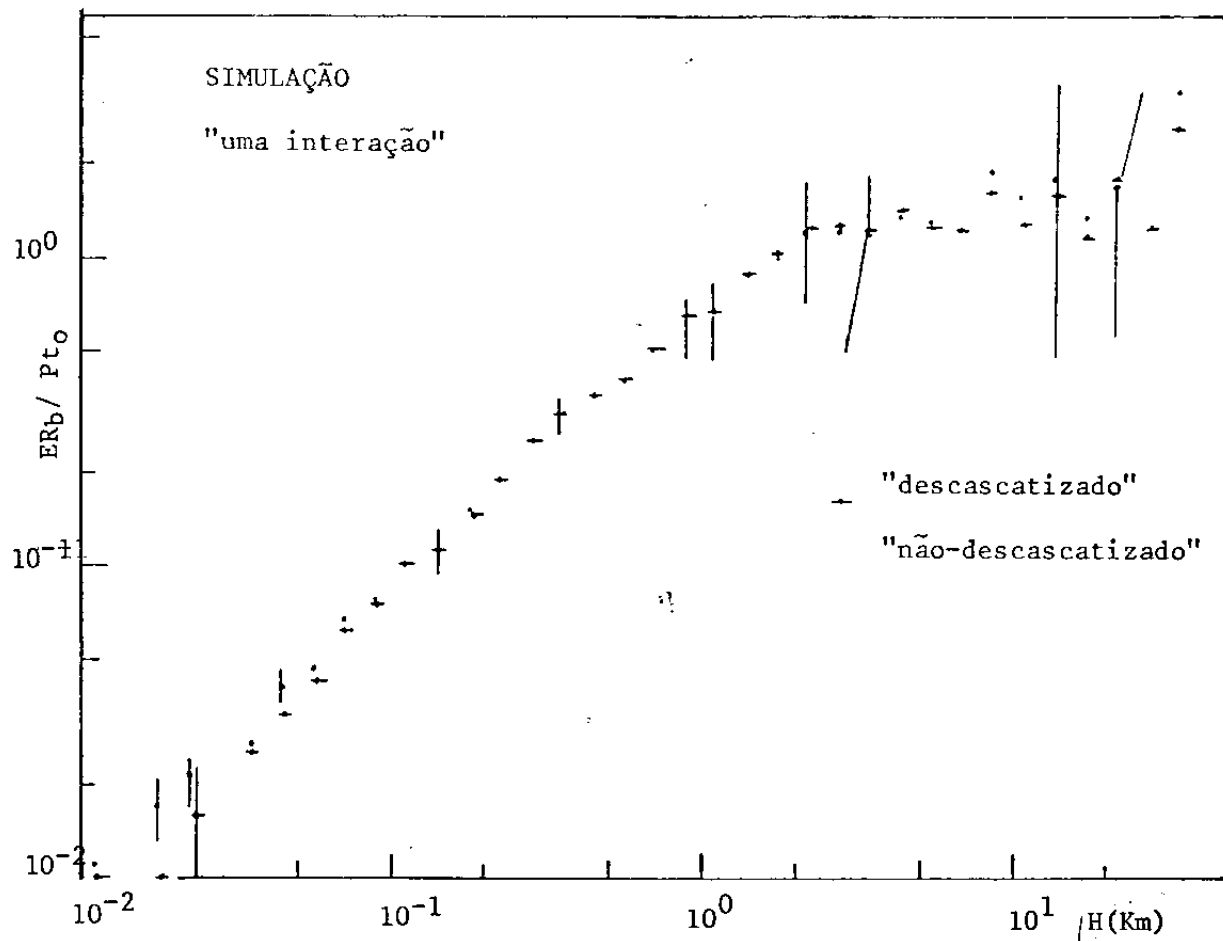


fig. IV.1 - Comparação entre razões ER_b / Pt_0 antes e depois de "descascativar". Como esperado, não há diferença significativa, dentro do erro, entre eles.

duzidos a baixas alturas.

"Descascatizar" reduz muito mais a multiplicidade de interações a baixas alturas, como esperado, mas a grandes alturas, pode-se observar pela fig.IV.2, a mesma tendência como a baixa altura. Aqui, a multiplicidade significa o número total de raios gama, elétrons e pósitrons, ou seja: somente componente eletromagnética, não incluindo componente hadrônica.

Dai segue uma superestimativa da média de ER a baixas alturas ($\langle \pm 400m \rangle$) como mostra a fig.IV.3. Dentro de uma precisão de 30%, a $\langle ER \rangle$ dá razoáveis valores no intervalo de altura de 0,3 à 3,0 Km.

A densidade em pseudo-rapidez ρ definida como a razão entre a multiplicidade e o desvio padrão da variável $\ln \theta/2$, $\rho = \text{multiplicidade} / \sigma(\ln \theta/2)$, mostra uma pequena tendência diferente do caso da multiplicidade à grandes alturas. Pode-se ver na fig.IV.4 que enquanto a densidade em rapidez não "descascatizada" continua a aumentar com a altura, a "descascatizada" tende a manter o valor 1 a grandes alturas. A densidade em rapidez foi discutida recentemente como uma medida para a possível existência do "plasma quark-gluon". É interessante notar que a "descascatização" dá uma razoável estimativa da densidade em pseudo-rapidez. Devido a ausência de informações acerca da altura de interação e de interações sucessivas no ar, lembrando o fato de que a atmosfera é um alvo extenso, torna-se difícil descrever a história-do-evento, ou seja, seu desenvolvimento

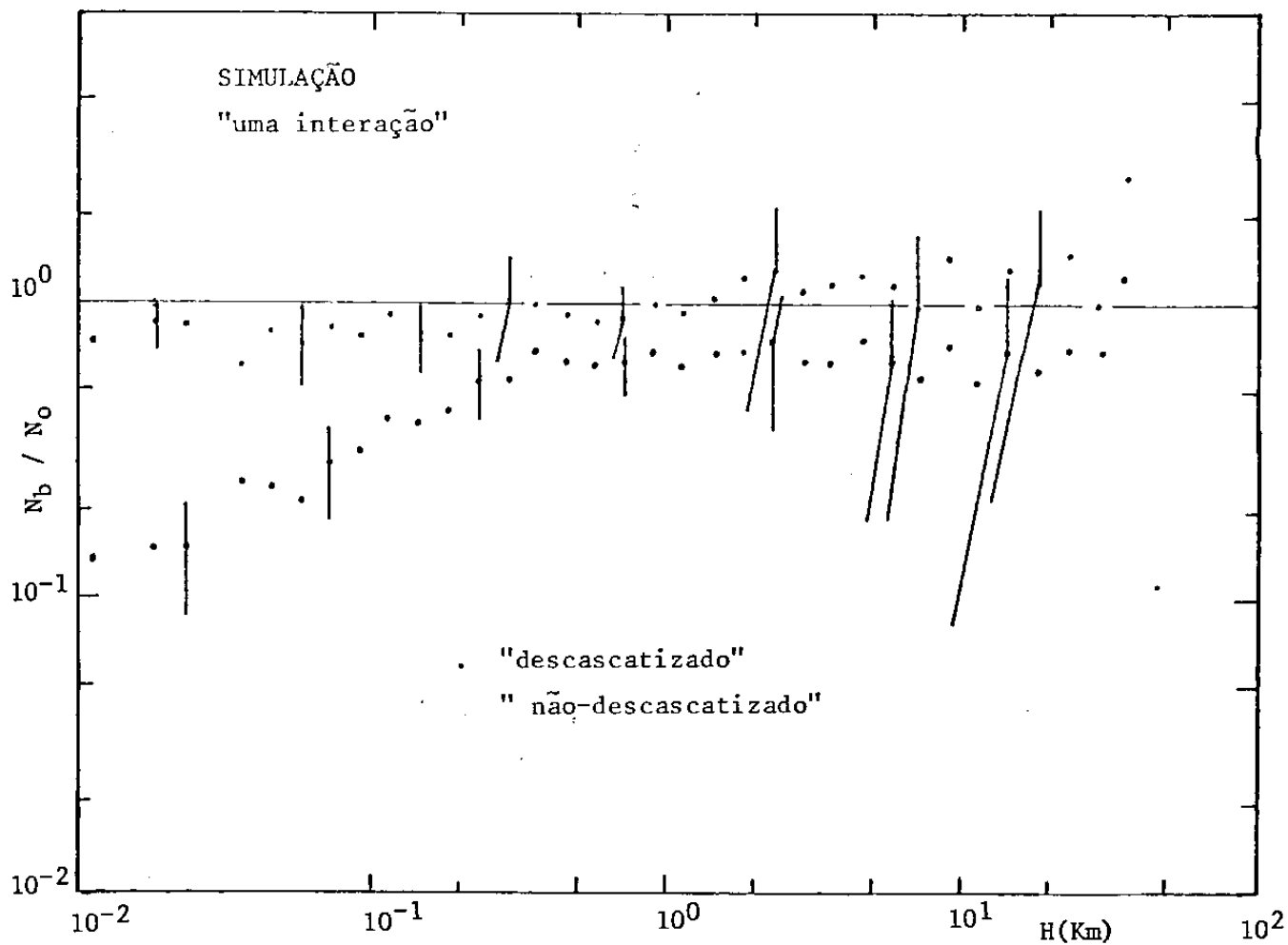


fig. IV.2 - Média da razão N_b / N_0 , antes e depois de "descascating".

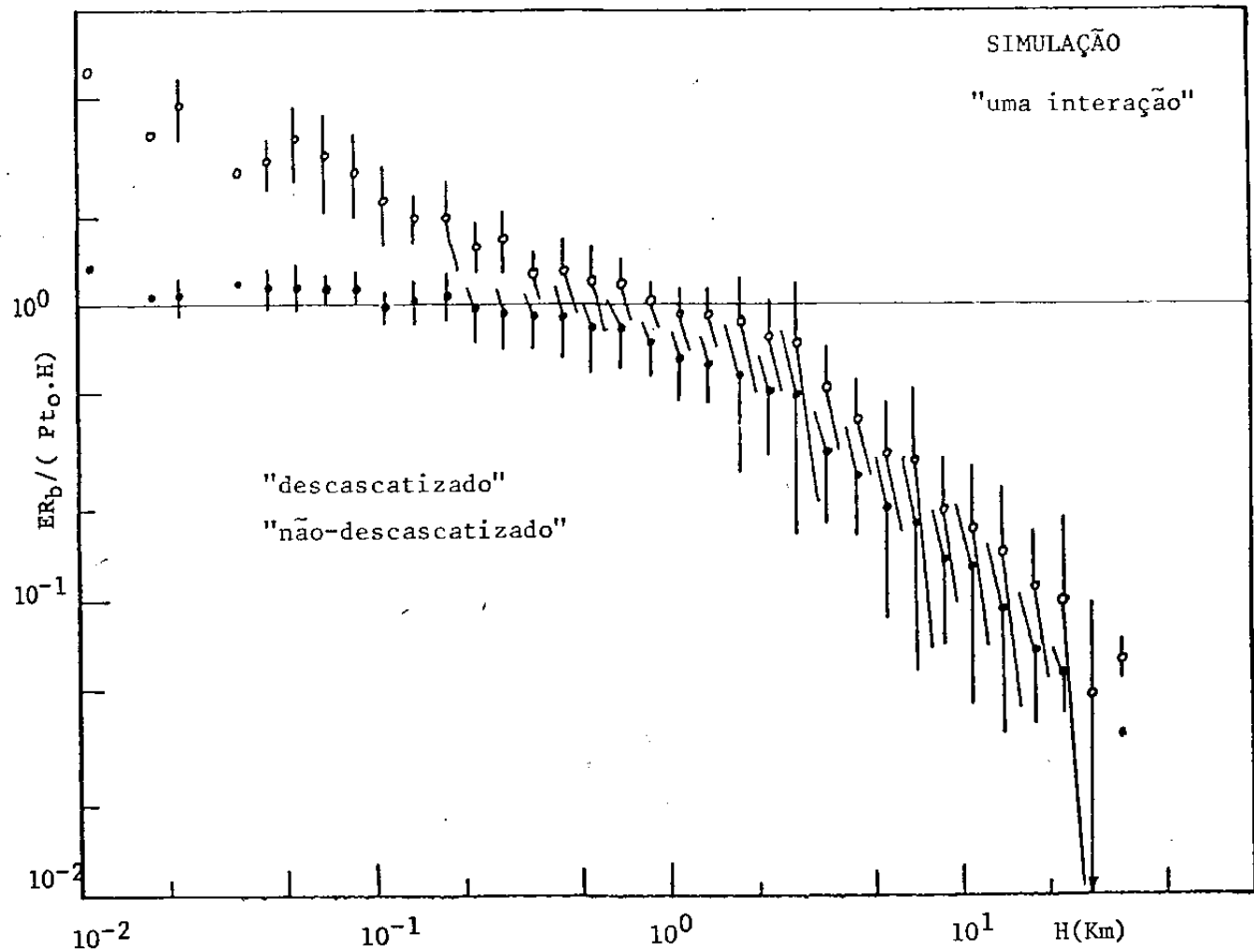


fig. IV.3 - Valor médio da razão $ER_b / (P_{t0} \cdot H)$.

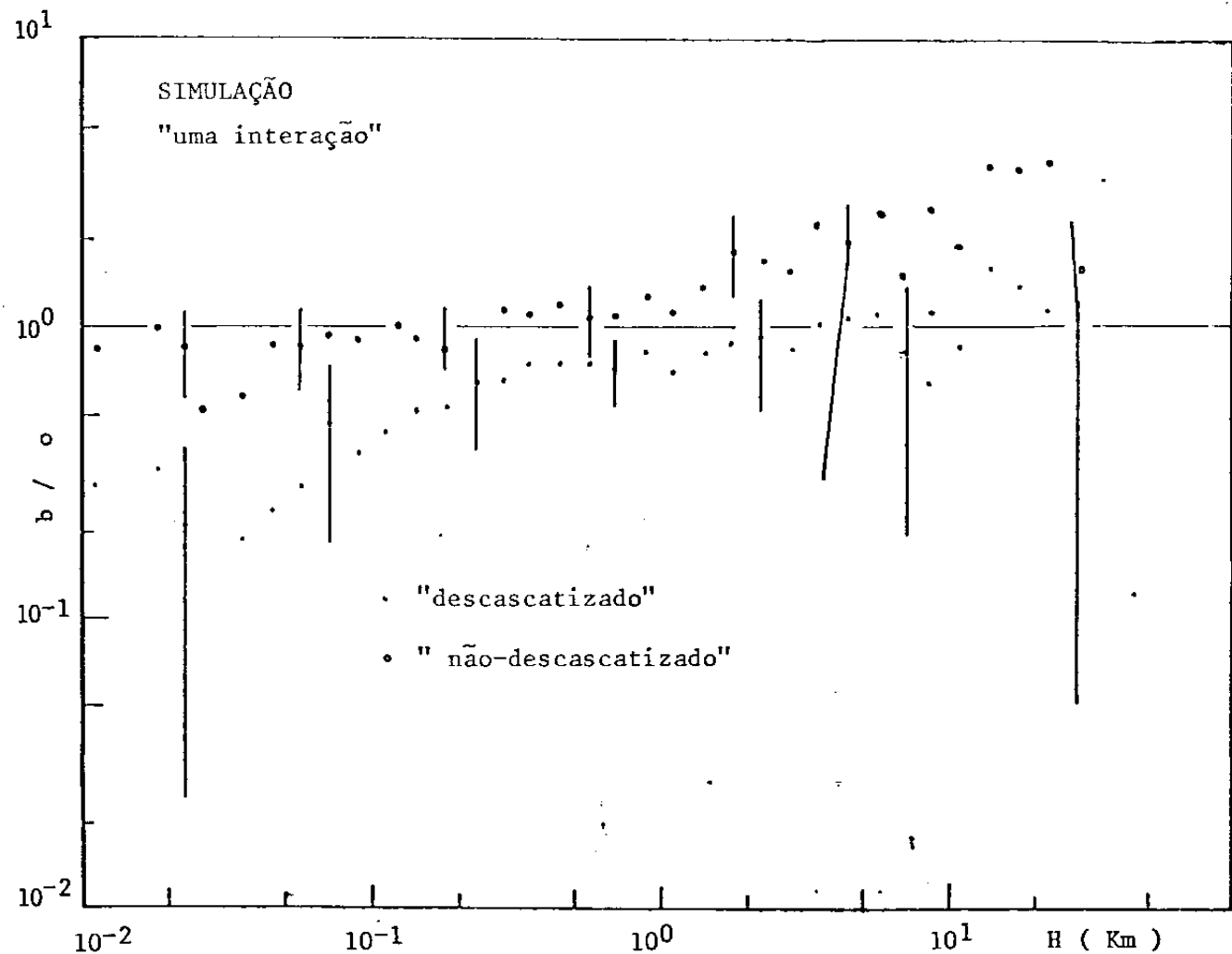


fig. IV.4 - Média da razão entre densidade em pseudo-rapidez "boosted", ρ_b e original, ρ_o .

to e, portanto, difícil extrair uma conclusão definitiva dos dados de A-jatos acerca de mudanças nas características da interação.

Agora podemos comparar os C-jatos "boosted" com os A-jatos sob o mesmo fundamento. Os cortes comuns aplicados são :

a) $E_{min} = 2 \text{ TeV} ;$

b) $R_{max} = 15,0 \text{ cm} \text{ e}$

c) $N_{\gamma} \geq 4$, onde R_{max} é medido pela cascata de maior energia do evento.

As distribuições de ER obtidas são mostradas na fig.IV.5. A primeira vista pode-se ver que as distribuições não são expressas por simples forma exponencial e que a concordância entre os C-jatos "boosted" e A-jatos é satisfatória, exceto na região de pequeno ER , abaixo de 0.20 GeV.Km , como a fig.IV.5.

A discrepância na região de baixos ER pode ser explicada por não se ter incluído a contribuição dos hadrons secundários. As distribuições de ER "descascatisado" dão, também, o mesmo resultado anterior, mas isto não é trivial.

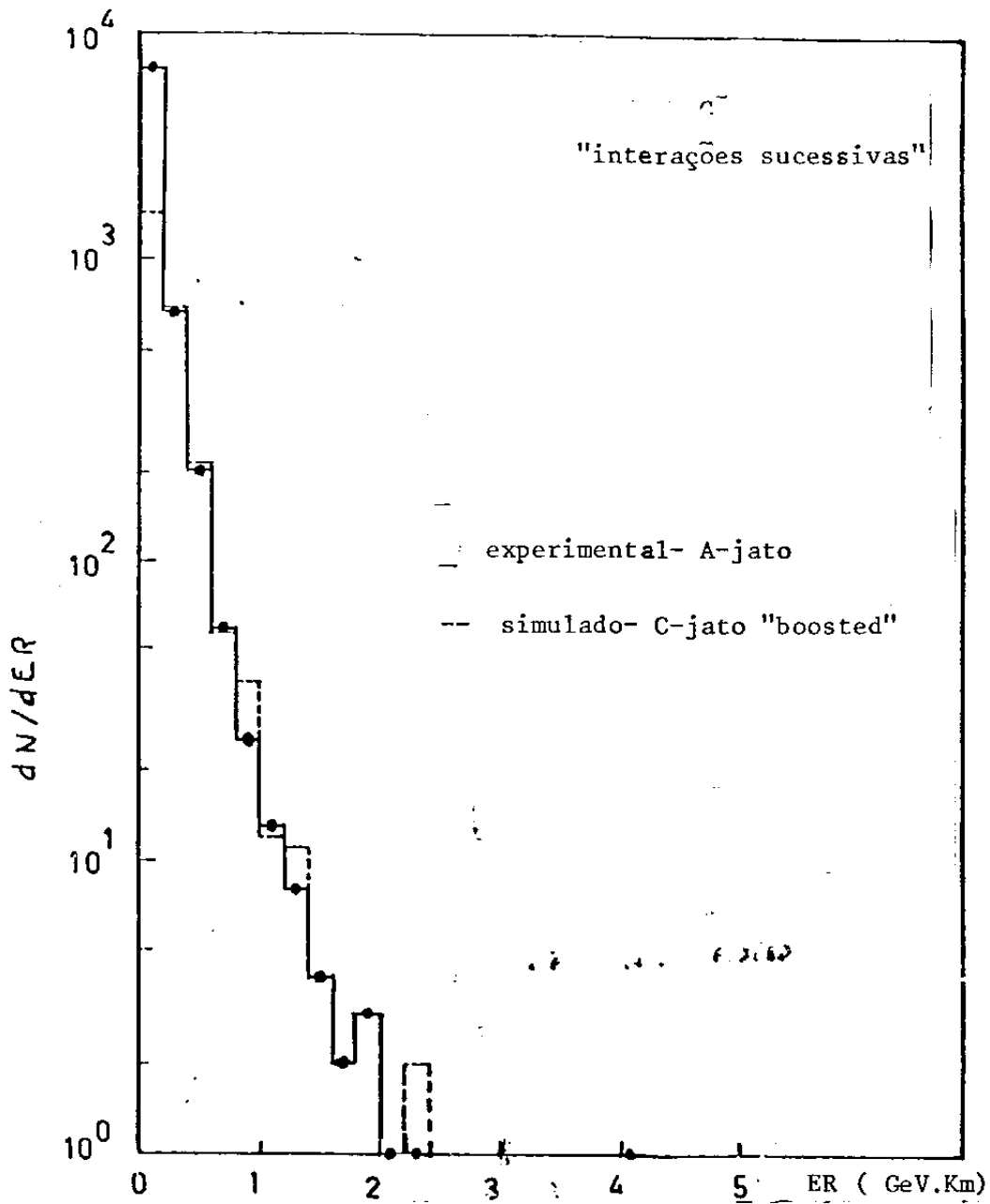


fig. IV.5 - Distribuição de ER simulado e experimental.

C_A_P_I_T_U_L_O_Y

V- CONCLUSÃO

Nossa intenção era aplicar nosso Método Monte Carlo "Híbrido" aos C-jatos observados para obtermos A-jatos artificiais, e assim, compararmos a distribuição ER experimental e transformada. Isto serviria para tirar alguma conclusão sobre a distribuição de Pt de A-jatos.

Porém, não se verificou significativos resultados neste sentido.

Destacamos os seguintes resultados :

i) Uma concordância satisfatória entre C-jatos transformados e ajustados ("boosted") e A-jatos "observados", pela distribuição de ER, foi obtida, fig.IV.5 ;

ii) Há uma diferença entre os C-jatos "boosted" e os A-jatos "observados" na região de ER abaixo de 0,20 GeV.Km

Possíveis fatores que determinariam essa diferença :

- contribuição da componente hadrônica---- pions carregados e/ou

- incidência de núcleos pesados e/ou

- algum fenômeno desconhecido

Tais fatores não foram considerados neste trabalho ;

iii) $\langle \Sigma ER \rangle$ de A-jato aumenta com o aumento de ΣE_{γ} , e $\langle ER \rangle$ de A-jato não tem aumento tão significativo quan-

to $\langle \Sigma ER \rangle$. Os C-jatos "boosted" obtidos por este trabalho apresentam tendências que concordam com o resultado experimental, fig.V.1 a/b

A diferença dos valores absolutos entre as distribuições de C-jato "boosted" e A-jato observado tem relação com a diferença na região de ER baixo. Após fazermos um corte na região de ER baixo, a diferença entre esses valores absolutos diminui, como mostra a fig.V.2 a/b ;

iv) através da relação abaixo pudemos obter o valor da altura de escala, aproximadamente, tomando como referência o início do patamar na fig.IV.1

$$\langle Pt \rangle \cdot Hes = \langle ER \rangle \text{ ----} \rangle Hes = \langle ER \rangle / \langle Pt \rangle$$

obtivemos $Hes = 1,2 \text{ Km}$, sem contradição com outro trabalho [20] ;

v) o processo de "descascatização" (Apêndice 8) recupera bem a densidade em pseudo-rapidez p para altura de interação acima de $1,0 \text{ Km}$, fig.IV.3.

Quanto às demais grandezas, mostrou-se razoavelmente eficaz em certas regiões. Nossos resultados estão resumidos na Tabela III , onde comparamos resultados antes e depois de usar o método de "descascatização", no cap.IV.

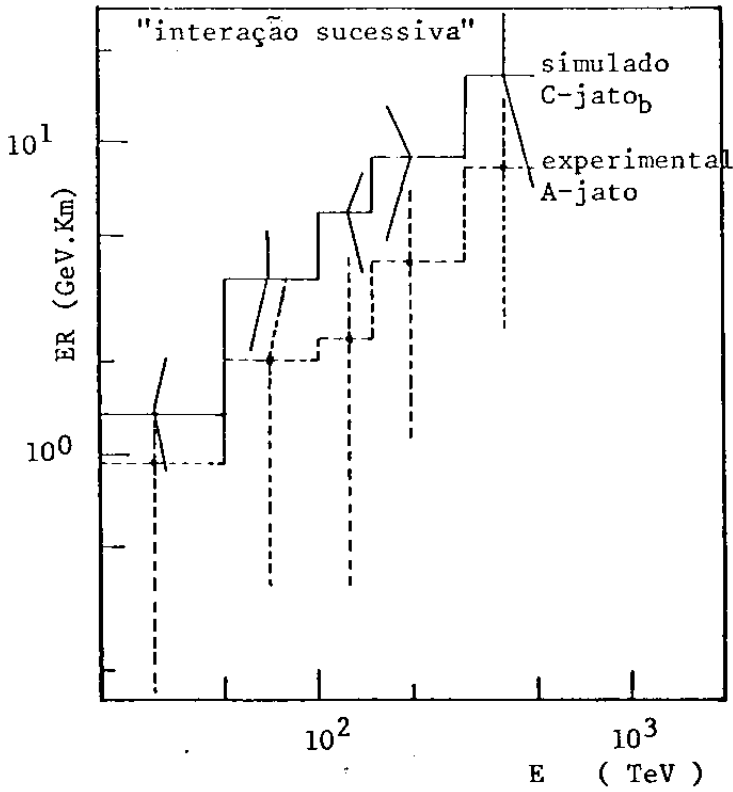


fig. V.1a - Distribuição de ER simulado e experimental versus E

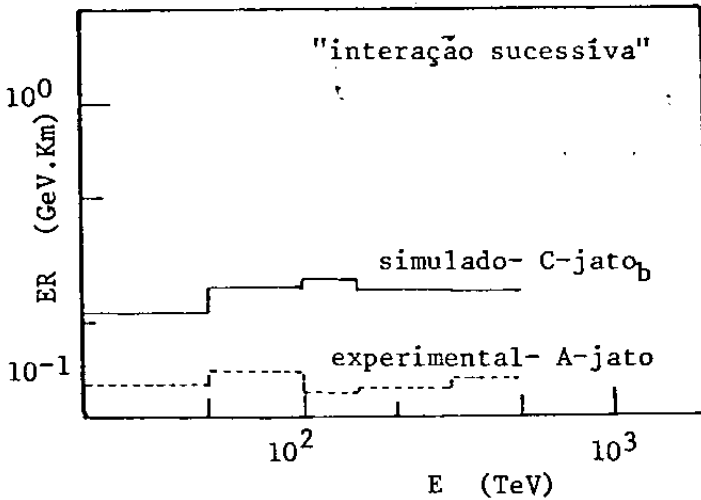


fig. V.1b - Distribuição de ER simulado e experimental versus E (TeV).

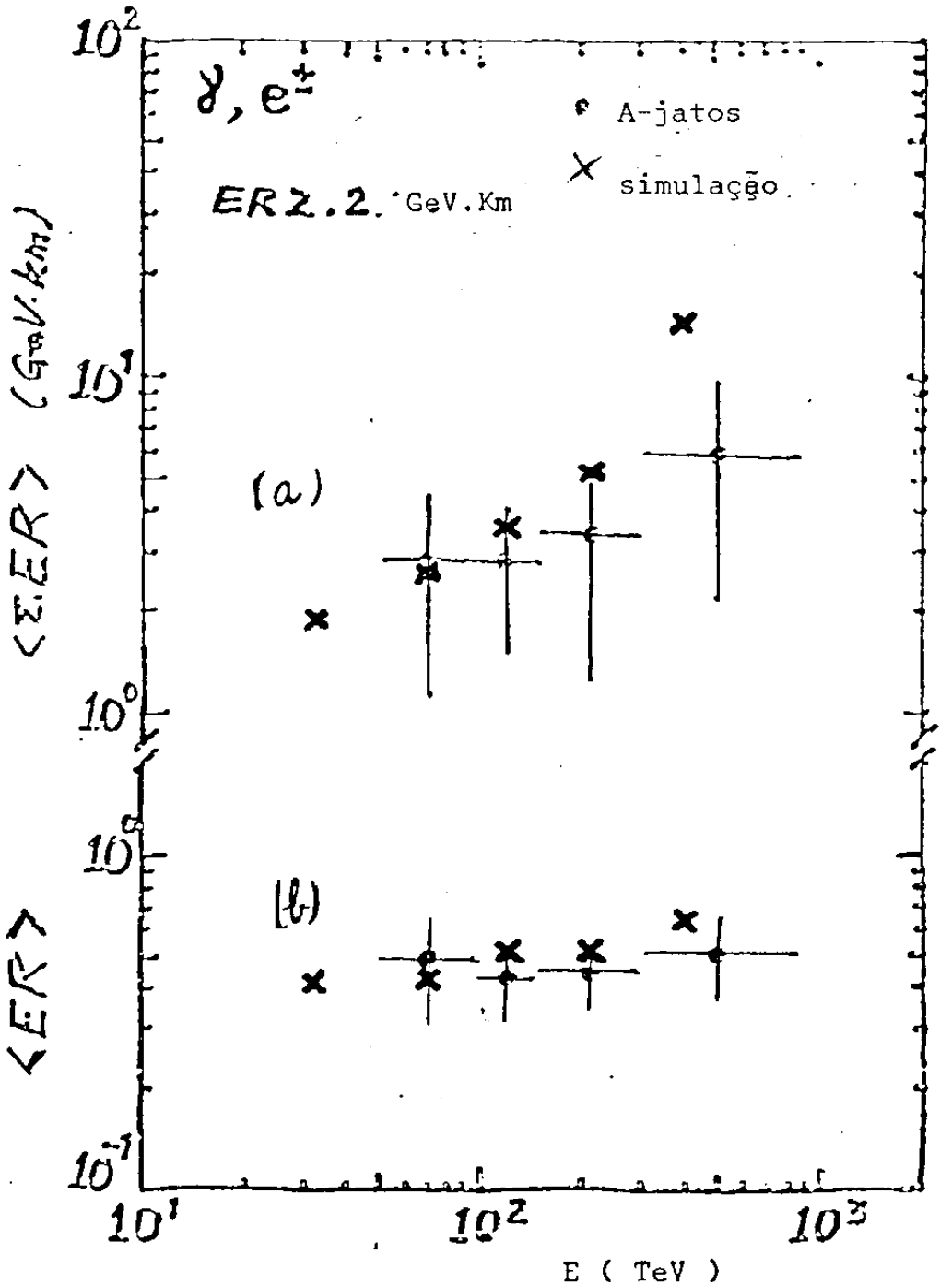


fig. V.2 a/b - Considerando somente ER 0,2 GeV.Km, podemos notar uma melhor concordância entre a simulação, C-jato "boosted", e A-jatos observados.

APÊNDICE...1

Seção de choque de colisão inelástica na atmosfera.[7,8]

Nós excluimos o espalhamento elástico e quasi-elástico da seção de choque total.

$$\sigma_{inel}^{p-ar} = \sigma_{total}^{p-ar} - \sigma_{el}^{p-ar} - \sigma_{quasiel}^{p-ar}$$

O valor adotado pelo presente trabalho é de

$$\lambda_{inel} = 90 \text{ g/cm}^2.$$

Esse valor corresponde a 270 mb da seção de choque inelástica entre proton e ar, σ_{inel}^{p-ar} , e também esse valor da seção de choque equivale a 64 mb da seção de choque inelástica entre proton-proton, σ_{inel}^{p-p} .

APÊNDICE 2

Sorteio de K_γ

Antes de sortear K_γ , fizemos algumas simplificações para K_γ .

Primeiro temos que levar em conta que a maior parte dos secundários da interação primária são mesons- (mais de 80 %).

Outra simplificação foi supor uma distribuição dos mesons em dois grupos : carregados e neutro, de modo que não adotamos uma divisão 1/3,1/3,1/3, e sim 1/2, 1/2.

Considerando uma condição experimental de achar, favoravelmente, eventos com multiplicidades, N_γ , maiores [14]

Feito isso, nosso K_γ é sorteado dentro do intervalo (0, .5) através da variável randômica RAN , e então temos

$$K_\gamma = \text{Kinel} * \sum E_{\pi^0} / (\sum E_{\pi^0} + \sum E_{\pi^\pm})$$

(0-1) (0,5) (proporção entre

= 0,0-0,5 $\sum E_{\pi^0}$ e $\sum E_{\pi^\pm}$ --> 1:1)

ou seja, por hipótese $\text{Kinel} \in (0,1)$

e $\sum E_{\pi^0} / (\sum E_{\pi^0} + \sum E_{\pi^\pm}) = 0,5$

e o sorteio é feito através de :

$$K_\gamma = \text{RAN}(\text{ISEED}) * 0.5 \quad , \quad \text{fig. A.5.}$$

obs: supomos uniforme a distribuição de K_γ no intervalo

(0,0 , 0,5)

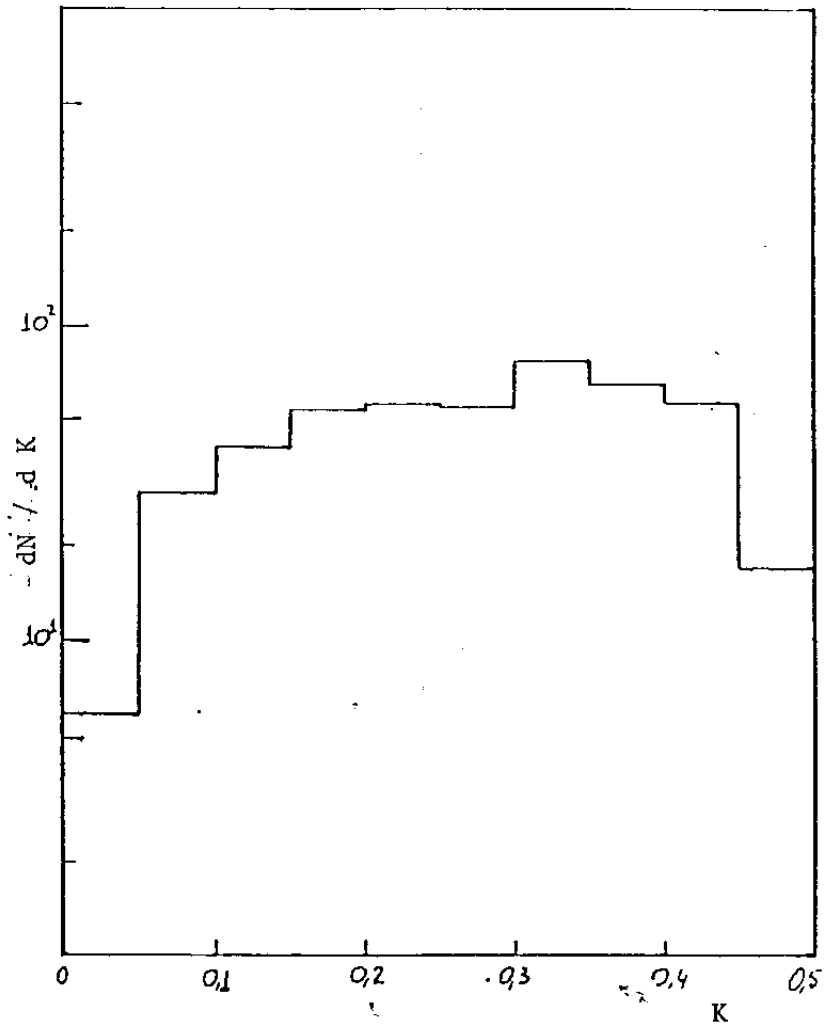


fig. A 2 - Distribuição de inelasticidade gama.

APÊNDICE 3

Distribuição da energia Fracionária para os processos de produção de Par e Bremsstrahlung

Dois processos são fundamentais para produção de cascata na atmosfera e multiplicação de partículas. São os processos Par e Bremsstrahlung.

Para os valores esperados da distribuição da energia fracionária dos processos, usou-se as seguintes expressões : por Bethe and Heitler [5]

Par

$$G = 4/3 [v - 1/2]**2 + 2/3$$

onde $v = E/E_0$, E= energia do e-(+)

E_0 = energia do raio gama

Bremsstrahlung

$$F = [(u - 2/3)**2 + 8/9] / u$$

onde $u = E/E_0$, E = energia do raio gama

E_0 = energia de e-(+)

As figs. A.3 e A.4 mostram uma comparação entre a simulação e a curva esperada, pelas fórmulas acima.

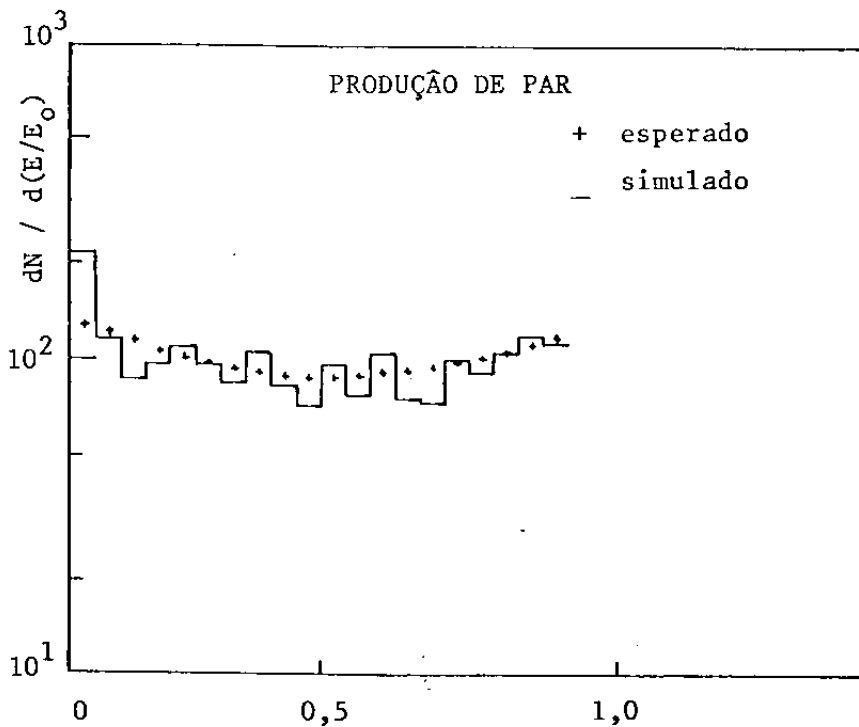


fig. A3 - Distribuição de energia fracionária para o processo de produção de Par.

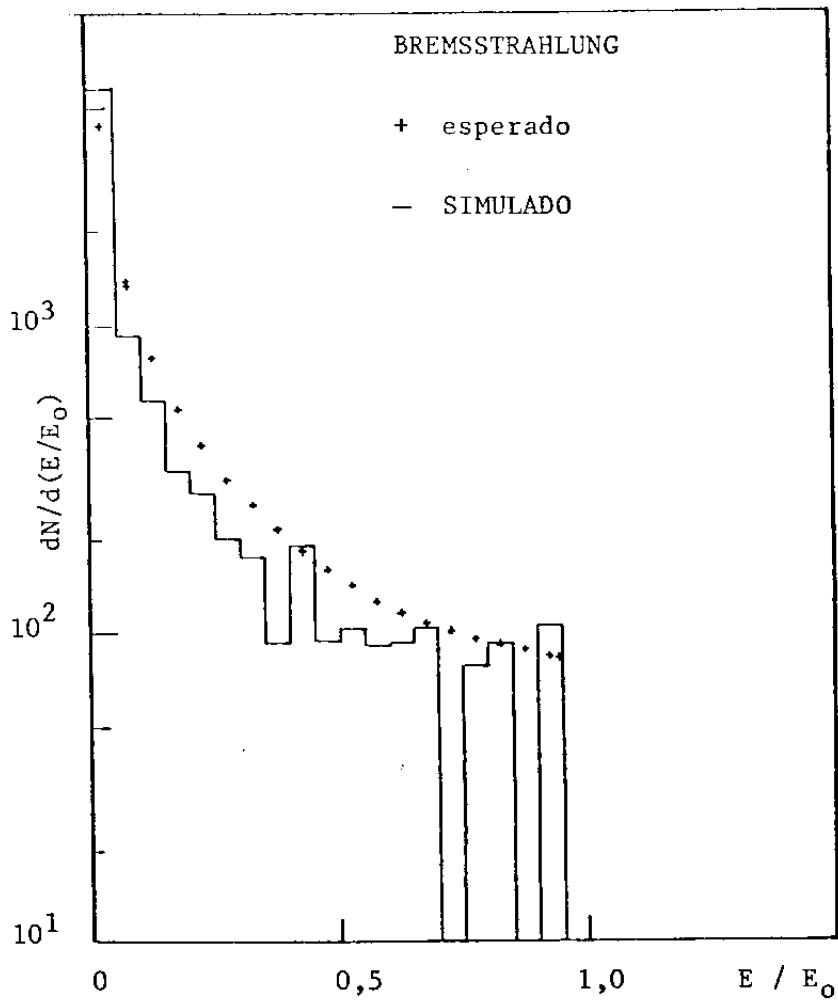


fig. A4 - Distribuição de energia fracionária para processo de Bremsstrahlung.

APÊNDICE_4

Efeito LANDAU-POMERANCHUK-MIGDAL, LPM [9]

O efeito LPM consiste, basicamente, numa redução nas seções de choque dos processos de produção de Par e processo Bremsstrahlung, para cascatas eletromagnéticas com energias muito altas, em materiais muito densos. Essa energia é da ordem de 10^{*6} TeV para cascatas atmosféricas o que está muito acima de nossa simulação, que usa uma $E = \pm 100$ TeV. De modo que podemos desprezar este efeito sem que resulte algum erro significativo.

A energia E_{lpm} dá o limite, acima do qual devemos considerar o efeito LPM. Essa energia é dada por :

$$E_{lpm} = \pm 61,5 * X_0 \text{ (cm) TeV}$$

X_0 = comprimento de radiação (508 m em Chacaltaya)

Logo,

$$E_{lpm} = 61,5 * 50800 \text{ TeV} = \pm 3,1 * 10^{*6} \text{ TeV}$$

APÊNDICE 5

Determinação do comprimento de radiação, X_0 (g/cm**2), no ar.

Quando se lida com eletrons e fotons de altas energias ,é conveniente medir a espessura do material em unidades de comprimento de radiação. Definimos, portanto, a unidade de radiação de um material como

$1/X_0 = \sum_i F(M_i) / X_0(M_i)$, onde M_i é o material e $F(M_i)$ é a fração em pêso do mesmo.

No caso do ar, cuja composição é 76.9 % de Nitrogênio (z=7) 21.8 % de Oxigênio (z=8) e 1.3 % de Argônio (z=18), o valor de X_0 será

$$1 / X_0 = 76.9 \% / X_0(N) + 21.8 \% / X_0(O) + 1.3 \% / X_0(Ar)$$

Tabela 1

Material	X_0 (g/cm**2)
N(z=7)	37,9879
O(z=8)	34,2381
Ar(z=18)	19,5489

Assim, obtemos :

$$X_0 = 36,66 \text{ g/cm**2}$$

É este, também, o livre caminho médio para o elétron

sofrer processo Bremsstrahlung , fig.A.1

O livre caminho médio para um gama sofrer processo de produção de Par e-(+) é : fig.A.2

$$X_{0\text{-par}} = 9/7 X_0$$

$$X_{0\text{-par}} = \pm 47,1 \text{ g/cm}^2.$$

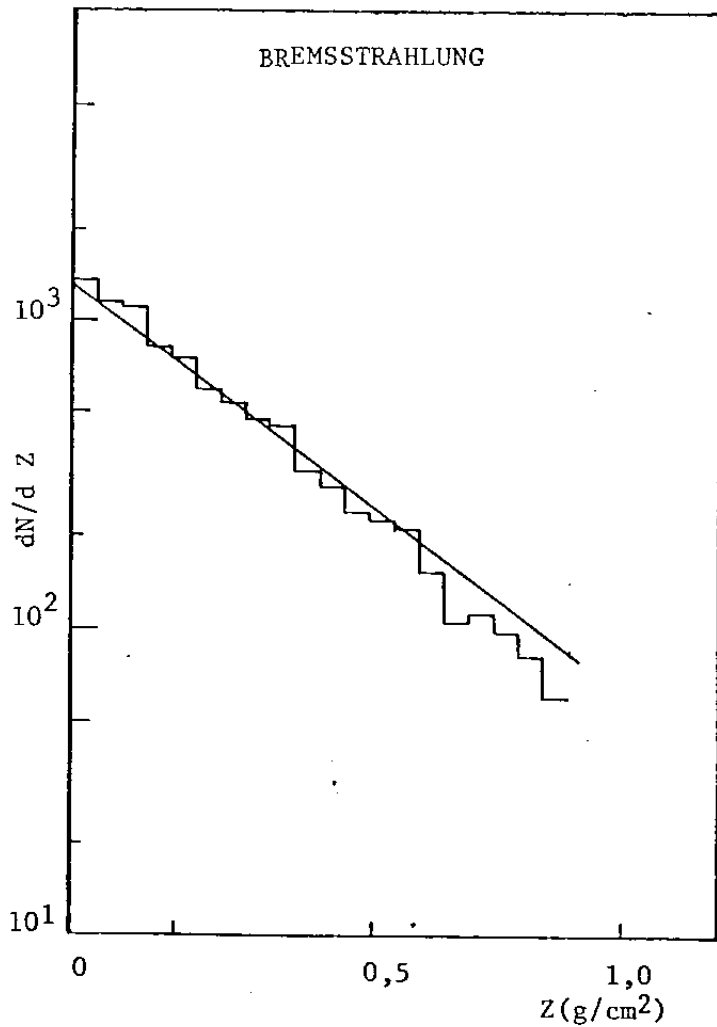


fig. A 5 - Distribuição de Z para processo Bremsstrahlung.

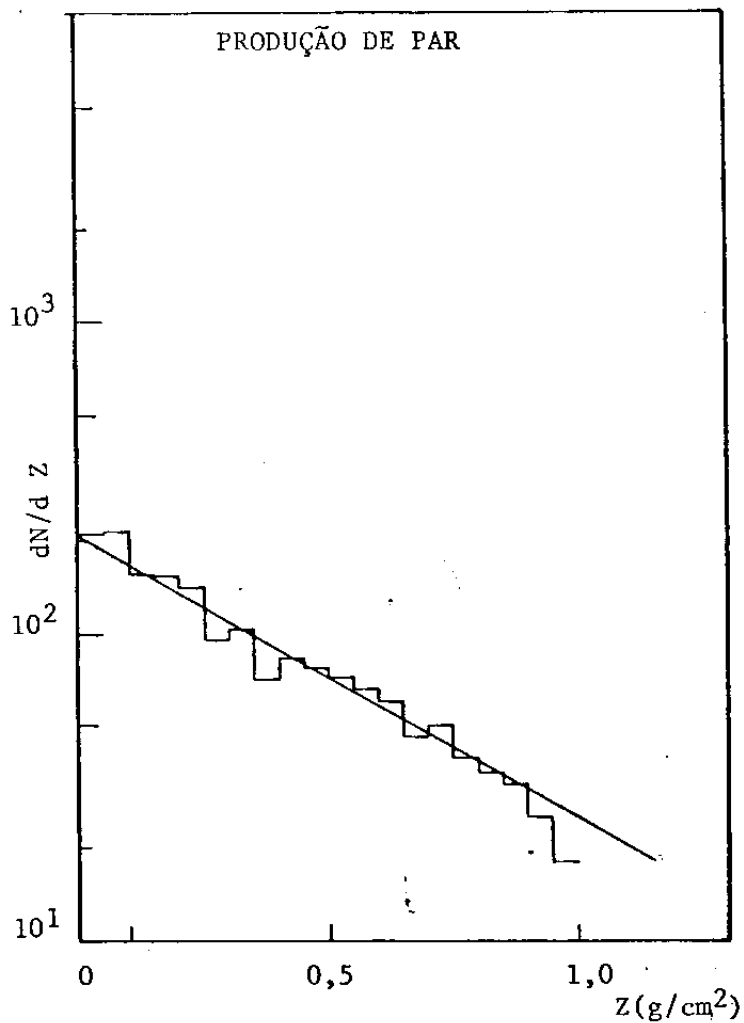


fig. A6- Distribuição de Z para produção de Par

APÊNDICE_6

Espalhamento Coulombiano como responsável pela abertura da cascata atmosférica

Na simulação não consideramos a abertura da cascata atmosférica, caracterizada pela dispersão lateral R (Cm), devida aos processos de produção de Par e Bremsstrahlung, e sim ao espalhamento Coulombiano.

Essa imposição está baseada no fato de que os ângulos de emissão das partículas geradas ou espalhadas nestes processos são praticamente desprezíveis, sendo da ordem de 10^{-7} rad., comparados ao do espalhamento Coulombiano que é da ordem de 10^{-5} rad, o suficiente para que a alteração na trajetória de voo dos e^{-} (+) seja bastante significativa.

Seja θ_c o ângulo de espalhamento de Coulomb

$$[\langle \theta_c^2 \rangle]^{1/2} = [E_s / E_0] * 1/X_0 = \pm 10^{-5} \text{ rad}/X_0$$

E_0 é energia do e^{-} (+)

$$E_s = mc^2 * [4\pi/\alpha]^{1/2} = \pm 21 \text{ MeV (constante de espalhamento Coulombiano)}$$

Para os processos Par e Bremsstrahlung temos

$$[\langle \theta^2 \rangle]^{1/2} = m_e / E * 1/X_0 \rightarrow \theta \cong 10^{-7} \text{ rad}/X_0$$

onde m_e = massa do eletron e $E = \pm 2 \text{ TeV}$, energia do foton primário para produção de Par e energia do ele-

tron primário para Bremsstrahlung

APÊNDICE 7 [3]

Distância da cascata, $R(\text{cm})$, à cascata mais energética.

Essa distância é suposta ser devida somente ao espalhamento Coulombiano nos $e^{-(+)}$

A determinação da distância do evento à cascata mais energética (abertura lateral- "lateral spread") é dada por uma distribuição gaussiana da forma

$$f(R^2) dR^2 = 3/(\theta_s^2 \cdot \Delta Z^3) \cdot \exp[-3/(\theta_s^2 \cdot \Delta Z^3) \cdot R^2] dR^2$$

fazendo $a = 3/(\theta_s^2 \cdot \Delta Z^3)$, onde $\theta_s^2 = [E_s/E_e]^2 \cdot [1/X_0]$, temos

$$f(R^2) dR^2 = a \exp[-a R^2] dR^2$$

integrando

$$f(R^2) dR^2 = \text{RAN}(\text{ISEED}), \text{ n}^\circ \text{ pseudo-randômico } [0,1]$$

$$R^2 = -1/a \cdot \ln(\text{RAN}(\text{ISEED}))$$

$$\therefore R = [- (E_s/E_e)^2 \cdot (1/X_0) \cdot \Delta Z^3 / 3 \cdot \ln(\text{RAN}(\text{ISEED}))]**1/2$$

Essa distribuição gaussiana corresponde ao termo de ordem zero da equação de Bethe [2,3]

APÊNDICE...B

Processo "Descascatização" [4]

1º- Ordenar as energias das cascatas, colocando-as em ordem crescente

$$E_1 < E_2 < E_3 \dots$$

2º- Tomamos E_i e fazemos:

$$D_{ij} = (E_i \cdot E_j) / (E_i + E_j) \cdot |\vec{R}_i - \vec{R}_j| \quad \text{com todos os outros}$$

Se $D_{ij} > K_{dec}$, E_i representa um gama chamado isolado, voltando para o item 1º desse processo e tomando o próximo (E_2). Aqui, K_{dec} é um parâmetro escolhido adequadamente aos resultados.

Se $D_{ij} < K_{dec}$, cumpre-se "descascatização", e as seguintes mudanças são feitas:

$$E_j \text{ ----} \rightarrow E_i + E_j$$

$$\vec{R}_j \text{ ----} \rightarrow (E_j \cdot \vec{R}_j + E_i \cdot \vec{R}_i) / (E_i + E_j), \text{ e portanto o } E_i$$

é excluído, unindo-se ao E_j . Daqui volta ao item 1º e assim sucessivamente.

Se todas as combinações forem $D_{ij} > K_{dec}$, ou seja, todos os gamas são isolados, terminou o processo.

A Colaboração Brasil/Japão (CBJ) está usando o valor K_{dec} como 12 Tev.mm, por isso usamos o mesmo valor nesse traba

lho. Como mostra o trabalho do H.Semba [4], esse valor foi escolhido adequadamente pelas seguintes razões :

i) o nº de gamas "descascatizados" tem menor dependência do valor de K_{dec} , quando esse valor é assumido acima de 12 TeV.mm (como na fig.6,ref.4) ;

ii) Neste valor de 12 TeV.mm, uma cascata que foi originada por um gama pode retornar ao gama original, se a altura da interação for menor que 3 u.c.(unidades de cascata) e a energia do gama original for menor que 20 TeV(fig.7,ref.4)

iii) não podemos aumentar o valor de K_{dec} muito além de 12 TEV.mm, pois incluiríamos outros gamas que não foram produzidos pelo mesmo gama primário .

Nossa simulação, através da distribuição de E_r dentro de cada cascata eletromagnética, mostra uma inclinação desta quantidade concordando com o valor 1,2 TeV.cm, fig. A.6

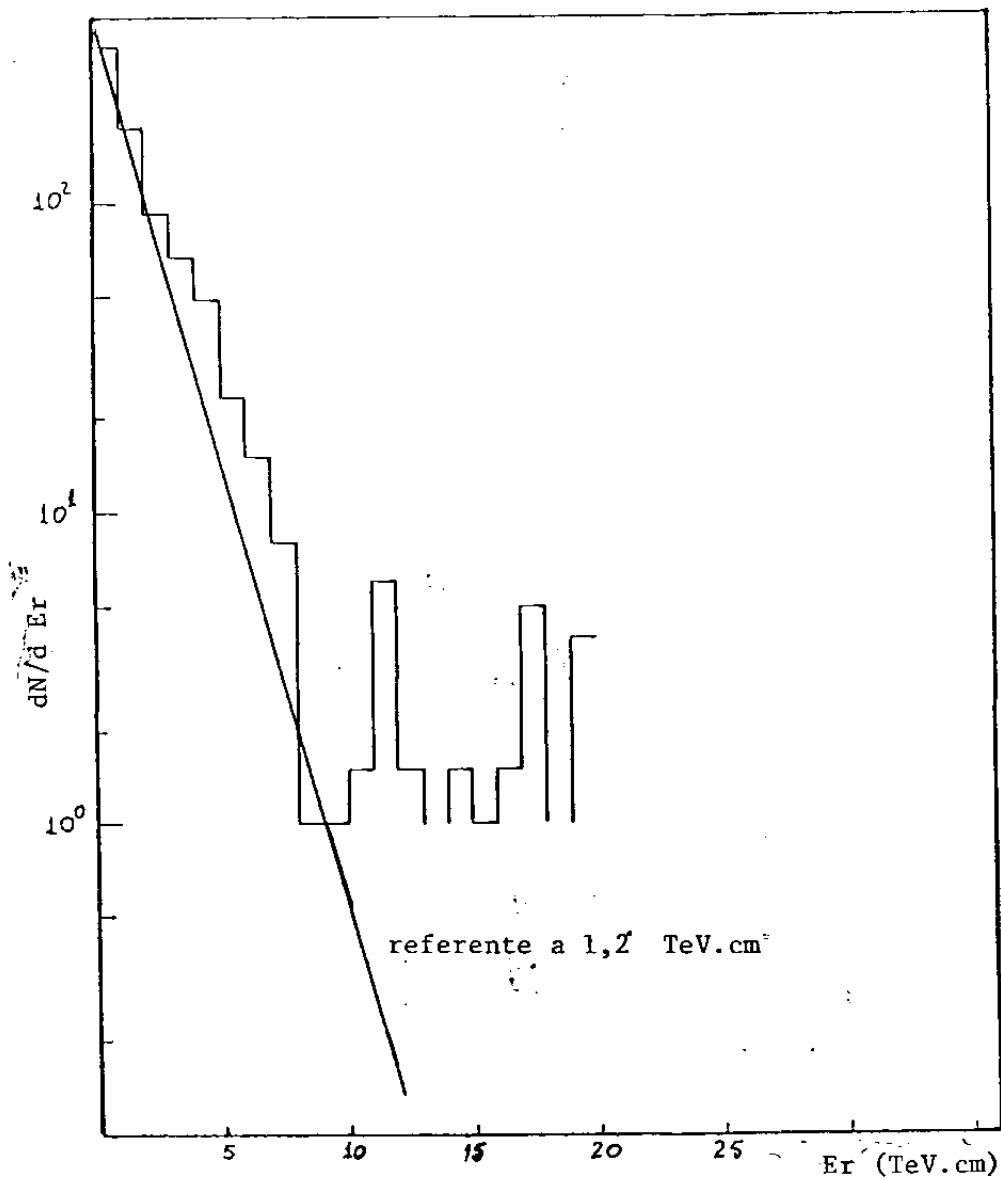


fig. A7 - Distribuição de E_r obtida sobrepondo as cascatas eletromagnéticas geradas a partir de gamas.

REFERÊNCIAS

[1] - WILSON, R. R. -

" Monte Carlo Study of Shower Production "

Phys. Rev., **86**, 261 (1952)

[2] - ADACHI, A. ; FUJIMOTO, Y. ; OGITA, N. ; TAKAGI, S. and
UEDA, A.

" A Monte Carlo Analysis of Electromagnetic Cascade
Showers "

Suppl. Prog. of Theor. Phys., **32**, 154 (1964)

[3] - FUJIMOTO, Y. ; HASEGAWA, S. ; KASAHARA, K. ; OGITA, N. ;
OSAWA, A. and SHIBATA, T.

" Monte Carlo Simulation on Propagation of Cosmic-Rays
in the Atmosphere "

Suppl. Prog. of Theor. Phys., **42**, 246 (1971)

[4] - SEMBA, H.

" Gross Features of Nuclear Interactions around 10^{15}
eV through Observation of Gamma Ray Families "

Suppl. Prog. of Theor. Phys., **76**, 111 (1981)

[5] - ROSSI, B. ; GREISEN, K.

" Cosmic-Ray Theory "

Rev. Mod. Phys., **13**, 240 (1941)

[6] - ROSSI, B.

" High Energy Particles ", apendix VI, p. 544

[7] - TSAI, Yung-Su

Rev. Mod. Phys., 46, 815 (1974)

[8]

.1- Review of Particle Properties

Particle Data Group

Rev. Mod. Phys., 56, nº 2 Part II (1984)

.2- CASSIDY, G. L. ; CADDY, R. ; ELBERT, J. ; LOH, E. ;
SOKOLSKY, P. ; STECK, D. and YE, M.

" Preliminary Fly's Eye Results "

Workshops

Cosmic Ray Interactions High Energy Results

La Paz/ Rio de Janeiro, p. 350 (1982)

.4- WOLFANDALE, A. W.

Rep. on Prog. in Phys., 47, 655(1984)

.5- HARA, T. et al (AKENO)

" The inelastic cross-section of p-air collisions
in the betwen 10^{15} and 10^{18} eV "

18th ICRC, Bangalore, 1983, v.11, p. 354

[9] - STANEV, T. ; VANKOV, Ch. ; STREITMATER, R.E. ; ELLSWORTH, R. W. and BOWEN, T.

" Development of ultrahigh-energy electromagnetic cascades in water and lead including the Landau-Pomeranchuk-Migdal effect ".

Phys. Rev. D25, 1291 (1982)

[11]- KANEVSKY, B. L. ; MIKHAILOVA, I.A. ; RAKOBOLSKAYA, I.V. and SVESHNICOVA, L.G.

" Estimation of the Total Inelasticity Coefficient in Interaction of ≥ 20 TeV Hadrons with Lead ".

19th ICRC, La Jolla, USA, p. 31 (1985)

[12]- DANILOVA, T. V. and ERLYKIN, A. D.

" The Method for Study of the Inelastic Cross-section for High Energy Protons by means of Shower arrays with the large calorimetric area ".

19th ICRC, La Jolla, USA, p. 35 (1985)

[13]- Pamir Collaboration

" On a possibility of Inelasticity Partial Coefficient K determination in C and Pb interactions at 10^{14} eV (Experiment "PAMIR I") ".

19th ICRC, La Jolla, USA, p. 39 (1985)

[14]- SATO, Y. ; YANAGITA, T. and OGITA, N.

* Computer Simulation of a Fire-Ball *.

Suppl. Prog. Theor. Phys., 4Z, 214 (1971)

.2- JONES, L.W.

Workshops

La Paz/ Rio de Janeiro, p. 1, (1982)

[15]- GAISSER, T.K. ; SHIBATA, M. and WROTONIAK, J.A.

* Comparison of Monte Carlo Simulations concerning
Gamma Families in the Atmosphere *.

Workshops

Cosmic Ray Interactions High Energy Results

La Paz / Rio de Janeiro, p. 305 (1982)

[16]- BALLESTER SANTOS, M.C. and TURTELLI Jr, A.

* H-Quantum Simulation of the High Energy Nuclear
Interaction detected by Chacaltaya Emulsion Cham-
ber *.

16 th International Conference oof Cosmic-Rays,
Kioto, V.6, 274 (1979)

[17]- WATAGHIN, G.

Proc. Symp. Cosmic-Rays (Academia Brasileira de
Ciência), 1941

[18]- TOPICS ON COSMIC-Rays

60th anniversary of C.M.G. LATTES, V.1, 1985

[19]- LATTES, C.M.G. , OCCHIALINI, G.P.S. and POWELL, C.F.

"Observations on the tracks of slow mesons in photographic emulsions"

Nature, 160, 453 (1947)

[20]- BALLESTER SANTOS, M. C. et al

17th ICRC, Paris, V.11, p.163 (1981)

Agradecimentos

Somos gratos aos profs. Drs. José Augusto Chinellato, Carola Dobrigkeit Chinellato e Edison H. Shibuya pelas sugestões e críticas ao manuscrito.