



**Rafael Silva Coutinho**

**Estudo do Decaimento  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^\pm \pi^\mp$  no  
Experimento LHCb**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Física do Departamento de Física da PUC-Rio

Orientador: Prof. Carla Göbel Burlamaqui de Mello

Rio de Janeiro  
Março de 2011



**Rafael Silva Coutinho**

**Estudo do Decaimento  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^\pm \pi^\mp$  no  
Experimento LHCb**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Física do Departamento de Física do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Carla Göbel Burlamaqui de Mello**

Orientador

Departamento de Física — PUC-Rio

**Prof. Bruno El-Bennich**

Universidade Cruzeiro do Sul - UNICSUL

**Prof. João R. T. de Mello Neto**

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

**Prof. Hiroshi Nunokawa**

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 22 de Março de 2011

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

### Rafael Silva Coutinho

Graduou-se em Bacharelado em Física na Pontifícia Universidade Católica – PUC-Rio em 2008. Atualmente é professor horista da PUC-Rio e ingressará no Ph.D. em Warwick a partir de outubro deste ano.

#### Ficha Catalográfica

Coutinho, Rafael Silva

Estudo do Decaimento  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^\pm \pi^\mp$  no Experimento LHCb / Rafael Silva Coutinho; orientador: Carla Göbel Burlamaqui de Mello. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Física, 2011.

v., 134 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. Física Hadrônica. 3. Violação de Carga-Paridade. 4. Dalitz Plot. I. de Mello, Carla Göbel Burlamaqui. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Física. III. Título.

CDD: 510

## Agradecimentos

Aos 15 anos, cheio de “porquês” em relação à ciência, me deparei com um livro que me influenciou diretamente a trabalhar com a Física de Partículas. Nele, eram descritos grandes físicos que foram determinantes no curso da ciência. Dizia-se que cada um deles atingiu seus objetivos ao se debruçar sobre os ombros dos gigantes. Ao olhar para trás e perceber o pequeno porém significativo conhecimento alcançado, percebo que só foi possível chegar a este ponto pois tive o apoio e ajuda incondicional de inúmeras pessoas, tanto para escalar estas alturas, como me sustentar nos ombros de gigantes. Neste espaço, gostaria de agradecer a todas estas pessoas, que fizeram parte deste amadurecimento pessoal e profissional.

Quando entrei pela primeira vez na sala 664L em busca de uma opção de iniciação científica, tive certeza de ter encontrado algo único. Tive sorte. Não só encontrei uma área estimulante, como também a melhor orientadora que eu poderia sonhar. Agradeço à Carla, nestes mais de cinco anos, por ter aprendido lições incomensuráveis sobre como ser um bom pesquisador, íntegro e honesto. Um exemplo. Pelos ensinamentos do mais simples ao mais complexo, sempre de forma atenciosa e prestativa. Agradeço às inúmeras horas gastas com discussões que definiram a minha forma de ver a física e o mundo, uma oportunidade única que tive. Lições que carregarei sempre comigo. Em particular, à compreensão pela minha incapacidade de escrever no gênero correto e pelas inúmeras perguntas triviais.

Aos meus pais por serem os parâmetros invariantes da minha vida. Neles eu encontrei o apoio, a direção e a sustentação para alcançar tudo que almejei. Pelo amor incondicional. Pelo exemplo.

Ao meu irmão, por ter se tornado um dos meus mais queridos amigos e por sempre me afastar dos estudos ao tentar me desafiar no Bomba Patch.

À minha avó Dulce, por ser a pessoa mais simples e verdadeira que alguém possa imaginar. Ao meu avô Iracy (em memória) pelos valores ensinados que sempre carregarei. Aos meus avós Tharcísio e Conceição, por estabelecerem meus padrões de família. A todos meus tios e primos que sempre acompanharam e me estimularam em meus objetivos. Ao meu sogro e minha sogra, pelo apoio e por sempre confiarem em mim.

À minha noiva Marianna. Por ter me apoiado em todos os momentos, me proporcionando tranquilidade e incentivo nas horas difíceis, e pelo amor e alegria quando me faltavam incentivos para lutar. Por outro lado, pela compreensão pelas corriqueiras desculpas de falta de tempo, pelos fins de semanas ausentes e por me dar a coragem para enfrentar meus maiores desafios. Por ter nunca deixado de acreditar que daria certo.

Ao meu cachorro Vascão, por ter sido o mais fiel dos amigos.

Aos amigos do Cavernão: Eric, Mary, Renato, Gabriel, Marco, Kelly, Vanessa, Mary, Fábio Marinho, Leila, César. Agradeço também às divertidas lendas do departamento contadas pelo Lucas, e pela sempre constante ajuda com a escrita. Ao André, que embora tenhamos nos conhecido há pouco tempo, sempre vibrou com minhas conquistas como se fossem dele. Em especial, gostaria de agradecer ao Rafael e à Paula, que me acompanharam desde a Graduação nos grandes obstáculos que enfrentamos. Ao Rafael pela amizade, e inúmeras discussões filosóficas e triviais que modificaram minha forma de ver ao mundo. À Paula pela inúmeras ajudas com a programação e por sempre estar disposta a ouvir meus relatos sobre mangá.

Aos meus amigos de infância, especialmente ao Pedrinho, Marquinhos, Heitor, Rômulo, Vanessa, Ludmila, Elis, Raoni, Massa, Daniel, But e Mateus, por terem feito de mim quem eu sou.

Ao meu primo Fábio pela amizade, companheirismo e ensinamentos musicais. Ao Jordan e à Ana, pela amizade e por estarem presentes em minhas conquistas.

Aos amigos da Graduação, que me proporcionaram momentos inesquecíveis, em particular ao Cubango, Oliver, Gaipi, Coração de Mãe, Jesus e Topo.

A todo o grupo de pesquisa do CBPF. Ao Ignacio pela confiança e oportunidades dadas. À Jussara por toda a atenção e o bom ambiente de trabalho. Agradeço em especial ao Álvaro, pela imensa ajuda ao longo do Mestrado com as inúmeras dúvidas respondidas, sempre de maneira simples e atenciosa. Ao Massa e Alberto por sempre se interessarem no meu trabalho.

A todo o grupo da UFRJ, que sempre acompanharam e me ajudaram no desenvolvimento desta dissertação: Leandro, Miriam, Érica, Sandra, Juan, Fernando, Bruno e Daniel.

A todos da Colaboração do LHCb que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

Aos professores do Departamento de Física da PUC-Rio, principalmente ao Sigaud, Cremona, Anda, Guta, Prioli e Hiroshi.

Ao CNPq e à FAPERJ pelas bolsas de estudo concedidas.

À Coordenação Central de Pós-Graduação da PUC-Rio pelo suporte financeiro.

E, finalmente, à Henrique Ferreira Monteiro, Luís Antônio Rodrigues, José Alexandre de Avelar Rodrigues e Manuel Teixeira de Sousa Júnior, por terem fundado o C.R. Vasco da Gama, pois sem eles não haveria razão de existir.

## Resumo

Coutinho, Rafael Silva; de Mello, Carla Göbel Burlamaqui. **Estudo do Decaimento  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^\pm \pi^\mp$  no Experimento LHCb**. Rio de Janeiro, 2011. 134p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

No início de 2010, o tão esperado Large Hadron Collider (LHC) começou a tomar dados para colisões próton-próton com uma energia de 7 TeV no centro de massa. Um dos seus quatro experimentos, o LHCb, tem como um de seus principais objetivos estudar o efeito de violação de Carga-Paridade (CP) em decaimentos do méson B - processo este relacionado à assimetria matéria antimatéria observada no Universo. Esta dissertação tem como objetivo estudar o decaimento  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^\pm \pi^\mp$  no LHCb, um promissor canal para verificação deste fenômeno. Descrevemos todas as etapas que antecedem a seleção de nossa amostra de dados, como também a metodologia de sua análise - a saber, os critérios que otimizem nossa seleção com base em estudos de Monte Carlo. Com a obtenção dos dados de 2010, correspondendo a  $34 \text{ pb}^{-1}$ , validamos nossos estudos e apresentamos o primeiro sinal do decaimento do méson B em três corpos no LHCb, havendo encontrado  $832 \pm 35$  eventos de  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^\pm \pi^\mp$ . Estudamos a aplicabilidade do método conhecido como Anisotropia do Dalitz plot, que busca estabelecer evidências de violação de CP no espaço de fase do decaimento de três corpos. Como esperado para a estatística alcançada neste ano, não foi possível observar sinais de anisotropia. Entretanto, estima-se que com a luminosidade de  $1 \text{ fb}^{-1}$ , valor que deve ser alcançado ao fim de 2011, a amostra terá eventos suficientes para confirmar violação de CP neste canal.

## Palavras-chave

Física Hadrônica; Violação de Carga-Paridade; Dalitz Plot;

## Abstract

Coutinho, Rafael Silva; de Mello, Carla Göbel Burlamaqui (Advisor). **Study of  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^\pm \pi^\mp$  decay in the LHCb Experiment.** Rio de Janeiro, 2011. 134p. MSc. Dissertation — Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In the beginning of 2010, the Large Hadron Collider (LHC) has started to take data from proton-proton collisions at the center of mass of 7 TeV. One of its four experiment, the LHCb, is dedicated to study the effects of Charge Parity (CP) Violation in B meson decays – process related to the observed matter-antimatter asymmetry in the Universe. This dissertation is dedicated to study the  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^\pm \pi^\mp$  decay in the LHCb, a promising channel to verify this phenomenon. We describe all the stages that precede the selection of our data sample, as well as the methodology of the analysis - the criteria which optimize our selection based on studies of Monte Carlo. With the collection of the 2010 data corresponding to  $34 \text{ pb}^{-1}$ , we validated our studies and presented the first signal of B meson decay into three bodies in the LHCb, finding  $832 \pm 35$  events of  $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^\pm \pi^\mp$ . We have studied the applicability of the method named Anisotropy of Dalitz plot, which searches for traces of CP violation in the three body phase space. As expected for the statistics of this year, it was not possible to observe signs of anisotropy. Nonetheless, we have estimated that with the luminosity of  $1 \text{ fb}^{-1}$ , value that must be reached by the end of 2011, there will be available statistics enough to establish the CP violation in this channel.

## Keywords

Hadron Physics; CP Violation; Dalitz Plot;

# Sumário

1	Introdução	16
2	Violação de Carga Paridade	19
2.1	Simetrias C, P e T	19
2.2	Tipos de Violação de CP	20
2.3	Violação de CP no Modelo Padrão (SM)	24
2.4	Matriz CKM	25
2.5	Medidas de Fases Fracas	28
3	O Decaimento $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$	31
3.1	Características Básicas	31
3.2	Predições Teóricas para o decaimento $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$	34
3.3	Cinemática de um decaimento em três corpos	39
3.4	Medida de Violação de CP Modelo Dependente	42
3.5	Medida de Violação de CP pela Anisotropia de Dalitz Plot	46
3.6	Resultados Experimentais	51
3.7	Considerações finais	54
4	O experimento LHCb	56
4.1	Introdução	56
4.2	O Grande Colisor de Hádrons	58
4.3	O Experimento LHCb	60
4.4	Sistema de Trajetórias	64
4.5	Sistema de Identificação de Partículas	68
4.6	Trigger	73
5	Condições de Tomada de Dados de 2010	75
5.1	Condições de Feixe	75
5.2	Definições de Trigger	76
5.3	Performance do Detetor	84
6	Seleção do canal $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^\pm \pi^\mp$ .	87
6.1	Simulação de dados no LHCb	87
6.2	Amostras de Monte Carlo	89
6.3	Critérios de Cortes	89
6.4	Efeitos de Reconstrução e Trigger no Dalitz Plot	92
6.5	Seleção inclusiva StrippingBu2hh para o canal $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^\pm \pi^\mp$	96
6.6	Resultados para StrippingBu2hhh Dados 2010	101
7	Anisotropia no Dalitz Plot	113
7.1	Estudo da Anisotropia no DP via Monte Carlo	113
7.2	Efeitos de Assimetrias de Produção, Detecção e Seleção no Monte Carlo	118
7.3	Estimativas para identificação de Violação de CP pelo método Mirandizing	122
7.4	Estudo Preliminar da Anisotropia do Dalitz plot nos dados de 2010	123



7.5	Considerações Finais	125
8	Conclusões	127
	Referências Bibliográficas	130

## Lista de figuras

- 2.1 O Triângulo Unitário e o triângulo da equação 2-35 representados no plano complexo com seus lados normalizados a  $V_{cd}V_{cb}^*$  escritos com relação aos termos da CKM e de  $\lambda$ . 28
- 3.1 Diagramas de Feynman para o decaimento  $B^+ \rightarrow K^+\pi^+\pi^-$  não ressonante. Na figura (a) e (b) temos um diagrama tipo tree com emissão externa de um  $W^+$  e em (b) um tipo pinguim com uma emissão externa de um glúon. Na figura (c) e (d) encontramos o diagrama de aniquilação e de troca de W. 32
- 3.2 Diagramas para o decaimento  $B^\pm \rightarrow \rho^0(770)K^\pm$  e  $B^\pm \rightarrow K^{*0}(892)\pi^\pm$ . Na figura (a) temos a contribuição tree com emissão externa da ressonância  $\rho^0$  e em (b) o diagrama pinguim. A figura (c) indica a contribuição pinguim da ressonância  $K^{*0}(892)$ , em que este seria a única contribuição em primeira ordem para o processo. 33
- 3.3 Limites do Dalitz Plot em relação as condições cinemáticas de massa e de configurações de momento. 41
- 3.4 Simulações para a distribuição não ressonante e algumas das possíveis ressonâncias para o canal  $B^\pm \rightarrow K^\pm\pi^+\pi^-$ . As amplitudes representadas são respectivamente: Não ressonante,  $K^{*0}(892)\pi^\pm$ ,  $\rho^0(770)K^\pm$ ,  $f^0(980)K^\pm$ ,  $\chi_{c0}K^\pm$  e  $K_0^*(1430)\pi^\pm$ . 44
- 3.5 Simulação para a diferença de fases igual a 0,  $\pi/2$ ,  $\pi$  e  $3\pi/2$  para as ressonâncias  $K^{*0}\pi^+$  e  $\rho^0K^+$ . 45
- 3.6 Significância  $^{DP}\mathcal{S}_{CP}$  para uma amostra considerando apenas flutuações estatísticas (esquerda) e o ajuste em uma dimensão dessa distribuição (direita). Note que a distribuição é bem ajustada por uma gaussiana de largura 1 e centrada em zero. Retirada da referência [40]. 48
- 3.7 Significância  $^{DP}\mathcal{S}_{CP}$  para uma amostra contendo  $3 \times 10^{-3}$  de assimetria, com os parâmetros descritos na tabela 3.2. Note que não é mais possível ajustar com uma gaussiana de largura 1 e centrada em zero. Retirado da referência [40] 49
- 3.8 Dalitz plot para  $B^+ \rightarrow K^+\pi^+\pi^-$  dividido em quatro regiões. 49
- 3.9 Resultado da aplicação do “Mirandizing” para as quatro regiões de interesse. 50
- 3.10 Dalitz Plot da amostra de eventos para  $B^\pm \rightarrow K^\pm\pi^\pm\pi^\mp$  coletados no experimento BaBar. 53
- 3.11 Projeção das massas invariantes na região de sinal. Neste caso para  $K\pi$  o espectro esta ilustrado até  $1.7\text{GeV}/c^2$  e para  $\pi\pi$  até  $1.6\text{GeV}/c^2$ . Os pontos em preto representam os dados, os histogramas em vermelho representam componentes  $q\bar{a}$ , em verde contribuições de background  $B\bar{B}$  e a curva de azul o resultado do ajuste. 53
- 4.1 Imagem ilustrativa do anel de colisão LHC entre a fronteira da Suíça com a França, com destaque para os quatro pontos de interação. 58

4.2	Vista esquemática do complexo de aceleradores do CERN.	59
4.3	Na figura (a) estão dispostos os diagramas de Feynman descritos no texto para a produção do par $b\bar{b}$ no LHCb. De cima para baixo, temos a aniquilação $q\bar{q}$ , separação de glúons e fusão de glúons. A figura (b) ilustra a simulação da correlação polar entre o par $b\bar{b}$ produzidos na colisão p-p no LHCb.	61
4.4	Visão lateral do espectrômetro do LHCb. O sistema de coordenada do LHCb é destro com o sentido da colisão sendo para z positivo.	62
4.5	Probabilidade de colisão p-p em função da luminosidade considerando a seção de choque igual a 80mb.	63
4.6	A imagem à esquerda representa a disposição dos módulos do VELO no LHCb. À direita estão os sensores $R$ e $\phi$ , e sua composição no módulo.	64
4.7	As quatro camadas de TT estão representado na figura. As duas camadas internas estão rotacionadas de $\pm 5^\circ$ como descrito no texto.	65
4.8	Esquema do sistema de traços do LHCb. À direita uma visão de trás do detetor IT e OT com um suporte que permite movimentação em relação ao feixe.	66
4.9	Visão esquemática do Magneto do LHCb.	67
4.10	Esquema dos vários traços do LHCb, além da informação do campo magnético em função de z. Na direita estão exemplos de um evento reconstruído lateralmente e de frente.	68
4.11	Representação lateral do detetor RICH 1(esquerda) e RICH 2 (direita).	69
4.12	Distribuição do ângulo de Cherenkov em função do momento para os radiadores do RICH 1 e 2. Note que temos uma boa separação $\pi/K$ para baixo momento com o Aerogel e $C_4F_{10}$ e para alto momento com $CF_4$ , o que justifica a escolha dos radiadores para respectivamente o RICH 1 e RICH 2.	70
4.13	Representação lateral do sistema de detecção do múon, com as separações de M1-M5 e R1-R4.	72
4.14	Representação do comportamento das diversas partículas ao passarem pelo detetor.	73
4.15	Representação dos componentes do L0, com a indicação do número de canais.	74
5.1	Número médio de interações ao longo do ano de tomada de dados.	76
5.2	Luminosidade acumulado do Run 2010 e entregue para as análises.	77
5.3	Eficiência para os diversos subdetetores neste primeiro ano de tomada de dados.	85
5.4	Resolução de IP no eixo x (esquerda) e y (direita) em função do inverso do momento transversal. O valor de $\sigma$ foi calculado com o ajuste de uma gaussiana da distribuição do resíduo de IP em bins de $1/p_T$ .	85
5.5	Resolução para IT (esquerda) e TT (direita) para este ano de tomada de dados. Note que existe uma excelente concordância com o esperado pela simulação.	86

5.6	Comparação da identificação pelo RICH de $K/\pi$ , em termos de eficiência em função do momento. Na distribuição à esquerda temos o resultado dos dados que estão em concordância com o esperado pela simulação	86
6.1	Sequência para simulação e tomada de dados pelo LHCb.	88
6.2	Topologia do decaimento $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$ com suas principais características definidas.	90
6.3	Dalitz Plot para o canal $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$ considerando apenas os efeitos da reconstrução. As deformações nas suas bordas são decorrentes da ineficiência do LHCb em reconstruir traços de baixo momento.	93
6.4	Divisão do Dalitz Plot aplicando-se a decisão $L0Hadron$ para um dado TCK pela superfície resultante da reconstrução.	94
6.5	Divisão do Dalitz Plot aplicando-se a decisão $HLT1TrackAllL0$ pela decisão do $L0$	95
6.6	Efeito do Trigger Topológico no sinal do nosso candidato. Na primeira figura temos o efeito exclusivamente da linha de 3 corpos. Na segunda figura os eventos que são recuperados pela linha de 2. E por fim se pedirmos as duas linhas como verdadeiras no trigger.	96
6.7	Distribuição de massa para os seis canais na $StrippingBu2hhh$ . Seguindo da esquerda para a direita temos $B^\pm \rightarrow p\bar{p}K^\pm$ , $B^\pm \rightarrow p\bar{p}\pi^\pm$ , $B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ K^-$ , $B^\pm \rightarrow K^\pm K^+ \pi^-$ , $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^+ \pi^-$ e $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$ , como hipóteses de massa $B^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^+ \pi^-$ . As distribuições estão normalizadas pelas suas taxas de decaimento.	97
6.8	Distribuição das variáveis utilizadas na $StrippingBu2hhh$ . As linhas em azul representam o comportamento do sinal enquanto que a linha vermelha o minbias.	100
6.9	Distribuição de $\Delta \ln \mathcal{L}(K - \pi)$ para o káon e o pión. Em azul está representado o comportamento do sinal e a distribuição em vermelho o minbias.	101
6.10	Aceptância do nosso sinal após cortes da $StrippingBu2hhh$ dividida pela da saída do $HLT2$ .	101
6.11	Histograma com a medida de tempo tomado para analisar cada evento na escala logarítma.	102
6.12	A figura à esquerda ilustra a saída da Stripping aplicando corte de Tight Káon e Pión, enquanto que na direita requeremos "TOS" de $L0HadronDecision$ e $Hlt1TrackAllL0Decision$ ou de Hádron único/duplo.	103
6.13	Distribuições das variáveis utilizadas na seleção final. As linhas em hachuradas em verde representam o comportamento do sinal, enquanto as em vermelho das wings.	106
6.14	Espectro de massa para o canal $B^\pm \rightarrow K^\pm \pi^\pm \pi^\mp$ após a primeira etapa da Seleção Final.	106
6.15	Dalitz Plot após a seleção offline e aplicação do Trigger.	107
6.16	Distribuição de $\bar{D}^0$ na massa invariante $K^+ \pi^-$ após a primeira etapa da Seleção Final.	108
6.17	Distribuição de $J/\psi$ e $\psi(2S)$ na massa invariante $\pi^+ \pi^-$ após a primeira etapa da Seleção Final.	109

6.18	Distribuição da massa final da seleção para $K^\pm\pi^+\pi^-$ .	109
6.19	Dalitz Plot após a seleção final, na região de massa $5.22 < m_{K\pi\pi} < 5.35$ GeV.	110
7.1	Resultado da aplicação do $^{DP}\mathcal{S}_{CP}$ do tipo I e II em duas amostras com a mesma quantidade de eventos, considerando apenas o decaimento não ressonante do canal $B^\pm \rightarrow K^\pm\pi^\pm\pi^\mp$ .	114
7.2	Simulações para diferentes cenários de assimetria de produção, em especial para 1%, 3% e 5%. As figuras à esquerda representam o efeito da assimetria com o fator de correção $\alpha = 1$ , enquanto à direita suas correções correspondentes.	115
7.3	Simulações incluindo as ressonâncias com os parâmetros baseados na referência [40], não inserindo violação de CP. As figuras representam o efeito da correção de produção de uma quantidade 1%, 3% e 5%, inferior de $B^-$ a $B^+$ .	116
7.4	Simulações incluindo violação de CP dado pela referência [40]. As figuras à esquerda representam os efeitos de produção de 2%, 3% e 5% e à direita seus respectivos fatores de correção.	117
7.5	Distribuições de massa para para o decaimento $B^+ \rightarrow K^+\pi^+\pi^-$ e seu conjugado após as etapas do Trigger e Stripping no Monte Carlo do LHCb.	118
7.6	Resultado da aplicação do método “Mirandizing” nos eventos selecionados da simulação.	118
7.7	As figuras ilustram as seções de choque para $K^-p$ e $K^+p$ . Na figura do alto apresentamos a seção de choque total e elástica para $K^-$ , enquanto que a figura inferior para $K^+$ . Note que temos valores maiores para $K^-$ até 100GeV, o que em seguida entra em concordância. Figura retirada do PDG [20]	120
7.8	Resultados para diferentes faixas de momento para a assimetria de $K^+$ e $K^-$ no Monte Carlo do LHCb.	121
7.9	Resultado da aplicação do “Mirandizing” para diferentes estatísticas: 350, 800, 1000, 5000, 10K, 50K, 100K e 500K. Note que claramente a partir de 10K a 50K eventos já se observa assimetria global.	124
7.10	A figura à esquerda representa o resultado de $^{DP}\mathcal{S}_{CP}$ para o tipo I e à direita para o tipo II, nos dados coletados para o canal $B^\pm \rightarrow K^\pm\pi^+\pi^-$ . Note que fixamos a largura em 1 e o centro em zero para que possamos caracterizar nossa amostra.	125

## Lista de tabelas

3.1	Assimetria para o canal intermediário $B^\pm \rightarrow \rho^0 K^\pm$ dado por diferentes métodos teóricos.	38
3.2	Valores de $\alpha$ e $\delta$ utilizados em [40]. Neste caso a única fonte genuína de Violação de CP ocorre devido a diferença de fase de $\rho(770)$ para os canais positivo e negativo.	48
3.3	Resultados para a fração de ajuste, $A_{CP}$ e a significância estatística de violação de CP direta para os resultados do BaBar.	54
5.1	Valores utilizados para a decisão $L0Hadron$ em três cenários de TCK's	77
5.2	Valores utilizados para seleção do candidato na etapa de Confirmação do $L0$ .	79
5.3	Valores de cortes utilizados na decisão do Trigger de hádron único como descrito no texto.	80
5.4	Valores de Cortes utilizados na decisão do Trigger de hádron duplo como descrito no texto.	80
5.5	Valores de cortes utilizados na decisão de trigger $HLT1TrackAllL0$	81
5.6	Valores de cortes utilizados na linha de Trigger Topológico.	84
6.1	Valores de cortes utilizados na seleção da $StrippingBu2hhh$	99
6.2	Valores de cortes utilizados na seleção Offline.	105
6.3	Valores de cortes utilizados na seleção da Stripping	110
6.4	Número de eventos esperados pelo Monte Carlo e encontrados nos dados.	111
7.1	Sumário dos resultados para as interações do $K^+$ e $K^-$ com o material simulado. Tabela retirada da referência [79].	121
7.2	Resultados para assimetria de Monte Carlo em função da polaridade do magneto do LHCb.	122
7.3	Parâmetros retirados da referência [42] que foram utilizados na simulação. Os ângulos listados estão em radianos.	123

*It is the most persistent and greatest adventure in human history, this search to understand the universe, how it works and where it came from. It is difficult to imagine that a handful of residents of a small planet circling an insignificant star in a small galaxy have as their aim a complete understanding of the entire universe, a small speck of creation truly believing it is capable of comprehending the whole*

*Murray Gell-Mann, em John Boslough's  
Stephen Hawking's Universe*