

# JORNADA ACADÊMICA CIENTÍFICA

2023 



Centro Brasileiro  
de Pesquisas Físicas

MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÃO



**JORNADA ACADÊMICA CIENTÍFICA**  
**CBPF DE 22 A 24 DE NOVEMBRO DE 2023**



## **COMITÊ ORGANIZADOR**

*Fernanda Costa de Medeiros*

*Luiza Mayara Santos Miranda*

*Munike Eva Paiva de Araujo Monteiro de Barros*

*Rodrigo Torrão*

## **COORDENAÇÃO DE FORMAÇÃO CIENTÍFICA**

*Elisabete Vicente de Souza*

*Larissa Amaral da Silva*

## **COORDENADORES DA PÓS GRADUAÇÃO**

*Roberto Sarthour*

*Felipe Tovar Falcino*

## **DIRETOR DO CBPF**

*Márcio Portes de Albuquerque*

## **MINISTRA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

*Luciana Barbosa de Oliveira Santos*

## **APRESENTAÇÃO**

**A Jornada Acadêmica Científica do CBPF**, organizada pela Associação dos Pós-Graduandos (APG) juntamente com a Coordenação de Formação Científica (COEDU), é um dos momentos mais relevantes do ano acadêmico que proporciona a interação entre alunos de pós-graduação e a comunidade científica. Nesta publicação os alunos do 3º ao 7º período de doutorado apresentaram resumos desses trabalhos. O evento é um excelente momento para discutir novas ideias e promover um auxílio na continuação da pesquisa.

Gostaríamos de agradecer à Coordenação de Formação Científica (COEDU) e ao Comitê da Pós-graduação pelo esforço dedicado; à Direção do CBPF e ao Núcleo de Comunicação Social (NCS); aos funcionários, técnicos, pesquisadores e membros do CBPF. Por fim agradecemos as agências de fomento CAPES, FAPERJ e CNPq pelo apoio à ciência.

**ÍNDICE**

<b>ALAN DE GOIS CESAR.....</b>	<b>6</b>
<b>ANDRÉ CARLOS PEÇANHA LIMA.....</b>	<b>8</b>
<b>ARTHUR CÂMARA MESQUITA.....</b>	<b>9</b>
<b>ARTHUR CHIANELLI MONTEIRO REBELHO .....</b>	<b>10</b>
<b>BERNARDO FRANÇA DE AGUIAR .....</b>	<b>11</b>
<b>ELDUES OLIVEIRA MARTINS .....</b>	<b>12</b>
<b>GABRIEL DA SILVA MOREIRA TEIXEIRA .....</b>	<b>13</b>
<b>GUSTAVO OLEGÁRIO HEYMANS.....</b>	<b>14</b>
<b>JOÃO PAULO CORREIA DE FRANÇA .....</b>	<b>15</b>
<b>JOÃO PAULO DA SILVA MELO .....</b>	<b>16</b>
<b>LAIS DOS ANJOS DE JESUS SILVA .....</b>	<b>17</b>
<b>LEONARDO SANTORO DE OLIVEIRA.....</b>	<b>18</b>
<b>LUIZA MAYARA SANTOS MIRANDA.....</b>	<b>19</b>
<b>MARCO ANTONIO GUIMARÃES AUAD BARROCA.....</b>	<b>20</b>
<b>MARCO VINICIUS RIBEIRO LOPES DA SILVA .....</b>	<b>21</b>
<b>MARCO BENICIO DE ANDRADE ALONSO.....</b>	<b>22</b>
<b>MARIANA SOEIRO .....</b>	<b>23</b>
<b>MATHEUS CURADO FERREIRA.....</b>	<b>25</b>
<b>MATHEUS SALES LACERDA.....</b>	<b>27</b>

<b>NINA MACHADO O'NEILL.....</b>	<b>29</b>
<b>PABLO RIBEIRO ALVES DE OLIVEIRA .....</b>	<b>30</b>
<b>RODRIGO FERREIRA PINHEIRO .....</b>	<b>31</b>
<b>RODRIGO GALHARDO RANA .....</b>	<b>32</b>
<b>THALES MENEZES DE OLIVEIRA .....</b>	<b>33</b>
<b>ULISSES DE FREITAS CARNEIRO DA GRAÇA .....</b>	<b>35</b>
<b>WIDERVAN DE DEUS MORAIS .....</b>	<b>37</b>
<b>LUCAS NICHOLAS FALCÃO FERREIRA .....</b>	<b>38</b>

**ALAN DE GOIS CESAR**  
**MARIO NOVELLO - ORIENTADOR**

### **O método de equações quasi-maxwellianas aplicado em teoria de perturbações cosmológicas**

A relatividade geral é utilizada como ferramenta para descrever fenômenos gravitacionais e cosmológicos desde o início do século XX com a sua formulação por Einstein em 1915. O formalismo é baseado em um conjunto de equações diferenciais de segunda ordem que relacionam a geometria do espaço-tempo com uma fonte de energia descrita através de um tensor de momentum energia, esta formulação é chamada de “frame” de Einstein. Dentro desta perspectiva é possível estudar, particularmente, a evolução de perturbações (escalares, vetoriais e tensoriais) na perspectiva cosmológica, no entanto, devido a invariância da notação tensorial sobre mudança de coordenadas, não é trivial diferenciar uma perturbação verdadeira de uma simples mudança de coordenadas, dificuldade conhecida como problema de calibre. Tendo em vista esta construção é de interesse utilizar um “frame” diferente para analisar a evolução de perturbações em um espaço-tempo conformalmente plano, tal como o universo homogêneo e isotrópico de Friedmann-Lemaitre-Robertson-Walker. O “frame” em questão foi construído por Jordan-Ehlers-Kundt (JEK) e utiliza as identidades de Bianchi como equações de campo para as partes irredutíveis do tensor de curvatura, em particular as partes elétricas e magnéticas do tensor de Weyl. Utilizar o frame JEK para estudar perturbações em cosmologia possibilita evitar o problema de calibre completamente, uma vez que espaços conformalmente planos tem tensor de Weyl nulo, valores obtidos após uma perturbação, são necessariamente perturbações reais, como garante o Lema de Stewart. É neste ponto então que se apresentam as equações quasi-Maxwellianas, já que estas descrevem um conjunto fechado de equações para a evolução da parte elétrica e magnética do tensor de Weyl através de quatro projeções independentes de sua derivada covariante, e então, em conjunto com as

equações de evolução para cisalhamento e vetor aceleração, possibilitam construir um grupo mínimo de observáveis que descreve completamente o problema perturbativo na perspectiva cosmológica.



ANDRÉ CARLOS PEÇANHA LIMA  
MÚCIO CONTINENTINO - ORIENTADOR

### **Propriedades termoelétricas das cadeias SSH e RM ligadas a um Quantum dot**

Topological one-dimensional superconductors can sustain zero energy modes protected by different kinds of symmetries in their extremities. Observing these excitations in the form of Majorana fermions is one of the most intensive quests in condensed matter physics. We are interested in another class of one-dimensional topological systems in this work, namely topological insulators. Which present symmetry-protected end modes with robust properties and do not require the low temperatures necessary for topological superconductivity. We consider a device in the form of a single electron transistor coupled to the simplest kind of topological insulators, namely chains of atoms with hybridized  $sp$  orbitals. We study the thermoelectric properties of the device in the trivial, non-trivial topological phases and at the quantum topological transition of the chains. We show that the device's electrical conductance and the Wiedemann–Franz ratio at the topological transition have universal values at very low temperatures. The conductance and thermopower of the device with diatomic  $sp$ -chains, at their topological transition, give direct evidence of fractional charges in the system. The former has an anomalous low-temperature behavior, attaining a universal value that is a consequence of the double degeneracy of the system due to the presence of zero energy modes. On the other hand, the system can be tuned to exhibit high values of the thermoelectric figure of merit and the power factor at high temperatures.

**ARTHUR CÂMARA MESQUITA**  
**MARTIN MAKLER - ORIENTADOR**

### **É possível detectar efeitos da ótica ondulatória no lenteamento gravitacional?**

O fenômeno conhecido como femtolenteamento é gerado pelo efeito da ótica ondulatória no microlenteamento gravitacional, produzindo uma magnificação dependente da frequência de luz que poderia ser detectada em espectros de objetos astronômicos. O interesse por esse fenômeno, também conhecido como lenteamento gravitacional difrativo, cobrou forças a partir de sua aplicação para restringir a abundância de buracos negros primordiais de baixa massa que produziriam o femtolenteamento na faixa de frequências dos raios- $\gamma$ . No entanto, ao considerar o efeito de fonte finita, que destrói o femtolenteamento nos casos estudados previamente na literatura, os limites encontrados inicialmente foram descartados. Neste trabalho, expandimos o estudo do lenteamento difrativo considerando uma diversidade de escalas de distâncias, massas e tamanhos de objetos astrofísicos (lentes e fontes) e levando em conta todo o espectro eletromagnético, visando determinar se é possível detectar esse efeito com instrumentos atuais. Para isso, obtivemos resultados inéditos estabelecendo condições de detectabilidade do femtolenteamento no espectro de fontes lentesadas por buracos negros em um amplo intervalo de massas possíveis. Se formos capazes de detectar o lenteamento difrativo no espectro de uma fonte astrofísica, seria possível testar pela primeira vez o efeito da gravidade na ótica ondulatória, permitindo ir além do seu uso para o estudo da abundância de buracos negros primordiais.

**ARTHUR CHIANELLI MONTEIRO REBELHO**  
**JOÃO PAULO SINNECKER - ORIENTADOR**

**Desing, simulation and fabrication of superconduction circuits for quantum computing**

Superconducting circuits have emerged as a highly promising platform for quantum computing, but designing qubits with desirable properties requires a deep understanding of their quantum behavior. This study proposes a numerical approach to simulate microwave transmission lines coupled to superconducting qubits using the finite element method and COMSOL. By solving Maxwell's equations and quantizing the system, we determine the low-energy spectrum of the qubits, which can inform the engineering of high-performance quantum computing systems. The scalability and long coherence times offered by superconducting qubits make them a highly attractive option for advancing quantum computing research.

Keywords: cQED, Quantum Computing, Josephson Junctions, Numerical Simulations

**BERNARDO FRANÇA DE AGUIAR**  
**FELIPE TOVAR - ORIENTADOR**

### **Non-Linear Scales for DES with COLA**

Year 1 results of the Legacy Survey of Space and Time (LSST) will provide us with tighter constraints on small scale cosmology. Therefore, accurate modeling of small scales is more important than ever before. The Co-moving Lagrangian Acceleration (COLA) method, an approximate method for running N-body simulations, has gained popularity as a relatively computationally inexpensive tool for modelling cosmology at non-linear scales. In this paper, we test the feasibility of performing a weak-lensing analysis of  $\Lambda$ -CDM for LSST-Y1 using emulators trained with COLA simulations, and compare to EuclidEmulator2 (EE2) which is trained with full N-body simulations.

ELDUES OLIVEIRA MARTINS  
IVAN DOS SANTOS OLIVEIRA - ORIENTADOR

### **Aplicando Computação Quântica por Recozimento em Inversão Sísmica**

A computação quântica, juntamente com a metrologia quântica e a comunicação quântica, são tecnologias disruptivas que prometem, em um futuro próximo, impactar diferentes setores da pesquisa acadêmica e indústria. Entre os desafios computacionais com grande interesse na ciência e na indústria são os problemas de inversão. Esses tipos de procedimentos numéricos podem ser descritos como o processo de determinar a causa de um evento a partir de medições de seus efeitos. Neste artigo, aplicamos um algoritmo quântico recursivo em um computador quântico da D-Wave (annealer) (recozidor) para resolver um problema de inversão sísmica de pequena escala. Comparamos os resultados obtidos do computador quântico para aqueles derivados de um algoritmo clássico. A precisão alcançada pelo computador quântico é pelo menos tão boa quanto a do computador clássico.

GABRIEL DA SILVA MOREIRA TEIXEIRA  
CLÉCIO ROQUE DEBOM - ORIENTADOR

### **Photometric redshifts probability density estimation from Recurrent Neural Networks**

Photometric redshifts probability density estimation from Recurrent Neural Networks Extragalactic photometric wide-field surveys are imaging the sky with unprecedented details. However, one of its main challenges is the development of value added catalogues from methods that can make a fast, reliable estimation, capturing the full Probability Density Functions (PDFs) with a manageable storage in Big Data Regime. In this contribution, we explore the determination of Probability Density Functions (PDFs) for photometric redshifts of galaxies in an area of 17, 000 square degrees up to a griz magnitude of 23.5 using fast Deep Neural Networks. For this task, we evaluate a Recurrent Neural Network combined together with a Mixture Density Network (MDN) [1]. We use magnitudes and colors to obtain photometric redshifts PDFs in the DELVE WIDE survey [2] and assess the quality of the estimation. The available data corresponds to approximately 1,700,000,000 objects. It is unfeasible to store all the entire PDFs generated for each observed galaxy. To deal with that, we developed a strategy based on autoencoders [3] to compact the entire PDFs into sets of few numbers. The Autoencoder model was capable to compact the PDFs information to approximately one sixth of the original size, preserving the quality of the photo-z obtained from the MDN estimation.

[1] Bishop, Christopher M., Mixture density networks. Aston University (1994).

[2] Drlica-Wagner, A. and Ferguson, P. S. and Adamów, M. and others, The DECam Local Volume Exploration Survey Data Release 2. *ApJS* 261, 38 (2022).

[3] Baldi, Pierre, Autoencoders, Unsupervised Learning, and Deep Architectures. *Proceedings of ICML Workshop on Unsupervised and Transfer Learning* 27, 37-49 (2012).

GUSTAVO OLEGÁRIO HEYMANS  
NAMI FUX SVAITER - ORIENTADOR

### Euclidean Quantum $\lambda\varphi_{d+1}^4$ Model with Quenched Disorder - Non-locality and Euclidean Wormholes

We investigate the low-temperature behavior of a system in a spontaneously broken symmetry phase described by a Euclidean quantum  $\lambda\varphi_{d+1}^4$  model with quenched disorder. We study the effects of the disorder linearly coupled to the scalar field using a series representation for the averaged generating functional of connected correlation functions in terms of the moments of the partition function. To deal with the strongly correlated disorder in imaginary time, we employ the equivalence between the model defined in a  $d$ -dimensional space with imaginary time with the statistical field theory model defined on a space  $\mathbb{R}^d \times S^1$  with anisotropic quenched disorder. Next, using stochastic differential equations and fractional derivatives, we obtain the Fourier transform of the correlation functions of the disordered system at tree level. In one-loop approximation, we prove that there is a denumerable collection of moments of the partition function that can develop critical behavior. Our main result is that, even with the bulk in the ordered phase, there are many critical compactified lengths that take each of the moments of the partition function from an ordered to a disordered phase. This is a sign of generic scale invariance emergence in the system. Using the ideas here developed, we have propose an analog model for Euclidean Wormholes effects. Such a model awarded an honorable mention in the Gravity Foundation Essays 2023.

JOÃO PAULO CORREIA DE FRANÇA  
MARTIN MAKLER - ORIENTADOR

**Uniform modelling of 21 strong lensing systems in ground-based surveys:  
Follow-up observations and constraints on modified gravity**

Galaxy-galaxy strong lensing (SL) systems are key for testing modifications of general relativity at the few kpc scales, by probing the different effects of the metric on the motion of massless (through gravitational lensing) and nonrelativistic bodies (through the stellar velocity dispersion). Deviations from General Relativity are encoded in the post-Newtonian parameter ( $\gamma_{PPN}$ ). Despite being rare, it is estimated that wide-field surveys such as Euclid and Rubin (LSST) will discover thousands of these SL systems. Deriving their physical parameters to explore their various applications will require a systematic and semi-automatic way to carry out their SL modelling. In this work, we present a (semi-)automated modelling pipeline which iteratively derives the PSF from the images, masks nearby non-lensed sources and simultaneously derives the lens model parameters and the source light in a non-regular Voronoi grid. With this pipeline we were able to model uniformly a sample of 21 gravitational lenses in ground-based surveys including the Hyper Suprime Cam (HSC) SuGOHI sample, the Dark Energy Survey (DES), the Kilo-Degree Survey (KiDS) and the Legacy Survey. Additionally, we carried out spectroscopic follow-up observations on the SOuthern Astrophysical Research (SOAR) telescope specially aiming to measure the lens velocity dispersions. We combine the results from the SOAR data with our lens modelling to derive constraints on  $\gamma_{PPN}$ . There are the first constraints on purely from ground-based data and with a totally independent sample from other studies in the literature. These results pave the way to study the constraints on  $\gamma_{PPN}$  that could be derived from Rubin data.



JOÃO PAULO DA SILVA MELO  
JOSÉ ABDALLA HELAYEL-NETO - ORIENTADOR

**A (non-)supersymmetric electrodynamics with space-time-dependent  
asymmetry in fermion/bóson propagation**

The efforts in this contribution partly consist in building up a supersymmetric model originated from a particular kind of symmetry breakdown between the time- and space-like sectors of Dirac- fermion propagation. More specifically, we set up and pursue the investigation of a supersymmetric model in a scenario that, from the onset, displays Lorentz Symmetry Violation (LSV) described by a space-time-dependent parameter present only in the velocity term of the Dirac Hamiltonian. Implementing this scenario in superspace, we can verify how this kind of LSV in the fermionic degrees of freedom affects the charged matter scalars and the gauge sector of supersymmetric QED. To do that, we adopt the viewpoint that the supersymmetry (SUSY) algebra is preserved and, on the other hand, the LSV parameters are considered as background fields that are components of some special supermultiplet; no modification in the SUSY algebra is done. Once the SUSY invariant action following from this procedure is attained, we get the supersymmetric Lorentz-symmetry violating Klein-Gordon, Maxwell and Dirac field equations. In possess of the latter, we work out and discuss the modified bosonic and fermionic dispersion relations and identify the pattern of SUSY breaking via the non-degeneracy of the fermion/boson mass spectrum that appears as a consequence of LSV.

**LAIS DOS ANJOS DE JESUS SILVA**  
**ROBERTO SARTHOUR - ORIENTADOR**

### **Teleporte Quântico via RMN**

O Teleporte Quântico consiste em transportar a informação do estado de um sistema para outro utilizando o fenômeno quântico conhecido como emaranhamento. A ressonância magnética nuclear é uma técnica muito utilizada na área de Informação Quântica, pois permite o controle dos estados quânticos dos spins nucleares sob a ação de um campo magnético, por meio de operações de rotações dos mesmos. Essa técnica pode ser utilizada para implementar circuitos quânticos, que descrevem o processamento necessário para implementar computação e simulações. Neste trabalho, vamos mostrar como implementar experimentalmente o teleporte utilizando a técnica de ressonância magnética nuclear (RMN).

LEONARDO SANTORO DE OLIVEIRA  
ALBERTO REIS - ORIENTADOR

### Search for CP Violation in the $D_s^+ \rightarrow \pi^- \pi^+ K^+$ channel using LHCb Data

The only observation of CP violation in the charm quark sector was made in 2019 by the LHCb collaboration. This observation was made in decays of the neutral D mesons. No CPV was seen in charged mesons. Three-body decays are interesting because they allow searching for CPV in the phase space. In this work, the Cabibbo-suppressed decay  $D_s^+ \rightarrow \pi^- \pi^+ K^+$  is analysed. This channel has the largest branching fraction among the Cabibbo-suppressed decays of the Ds meson. For this study, data was obtained from pp collisions with a center-of-mass energy of 13 TeV and an integrated luminosity of  $5.6 fb^{-1}$  collected at the LHCb detectors during Run II (period of 2016-2018). In this work, the selection of the data is presented. This studying includes a multivariate analysis using machine learning algorithms to deal with the combinatorial background and the identification and treatment of specific backgrounds.

LUIZA MAYARA SANTOS MIRANDA  
FRANCESCO TOPPAN - ORIENTADOR

### Espinores na Representação Alfabética

Espinores são introduzidos na Física através da teoria de Pauli da Mecânica Quântica e da teoria de Dirac da Mecânica Quântica Relativística. Foi através do conceito de espinores que as álgebras de Clifford marcaram presença decisiva e definitiva na Ciência. Neste trabalho estudamos o dobramento da Álgebra de Clifford de  $Cl(3, 2)$  para  $Cl(4, 3)$ . Em  $Cl(3, 1)$  temos matrizes  $4 \times 4$  reais que descrevem os espinores de Majorana. Em  $Cl(4, 3)$  temos matrizes  $8 \times 8$  reais: temos duas escolhas possíveis para descrever espinores complexos: a escolha de matrizes bloco-antidiagonal que se aplicam aos espinores de Weyl (8 componentes reais) e a escolha de matrizes que não respeitam a estrutura bloco-antidiagonal e que se aplica aos espinores de Dirac (8 componentes reais). Estudamos os espinores nas representações de Dirac, Majorana e Weyl; calculamos os comutadores das matrizes  $\gamma$  e das matrizes  $\sigma$  que geram o grupo de Lorentz através de uma realização “alfabética” das matrizes. Obtivemos em todas as representações a álgebra de Lorentz das matrizes  $\sigma$ .

MARCO ANTONIO GUIMARÃES AUAD BARROCA  
ALEXANDRE MARTINS DE SOUZA - ORIENTADOR

### **Harnessing Quantum Computing: Explorations in Materials Discovery and QUBO Problem Solving**

Through quantum computing, we investigate its implications for materials science and optimization. Using the Variational Quantum Eigensolver (VQE) and its derivatives, we simulate toy models to evaluate Metal Organic Frameworks for carbon capture, identifying materials based on binding energies for potential adsorption. In Lithium batteries, we analyze surface reactions between Lithium and Oxygen to determine reaction energies. In optimization, we address Quadratic Unconstrained Binary Optimization (QUBO) problems via the Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA), finding a link between the QAOA ansatz and Erdős-Rényi graph theory that may facilitate efficient circuit partitioning and cutting. Relying on noisy quantum devices, we also utilize noise mitigation techniques, with Zero Noise Extrapolation showing promise in improving accuracy at the cost of decreasing precision.

**MARCO VINICIUS RIBEIRO LOPES DA SILVA**  
**GERALDO CERNICCHIARO - ORIENTADOR**

### **Método das Matrizes de Linhas de Transmissão para Estudo da Propagação Acústica Subaquática**

A velocidade do som é o principal parâmetro oceanográfico para o estudo da propagação acústica e pode variar significativamente em regiões costeiras afetadas pelo fenômeno da ressurgência. Modelar a propagação do som nessas regiões de águas rasas tem se provado um desafio para oceanografia moderna devido ao crescimento das redes de comunicações subaquáticas, sensoriamento remoto a partir de métodos acústicos, localização de fontes submarinas e estudos de impacto ambiental na paisagem acústica. Neste trabalho propomos um método para modelar a propagação do feixe acústico que possa ser utilizado em sistemas de medidas instalados em fundeios oceanográficos. Esta abordagem é baseada em Transmission Line Matrix Modeling (TLM), um método numérico diferencial que utiliza analogia com modelos de circuitos elétricos de linhas de transmissão e princípios de elementos finitos.

MARCO BENICIO DE ANDRADE ALONSO  
IVAN DOS SANTOS OLIVEIRA - ORIENTADOR

### **Bayesian Neural Network for solving Boltzmann-BGK**

The Boltzmann equation is one of the most important equations for fluid dynamics and kinetic theory, offering profound insights into gas dynamics. However, it's famously intricate due to its detailed collisional term, which poses high computational challenges. To address this, the Boltzmann BGK equation was introduced, simplifying the collision term. Despite this simplification, solving the equation, particularly for flow scenarios, remains a big challenge. In this research, we focus on the deep learning approach, specifically Bayesian Neural Networks (BNNs), as a tool to find valid solutions for the Boltzmann BGK equation. This approach tries to dispense with the need for traditional discretization. My primary focus is on a toy problem known as Kovasznay flow, in two dimensions for the steady case—a benchmark in fluid dynamics. The hope is that the BNNs can provide accurate solutions to the Boltzmann BGK equation for the specified flow problem. For the Kovasznay flow, we want to find a distribution that describe the particle dynamics in a gas, based on the Boltzmann BGK equation. Using BNNs, our goal is to find find a distribution that captures how the system dynamics.

MARIANA SOEIRO  
CARSTEN HENSEL - ORIENTADOR

### Aperfeiçoamento da Detecção de Traços para Busca de Monopolos Magnéticos e Método de Contagem dos Bósons Z no Experimento Compact Muon Solenoid (CMS) do LHC

O experimento *Compact Muon Solenoid* (CMS) do *Large Hadron Collider* (LHC) possui um detector de propósito geral com design composto para observar novos fenômenos físicos e detectar partículas com alta precisão. A busca da identificação dos monopolos magnéticos na colaboração desse experimento é realizada de maneira direta e indireta, quando as partículas candidatas atravessam detectores passivos e ativos. Os monopolos magnéticos, podem ser descritos como partículas de alta ionização (Highly Ionizing Particles - HIPs) devido a sua alta perda de energia por esse processo ao atravessar a matéria. Dessa forma, sua assinatura apresenta ionização ordens de magnitude maior se comparada a uma partícula ordinária eletricamente carregada, proporcionando a identificação no detector interno (*tracking*). Além do traço altamente ionizante um compacto depósito (*clusters*) no calorímetro eletromagnético é considerado, sendo combinado também com pouca radiação identificada no calorímetro hádronico. No desenvolvimento desta pesquisa buscamos a identificação de candidatos a monopolos magnéticos estudando a produção de de Drell–Yan (DY) por meio de uma estratégia de análise com parâmetros discriminantes combinados para identificação de partículas com essas características. Buscando um bom acordo entre os experimentos de multipropósito do LHC o método de contagem do número de bósons Z (*ZCounting*) é utilizado para estimar a luminosidade fornecida pelo LHC considerando a concordância entre os experimentos de multipropósito *Compact Muon Solenoid* (CMS) e o A Toroidal LHC Apparatus (ATLAS). Este método é alternativo e basea-se no número de runs e fills durante a tomadas de dados para estimação da luminosity delivered. Para esse trabalho foram considerados um espaço de fase comum aos experimentos ATLAS e CMS, utilizando produção de Drell–Yan (DY) (sem contribuições intermediárias) onde os bósons Z decaem em um par de múons. No *ZCounting* o cálculo da seção de choque finducial ( $\sigma_{fid}$ ) pode ser



desenvolvido em função da luminosidade instantânea física, quando um processo físico possui uma seção de choque de produção conhecida. Então, a vantagem de fazer a medição a partir desse método é a seção de choque ser constante em uma determinada energia do centro de massa por longos períodos de tempo. Dessa forma, como nos colisores de partículas a seção de choque é conhecida a luminosidade pode ser diretamente relacionada com o número de eventos e também torna-se possível verificar a linearidade do detector através do método de *pile-up* que exige uma luminosidade constante.

MATHEUS CURADO FERREIRA  
FELIPE TOVAR FALCIANO - ORIENTADOR

### Cosmological Bootstrap and its Ramifications

New theoretical developments in the computation of inflationary correlation functions, the Cosmological Bootstrap, have been point out that not only quantum corrections (or loop calculations) can have an important role in the matter distribution printed in the CMB, but also reveal Non-Gaussianities in this matter distribution spectra that can test inflation, with different phenomenological predictions. The implementation of inflation in this new theoretical framework is based on the reinterpretation of the early universe as a cosmological collider [1], in which different symmetries can lead to different phenomenologies. Going further, we could ask whether this framework can be applied no only to the inflationary scenario but an astrophysical one, or more, if it can tell us something about the primordial singularity, or how the Bounce solutions affects this inflationary Non-Gaussianities. The Cosmological Bootstrap [1–10], can establish a solid relation between a quantum field theory and curved spacetimes. For a de Sitter (dS) spacetime this framework has already proven promising for calculating correlation functions and quantum corrections associated to particle scattering in the early universe [1, 3, 11, 12]. The entire program has the conformal group as its starting point, for the primordial universe it fits perfectly, if we conceive the primordial universe as being a approximately de Sitter universe. This is possible only due to the symmetries between the Conformal group and the de Sitter group, since the isometries of a de Sitter space-time manifest themselves through the isomorphism  $dS_d \cong SO_{d-1,1}$  [13]. Conformal Field Theories (CFT) have special proprieties due to the Conformal group, they can be realized as extensions of the Poincaré group, which means that a CFT can have all of the Poincaré symmetries plus additional ones, these additional symmetries fix the form of the correlation functions of the conformal theory, what allow us to construct the correlations functions without looking directly to the structure of the Lagrangian or even build correlations for theories without a Lagrangian.

\*This work is supported by CNPq.

[1] N. Arkani-Hamed and J. Maldacena, *Arxiv's* (2015), arXiv:1503.08043 [hep-th].

[2] D. Baumann, C. Duaso Pueyo, A. Joyce, H. Lee, and G. L. Pimentel, *JHEP* 12, 204 (2020), arXiv:1910.14051[hep-th].

[3] G. L. Pimentel and D.-G. Wang, *JHEP* 10, 177 (2022), arXiv:2205.00013 [hep-th].

[4] H. Goodhew, S. Jazayeri, and E. Pajer, *JCAP* 04, 021 (2021), arXiv:2009.02898 [hep-th].

[5] S. Melville and E. Pajer, *JHEP* 05, 249 (2021), arXiv:2103.09832 [hep-th].

[6] D. Baumann, W.-M. Chen, C. Duaso Pueyo, A. Joyce, H. Lee, and G. L. Pimentel, *JHEP* 09, 010 (2022), arXiv:2106.05294 [hep-th].

[7] J. Bonifacio, E. Pajer, and D.-G. Wang, *JHEP* 10, 001 (2021), arXiv:2106.15468 [hep-th].

[8] M. Hogervorst, J. a. Penedones, and K. S. Vaziri, *JHEP* 02, 162 (2023), arXiv:2107.13871 [hep-th].

[9] G. Cabass, E. Pajer, D. Stefanyszyn, and J. Supe l, *JHEP* 05, 077 (2022), arXiv:2109.10189 [hep-th].

[10] Z. Qin and Z.-Z. Xianyu, *JHEP* 04, 059 (2023), arXiv:2208.13790 [hep-th].

[11] D. Baumann, D. Green, A. Joyce, E. Pajer, G. L. Pimentel, C. Sleight, and M. Taronna, in *2022 Snowmass Summer Study* (2022) arXiv:2203.08121 [hep-th].

[12] D. Baumann, C. Duaso Pueyo, A. Joyce, H. Lee, and G. L. Pimentel, *SciPost Phys.* 11, 071 (2021), arXiv:2005.04234 [hep-th].

[13] A. Strominger, *JHEP* 10, 034 (2001), arXiv:hep-th/0106113.

MATHEUS SALES LACERDA  
LUIZ CARLOS SAMPAIO LIMA - ORIENTADOR

### Desenvolvimento de dispositivos interdentados (IDT) para geração de ondas acústicas de superfície (SAW) aplicados a magnônica.

Recentemente, pesquisadores no campo da spintrônica têm se interessado por fenômenos envolvendo excitações em materiais magnéticos por meio de ondas de spin (SWs) e seus quantas, mágnons [1]. O principal desafio neste campo de pesquisa é encontrar maneiras eficientes de excitar e detectar mágnons e permitir que eles percorram distâncias mais consideráveis (para o YIG normalmente mais de 1  $\mu\text{m}$ ) devido ao amortecimento magnético. Com isso, este trabalho teve como objetivo desenvolver dispositivos transdutores interdentados que pudessem ser fabricados em substratos de Niobato de Lítio ( $\text{LiNbO}_3$ ) utilizando técnicas de fotolitografia óptica de escrita direta (laser writer). Esta técnica é baseada em um laser com radiação ultravioleta ( $\lambda = 405\text{nm}$ ) utilizado para microfabricação, com resolução de micrométrica de 3  $\mu\text{m}$ . O laser executa uma exposição na amostra com um padrão de desenho definido pelo usuário. A exposição é realizada com fotoresistes adequados ao comprimento de onda do laser. O dispositivo IDT é uma estrutura em forma de pente feita de eletrodos metálicos intercalados que pode converter energia elétrica em energia mecânica (deslocamento ou vibração) e vice-versa usando o efeito piezoelétrico. Aplicando um sinal elétrico ao IDT de entrada, ela irá gerar ondas acústicas de superfícies, que são ondas elásticas quantizadas que se propagam na superfície do  $\text{LiNbO}_3$ . O IDT de saída (secundário) irá então receber essa onda e transformá-la em um sinal de tensão por meio do acoplamento piezoelétrico. Os eletrodos dos dispositivos IDT foram confeccionados por sputtering utilizando ligas de  $\text{Al}_{98,5\%}\text{Cu}_{1,0\%}\text{Si}_{0,5\%}$  de diferentes espessuras. Os eletrodos foram projetados com largura de  $\lambda/4$  e separados por uma distância de  $\lambda/4$ , resultando em um comprimento total de  $\lambda$  e uma abertura acústica  $W$  para cada par de eletrodos. Ajustando o passo do IDT, a frequência de propagação do SAW

pode ser alterada. Medindo a frequência no dispositivo de saída para diferentes estruturas de IDT, o coeficiente de acoplamento SAW ideal ( $K^2$ ), o fator de qualidade (Q) e a velocidade de fase de propagação da onda ( $v$ ) no substrato, podem ser determinados. O fator de qualidade (Q) é um parâmetro crítico na avaliação do desempenho dos dispositivos IDTs e é definido como a razão entre a energia armazenada e a energia perdida por ciclo. As ondas produzidas pelos IDTs podem ser utilizadas para acoplar com as SAWs [2] através do efeito magnetoelástico [3] e permitir maiores distâncias de propagação, encontrando os melhores parâmetros para geração de SAWs na faixa de frequência do GHz [4].

[1] Serga, A. A., Chumak, A. V. and Hillebrands, B., 2010 J. Phys. D: Appl. Phys. 43 264002.

[2] Rayleigh, L., 1885 Proc. London Math. Soc. s1–17 4.

[3] Bozhko, D. A., Vasyuchka, V. I., Chumak, A. V. and Serga, A. A., 2020 Low Temp. Phys. 46 383.

[4] Froes, D., Arana, M., Sinnecker, J. P., and Sampaio, L. C., 2022 J. Phys. D: Appl. Phys. 223908.

**NINA MACHADO O'NEILL**  
**FERNANDO DE MELO - ORIENTADOR**

### **Benchmarking quantum processors in the NISQ era**

The last 20 years have seen exciting advances in the field of quantum computing. Quantum processors with tens or even hundreds of qubits, have become a reality. Some examples are Google's Sycamore processor (53 qubits), USTC's Jiuzhang (76 qubits) and Xanadu's Borealis (216 qubits). The emergence of these new technologies makes it ever more important to develop metrics and tests to quantify their performance. In a recent work, available on arXiv [arXiv:2304.04894], me and my collaborators proposed a new method for benchmarking the complexity within reach of presently available quantum processors, using majorization-based criterion introduced in [R. O. Vallejos, F. de Melo, and G. G. Carlo, Phys. Rev. A 104, 012602 (2021)]. The procedure consists of computing the fluctuations of the Lorentz curves of the output probabilities of random quantum circuits for a given QPU and comparing these fluctuations to two key reference curves: (i) randomized  $n$ -qubit Clifford circuits and (ii)  $n$ -qubit Haar-random pure states. Using SENAI CIMATEC's quantum computing simulator KUATOMU, we simulated the operation of several currently available universal, circuit-model quantum processing units (QPUs). First, we simulated noiseless processors in order to evaluate the relationship between the complexity of the computations they could perform and the number of gates required to achieve these levels of complexity. Next, we simulated different noisy models in order to analyze the impact of noise on the complexity within reach of the considered QPUs. In this presentation, I will discuss the results of this study, as well as the challenges that must be tackled in order to move towards applying the majorization-based benchmarking procedure on actual quantum processors.

Keywords: quantum advantage, benchmarking, majorization, computational complexity

**PABLO RIBEIRO ALVES DE OLIVEIRA**  
**FERNANDO STAVALE - ORIENTADOR**

### **Sulfetos metálicos como um novo template para aplicações em Fotocatálise**

Este projeto busca investigar a superfície de sulfetos metálicos (metal de transição + enxofre) para novas aplicações no setor de fotocatalise. Estudaremos essa classe de materiais combinando técnicas experimentais (como espectroscopia de fotoelétrons de raio-x (xps) e microscopia de tunelamento por varredura (STM) e modelos teóricos via primeiros princípios baseados na teoria do funcional da densidade (DFT), estendendo a metodologia empregada por nós durante o mestrado. Como abordagem inicial, investigaremos o impacto da formação de defeitos catiônicos na estrutura eletrônica e ótica do sulfeto de zinco (ZnS). Ainda sobre um cenário de sulfetos mais ricos em enxofre, avaliaremos as modificações de estruturas metálicas como cobre e ouro, bem como a formação de novos sulfetos, a partir da deposição de enxofre em vácuo num sistema por nós comissionado. Por fim, estudaremos a adsorção de moléculas nas superfícies de sulfetos com defeitos catiônicos (como no caso do ZnS) e aniônicos como no caso da Pirita (FeS<sub>2</sub>), buscando entender os principais mecanismos que facilitam o processo de fotoredução molecular nestas superfícies.

**RODRIGO FERREIRA PINHEIRO**  
**NELSON PINTO NETO - ORIENTADOR**

### **Não gaussianidades relativísticas e primordiais, teoria e observação**

Existe uma vasta quantidade de modelos de universo primordial que explicam as condições iniciais aproximadamente gaussianas das perturbações cosmológicas do universo. Essas condições iniciais são fundamentais para a compreensão das medidas da radiação cósmica de fundo (CMB), realizadas pelo satélite Planck, e observações em grandes escalas. Entretanto, esses modelos têm previsões diferentes para o tipo de não gaussianidades nas estatística de três ou mais pontos. Em grandes escalas, os modos que permanecem fora do horizonte guardam informações sobre a física do universo primordial. A medida que esses modos entram no horizonte, sua distribuição inicialmente gaussiana é deformada pelo colapso gravitacional que forma estruturas no universo. Isso introduz não gaussianidades relativísticas na estatística de observáveis como mapa de galáxias e radiação de 21cm. Dessa forma os modos que entraram no horizonte têm registros de não gaussianidades de origem primordial e outra de origem relativística. Para uma completa distinção dessas não gaussianidades é necessário o estudo do bispectro primordial e relativístico dos mapas de galáxias e radiação de 21cm. O bispectro relativístico também é importante para o estudo da expansão do universo e da formação de estruturas e, portanto, capaz de vincular parâmetros cosmológicos associados a matéria e energia escura. O trabalho analisa as não gaussianidades primordiais de uma cosmologia baseada na gravitação quântica de laços (Loop Quantum Cosmology) em mapas de radiação de 21cm. Esses mapas serão formados por vários experimentos como o SKA (Square Kilometre Array) e o radiotelescópio BINGO (Baryon Acoustic Oscillations from Integrated Neutral Gas Observations). Também estudamos a capacidade do bispectro relativístico restringir parâmetros cosmológicos associados a modelos de energia escura.



RODRIGO GALHARDO RANA  
FRANCESCO TOPPAN - ORIENTADOR

### Inequivalent $Z_2^n$ -graded brackets, n-bit parastatistics and statistical transmutations of supersymmetric quantum mechanics

Given an associative ring of  $Z_2^n$ -graded operators,  $b_n = n + [n/2] + 1$  is the number of inequivalent brackets of Lie-type which are compatible with the grading and satisfy graded Jacobi identities. This follows from the Rittenberg-Wyler and Scheunert analysis of “color” Lie (super algebras which is revisited here in terms of Boolean logic gates. The inequivalent brackets, recovered from  $Z_2^n \times Z_2^n \rightarrow Z_2$  mappings, are defined by consistent sets of commutators/anticommutators describing particles accommodated into an n-bit parastatistics (ordinary bosons/fermions correspond to 1 bit). Depending on the given graded Lie (super)algebra, its graded sectors can fall into different classes of equivalence expressing different types of particles (bosons, parabosons, fermions, parafermions). As a main physical application we prove that the N-extended, one-dimensional supersymmetric and superconformal quantum mechanics, for  $N = 1, 2, 4, 8$ , are respectively described by  $pN = 2, 6, 10, 14$  alternative formulations based on the inequivalent graded Lie (super)algebras. The  $pN$  numbers correspond to all possible “statistical transmutations” of a given set of supercharges which, for  $N = 1, 2, 4, 8$ , are accommodated into a  $Z_2^n$ -grading with  $n = 1, 2, 3, 4$  (the identification is

$$N = 2^{n-1}).$$

THALES MENEZES DE OLIVEIRA  
CARSTEN HENSEL - ORIENTADOR

**A busca por monopolos magnéticos no Experimento CMS usando informações de Missing Transverse Energy e o monitoramento da luminosidade utilizando o método ZCounting**

O *Compact Muon Solenoid* (CMS) é um dos experimentos multipropósito do *Large Hadron Collider* (LHC), estudando todos os tópicos de física acessíveis à sua energia de centro de massa e luminosidade. Para a atual tomada de dados do *Run III*, o LHC está operando com 13,6 TeV de energia de centro de massa e luminosidade instantânea de  $10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ . O *ZCounting* consiste em um método complementar para o monitoramento da luminosidade, fornecida pelo LHC, ao Experimento CMS. O método é baseado na contagem do número de bósons Z em um determinado intervalo de tempo, se utilizando da grande eficiência de reconstrução e identificação dos decaimentos de bósons Z em pares de múons. A partir da contagem destes bósons, juntamente com a seção de choque de produção, bem conhecida, é possível obter uma estimativa da luminosidade para os *fills* das tomadas de dados do LHC, e a sua direta comparação com a luminosidade de referência. Os resultados obtidos podem ser comparados diretamente com os do Experimento ATLAS, de forma a monitorar a entrega de luminosidade do LHC para ambos os experimentos. De maneira complementar, para uma boa estimativa da luminosidade e da contagem de bósons Z, ainda se faz possível a obtenção do valor da seção de choque de produção. Os monopolos magnéticos foram propostos de forma a tornar as equações de Maxwell simétricas, para a unificação das suas partes elétrica e magnética. Em 1931, Paul Dirac demonstrou que a quantização da carga elétrica poderia ser explicada como uma consequência natural da quantização do momento angular na presença de um monopolo magnético, o que reviveu a discussão sobre a sua existência. No contexto de colisores de partículas, um estudo do Experimento ATLAS indicou um limite inferior de massa para um monopolo de Dirac de spin 1/2 como sendo por volta de 2000 GeV. Outros estudos indicam ainda, que é esperado que estes possuam uma massa da ordem de poucos TeV, acessível ao seu estudo no LHC.

Esta análise no Experimento CMS considera pares de monopolos, decaindo em um par de fótons, produzidos a partir do mecanismo de produção de Drell-Yan, sendo baseada na combinação de dois parâmetros discriminantes para a sua identificação. O primeiro utiliza as informações do sistema de traços, devido à sua alta capacidade de ionização e curvatura de seus traços no campo magnético, e o segundo o seu depósito de energia estreito e concentrado nos cristais do calorímetro eletromagnético. O trabalho de análise para a busca por monopolos no CMS é afetada por algoritmos do calorímetro eletromagnético, que pode rejeitar um dos candidatos a monopolo, motivando a utilização de um *trigger* de *SinglePhoton* e uma assinatura de *Missing Transverse Energy* (MET) no evento. Entretanto, a utilização de um *trigger* de MET e de suas informações, se aproveitando da assinatura de um monopolo não reconstruído, é capaz de aumentar a estatística para esta análise, bem como fornecer novas estratégias para o desenvolvimento deste trabalho.

**ULISSES DE FREITAS CARNEIRO DA GRAÇA**  
**ANDRÉ MASSAFERRI - ORIENTADOR**

### **Commissioning and Calibration of the SciFi Tracker at LHCb**

The LHCb tracker for Run3 covers an area of 340 m<sup>2</sup> using a novel technology, with more than 10,000 km of a 250 μm diameter blue-emitting scintillating fiber. This Scintillating Fiber Tracker (SciFi) achieves a spatial resolution better than 80 μm, hit efficiency better than 99%, and can handle higher luminosities thanks to its higher granularity and a trigger-less 40 MHz readout. These substantial improvements posed new challenges to the on-detector electronics, which has to process the data of 4096 linear arrays of 128-channel Silicon Photomultipliers (SiPM) placed at the fiber ends and cooled to -40 °C. The low photo-electron statistics required a very sensitive digitizer, the high channel density (4 channels per mm) demanded careful PCB design, and possibly most challenging, the sheer data volume required high-speed data transmission and ultimately needed to use an advanced zero-suppression clustering mechanism in the Front-End Electronics. The PACIFIC ASIC processes SiPM analog signals, providing signal shaping, charge integration over a time window, and discrimination. The need to reduce the data volume shaped the electronics design at every step and dictated that the digitized output of each 250 μm SiPM channel consists of only 2 bits encoding the discrimination over three programmable thresholds result. Even so, the throughput of each 2048-channel SciFi Read-Out Box at 40 MHz would be an intractable 164 Gbps. Therefore, significant data reduction was necessary before channeling data to the 4.48 Gbps GBTx serializers. Hit clustering provides such a data reduction, but its complexity, combined with the relatively low radiation doses expected, resulted in the choice to perform digital signal processing and fast control handling in radiation-tolerant flash-based Microsemi Igloo2 FPGAs. A research program validated the usage of such FPGAs in our radiation environment, and since last year, SciFi routinely operates for data taking with the LHC beam with these devices. The PACIFIC ASIC, the FPGAs, the GBT chipset, and specially designed DC-DC converters have been packed into 256 units called Read-Out Boxes, each of which reads 2048 SiPM channels with a zero suppressed data output rate of up to 71

Gbits/sec, resulting in a total SciFi bandwidth of over 18 Tbits/sec. This complex design requires a very large number of programmable parameters to accommodate changes in the operational conditions, like fiber signal deterioration and increasing noise on SiPMs. Parameters such as clock delays, temperature-dependent bias, threshold settings, and others, must be continuously recalibrated to retain the detector's best performance. A wealth of databases and software tools are required to fully automate the process of taking data, analyzing them to determine the best operational settings, and transferring these to the detector electronics. Developing these tools has been a monumental enterprise starting from the SciFi assembly and pre-commissioning, and automatic calibration procedures have been instrumental for commissioning after installation in 2022, ensuring that SciFi could take LHC collision data and perform as expected. In this oral presentation, the SciFi electronics design, implementation, and calibration will be presented and results on the detector performance will be shown.

**WIDERVAN DE DEUS MORAIS**  
**JOSÉ ABDALLA HELAYEL - ORIENTADOR**

### **Análise de efeitos eletromagnéticos em materiais de Dirac**

A Física da Matéria Condensada tem presenciado nos últimos anos uma grande interconexão e estudos bastante promissores envolvendo a teoria quântica de campos na análise de excitações de baixa energia em semimetais de Dirac, Weyl e isolantes topológicos. O estudo de materiais tais como o Grafeno, que se configura como semimetal tipo Dirac, possibilita a descoberta de importantes propriedades, como por exemplo campos magnéticos, propriedades de transporte, condutividade ótica, férmions de Majorana emergentes, uma vez que sua eletrodinâmica se demonstra bastante rica. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa é investigar propriedades eletromagnéticas e óticas destes materiais como, por exemplo, a violação da simetria de Lorentz que aparece como simetria emergente nestes materiais sob certas condições. Outra propriedade relevante inspecionada é o aparecimento de efeitos eletromagnéticos não-lineares em regime de campos magnéticos baixos, acessíveis em laboratório, na faixa de 1T. A combinação de efeitos não-lineares e violação da simetria de Lorentz pode produzir efeitos interessantes, como a expulsão de campos magnéticos, devido à emergência de uma massa efetiva para o fóton.

LUCAS NICHOLAS FALCÃO FERREIRA  
ANDRE MASSAFERRI - ORIENTADOR

### Análise de amplitudes do decaimento $B^\pm \rightarrow K^\mp K^\pm \pi^\pm$ no experimento LHCb/CERN

Nos últimos tempos, temos testemunhado avanços significativos no campo da física de partículas, proporcionando contribuições cruciais para o desenvolvimento do Modelo Padrão das partículas elementares e suas interações. O acelerador de partículas LHC foi projetado com o propósito de confirmar a existência dos componentes essenciais desse Modelo e, ao mesmo tempo, buscar evidências de novas fenomenologias, como a busca por processos diretos relacionados à matéria escura. A excelência do desempenho do LHC, juntamente com os quatro grandes experimentos, ATLAS, CMS, ALICE e LHCb, nas duas fases de operação até o momento, RUN I e II, possibilitou uma ampla gama de estudos, entre eles a descoberta do bóson de Higgs. O experimento LHCb, focado na produção e análise de amostras abundantes de mésons B e charme, tem se destacado por realizar diversas medições de alta precisão, como descobertas de violação da simetria CP em certos tipos de decaimentos, medidas da fase  $\gamma$  da matriz CKM e a frequência de oscilação dos estados  $B_s^0 - \bar{B}_s^0$ . Embora existam indicações preliminares de possíveis fenômenos de Nova Física relacionados à violação da universalidade leptônica no LHCb, o Modelo Padrão tem continuado a demonstrar sua robustez e coerência com os resultados experimentais obtidos até o momento. Em especial, como proposta deste projeto, está o estudo de decaimentos  $B^\pm \rightarrow K^\mp K^\pm \pi^\pm$  e sinais de violação de CP neste ambiente. A simetria de CP é uma combinação de simetrias de carga (C) e de paridade (P). Em um sistema físico perfeitamente simétrico em relação a CP, a taxa de decaimento dos mésons B carregados em dois káons e um pión seria igual à taxa de decaimento de suas antipartículas correspondentes. No entanto, observa-se uma pequena diferença nessas taxas, o que indica a presença de violação de CP [1]. Este canal de decaimento é de especial interesse para o estudo do fenômeno de violação de CP, que é um dos principais ingredientes para a assimetria matéria-antimatéria observada no universo.

Entre as características que o tornam atraente, está o fato de ser um processo dominado por estados intermediários ressonantes, onde as interferências entre suas amplitudes podem ser fontes potenciais de violação de CP. Assim, este decaimento, e em geral os decaimentos de B em de três corpos que não contém o quark Charme, constituem um grande laboratório para uma melhor compreensão da violação de CP. Esta análise envolve a avaliação do decaimento em três corpos no estado final em um gráfico chamado *Dalitz Plot*. Este gráfico representa o espaço de fase, onde se pode ler a dinâmica e a cinemática do decaimento. Através deste gráfico é possível examinar os estados ressonantes intermediários entre a partícula mãe e as partículas do estado final. Como método para a análise do *Dalitz Plot* do decaimento, será usado o Modelo Isobárico, que é o formalismo convencionalmente usado para estudos de estruturas ressonantes em decaimentos hadrônicos. Em uma abordagem fenomenológica simplificada, podemos entender a taxa de decaimento como a contribuição de diferentes estados ressonantes e não ressonante. O Modelo Isobárico busca descrever a amplitude total de decaimento como a soma coerente desses estados intermediários. Através da parametrização dos dados em um conjunto de magnitudes e fases que descrevem o decaimento e, se valendo de um bom ajuste para estes parâmetros, é possível tirar conclusões acerca das estruturas ressonantes, e sobre a existência e o nível de violação de CP para este canal. As ressonâncias podem aparecer nos sistemas de dois corpos formado por  $\pi^\pm K^\mp$  e  $K^\mp K^\pm$  que podem interferir potencialmente produzindo efeitos consideráveis de violação de CP. Esses efeitos podem aparecer como uma diferença no total número de decaimentos  $B^+$  e  $B^-$  observados, como uma assimetria CP integrada no espaço de fase todo, e não apenas local. Uma análise como esta foi feita com a primeira tomada de dados do LHC, entre 2011 e 2012 [2]. Neste trabalho estão sendo usados os novos dados, que foram coletados entre 2015 e 2018, multiplicando por 7 o número total de eventos para este decaimento. Com o aumento do número de eventos, novas estruturas ressonantes podem aparecer e, junto a isto, novos dilemas, como a possível aparição de violação de CP em estados ressonantes que não estariam dentro das previsões do Modelo Padrão. Este é o caso das ressonâncias  $J/\psi$  e  $\chi_c^0$ , que estão aparecendo no espaço de fase. Essas ressonâncias são conhecidas também como “charmônios”, pois são compostas por um estado  $c\bar{c}$ , este tipo de



estado não apresenta violação de CP dentro do Modelo Padrão. Parte deste dilema se faz presente através dos resultados preliminares desta análise, que denuncia grande violação de CP para esses componentes. Caso isto venha a se confirmar, seria sinal de Nova Física, o que abriria portas para novos paradigmas. A primeira análise feita demonstrou que existe espaço também para estudos no que se refere a diferença de contribuição da componente do Re-espalhamento nos canais  $B^\pm \rightarrow K^\mp K^\pm \pi^\pm$  e  $B^\pm \rightarrow \pi^\mp \pi^\pm \pi^\pm$ , uma vez que estes canais são chamados parceiros por estarem conectados via interação forte e conservação de número quântico. Dentro ainda do tema do Re-espalhamento está a questão da grande violação de CP apenas nesta região, 3 vezes maior que a violação de CP em todo o espaço de fase deste decaimento. Existe espaço também para revisão dos resultados da primeira análise quanto ao nível de contribuição de alguns estados ressonantes como  $\rho(1450)$  e  $f_2(1270)$ , uma vez que tais apariações não eram esperadas com um nível tão grande de contribuição para este decaimento. Por outro lado, existem outras contribuições que podem ser esperadas para este canal, como é o caso  $\rho(1700)$  e  $f_2(1525)$ , os resultados preliminares mostram boas condições de tirarmos conclusões futuras sobre esses componentes. Para além do trabalho envolvendo a análise dos dados coletados pelo detector LHCb, está também no escopo desta tese a contribuição ao upgrade que está sendo feito com o intuito de melhorar sua performance num cenário de aumento do nível de radiação, da ocupação de seus detectores, e da taxa de transferência de dados. Dentre as modificações mais relevantes está a substituição do sistema de trajetografia, o qual vai utilizar tecnologia inovadora composta por fibras cintilantes de 250  $\mu\text{m}$  acopladas a fotomultiplicadores de Silício (SiPM), projeto denominado SciFi. A melhoria da resolução espacial, em torno de 70  $\mu\text{m}$ , principalmente na região externa, e a utilização de tecnologia mais leve, vão impactar diretamente na performance da reconstrução de trajetórias das partículas e na redução dos níveis de background, melhorando significativamente a precisão dos resultados científicos [3]. Dentre as atribuições do upgrade que está sendo feito, está o comissionamento do novo detector. Este comissionamento envolve desde a testagem dos sistemas eletrônicos integrados ao detector até a supervisão de funcionamento do detector em si.

[1] LHCb collaboration. Direct  $cp$  violation in charmless three-body decays of  $b_{\pm}$  mesons, 2022.

[2] R. Aaij et al. Amplitude analysis of  $b_{\pm} \rightarrow k^{\mp} k^{\pm} \pi^{\pm}$  decays. Physical Review Letters, 123(23), dec 2019.

[3] A. Massafferri et al. SciFi, the new tracker of the lhcb experiment. JINST, 15:C08006, 2020.

