

## DIAGRAMAS DE FEYNMAN E SIMETRIAS: UM CAMINHO PARA A FÍSICA TEÓRICA

Vinícius Fonseca Alves <sup>1</sup>; Luellerson Carlos Ferreira <sup>2</sup>; Daniel Bretas Roa <sup>3</sup>;

1 Vinícius Fonseca Alves, Bolsista (IFMG), Licenciatura em Física, IFMG Campus Ouro Preto, Ouro Preto - MG; vencialvez@gmail.com

2 Orientador: Luellerson Carlos Ferreira, Pesquisador do IFMG, Campus Ouro Preto; luellerson.ferreira@ifmg.edu.br

3 Coorientador: Daniel Bretas Roa, Docente do IFMG, Campus Ouro Preto; daniel.roa@ifmg.edu.br

### RESUMO

A teoria quântica de campos é um conjunto de ideias e técnicas matemáticas usadas para descrever quanticamente sistemas físicos que dispõem de um número infinito de graus de liberdade. Dessa forma este trabalho vem com o intuito de trazer essas ideias e principalmente técnicas, como a Regularização Implícita para a resolução de problemas voltados para esta área. Mas para a compreensão desse método é necessário ter como base a mecânica clássica (Newtoniana, Lagrangeana e Hamiltoniana), quântica, relativística e quântica de campos, e entender o momento em que cada uma é utilizada. Ao longo do projeto foi estudado o mundo das partículas elementares e a discrepância existente entre as mecânicas clássica e relativística. Retornando a mecânica clássica, mas a nível Lagrangeano e Hamiltoniano, visto que são mais completas que a Newtoniana e focando nos conteúdos relacionados ao Cálculo Variacional, Princípio de Hamilton, equação de Euler-Lagrange e as aplicações da Lagrangeana. Regressando novamente teoria da relatividade restrita, com a apresentação de uma nova linguagem, vindo a ser o formalismo quadridimensional de Minkowski, procedimento utilizado para tratar as equações de campo. Atualmente o conteúdo se apresenta no formalismo matemático da mecânica quântica, que aborda os conceitos sobre propriedades do Espaço de Hilbert e as notações de Dirac, que se dispõe dentro do conteúdo de Eletrodinâmica Quântica. Em paralelo ao projeto foi ofertado pela instituição a disciplina Introdução a Mecânica Quântica, que auxiliou nos estudos, bem como a quebra de paradigma entre a mecânica clássica, antiga quântica e quântica e os conceitos fundamentais que levaram a tal ato, seguindo até a equação de Schrödinger. Em virtude das atividades realizadas, as próximas etapas do projeto constam com a introdução dos fundamentos da Teoria Quântica de Campos, através da Formulação de Integrais de Caminho, método este que leva ao cálculo das amplitudes de probabilidade através da Diagrama de Feynman.

**Palavras Chaves:** Ciência Básica, Física Teórica, Teoria Quântica de Campos.

### INTRODUÇÃO:

A Física Clássica é a Ciência que descreve o mundo macroscópico, composto por objetos bem conhecidos, como partículas e ondas, e as formas pelas quais estes objetos interagem, através de leis fundamentais e modelos fenomenológicos. Exemplos de tratamentos deste tipo são a Mecânica Clássica, a Termodinâmica e o Eletromagnetismo.

No domínio das partículas elementares, chamado mundo microscópico, a formulação de modelos é guiada por certos princípios gerais, em particular, a Teoria da Relatividade Especial e a Mecânica Quântica. Na figura abaixo, está esboçada os quatro “reinos” da mecânica[1]:

	PEQUENO →	
RÁPIDO ↓	Mecânica Clássica	Mecânica Quântica
	Mecânica Relativística	Teoria Quântica de Campos

Quadro 1: Domínios da Mecânica. Quando objetos se tornam muito pequenos a Mecânica Clássica deve ser substituída pela Mecânica Quântica, e quando os objetos se tornam muito rápidos a Mecânica Clássica deve ser substituída pela Relativística. Quando os objetos são muito pequenos e muito rápidos a abordagem fica a cargo da Teoria Quântica de Campos (Adaptado de [1]).

Uma Teoria Quântica de Campos (TQC) é um conjunto de ideias e técnicas matemáticas usadas para descrever quanticamente sistemas físicos que dispõem de um número infinito de graus de liberdade [2]. A Eletrodinâmica Quântica, por exemplo, é uma TQC que descreve a interação de partículas eletricamente carregadas através da emissão e absorção de fótons.

Portanto, para um estudo satisfatório em Teoria de Campos foi necessário trilhar o caminho clássico, fazendo o percurso pelas suas diversas abordagens e posteriormente fazer a transição para os domínios relativístico e quântico, culminando na união destes últimos.

## **METODOLOGIA:**

Com o intuito de apreender os conceitos relacionados aos diagramas de Feynman, foi realizada uma revisão da literatura, que teve como objetivo principal uma fundamentação teórica densa, de modo a expor vários conteúdos necessários para o desenvolvimentos do cálculo desejado.

O início da pesquisa se deu pela investigação do site Aventura das Partículas[5], que introduziu vários conceitos a respeito do comportamento e produção das partículas subatômicas, sem a utilização de cálculos, de forma interativa e objetiva.

Dando prosseguimento às atividades, a ferramenta de pesquisa foi alterada para os livros, dentre eles estavam Os Fundamentos de Física dos autores Halliday e Resnick[6], que foi utilizado para compreender os conceitos e cálculos da física relativística a nível de graduação. Para o refinamento da pesquisa foi necessário abranger os conhecimentos da mecânica clássica (Newtoniana, Lagrangiana e Hamiltoniana), visto que era necessário ter um certo domínio dos conteúdos relacionados ao Cálculo Variacional, Princípio de Hamilton, equação de Euler-Lagrange e as aplicações da Lagrangiana, temas esses vistos no livro Mecânica Newtoniana, Lagrangiana e Hamiltoniana do autor João Barcelos Neto[7].

Como foram utilizadas várias referências, a próxima a ser vista foi novamente a teoria da relatividade restrita, com a apresentação de uma nova linguagem, vindo a ser o formalismo quadridimensional de Minkowski, procedimento utilizado para tratar as equações de campo[8]. Dando continuidade, foi pesquisado o formalismo matemático da mecânica quântica, que aborda os conceitos sobre propriedades do Espaço de Hilbert e as notações de Dirac, que se dispõe no livro Eletrodinâmica Quântica, José Maria Filardo Bassalo[8].

Próximo ao ápice do cerne projeto foi acrescentado uma nova literatura que começou a associar os assuntos vistos anteriormente, a partir do livro chamado Quantum Field Theory in a Nutshell, do autor A. Zee[4], o qual começa por mostrar o que é a teoria quântica de campos, quem precisa dela, a formulação da integral de caminho da física quântica. A seguir o mesmo se utiliza de analogias para descrever o que é um campo, sua relação com as partículas e as forças fundamentais e por fim a obtenção dos diagramas de Feynman, a partir do funcional gerador.

O período de busca e leitura dos presentes materiais se estendeu durante todo o período do projeto, ou seja, entre os meses de março e dezembro do ano de 2019.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES:**

O projeto se iniciou com a investigação do mundo das partículas elementares, sua nomenclatura, tipos, diversidade, propriedades, interações, decaimentos, etc. [5], de forma a se familiarizar com o jargão da física de partículas e suas particularidades.

Seguindo esta linha, foi realizado um estudo introdutório sobre a Teoria da Relatividade Restrita [6], abordando conceitos como observadores em referenciais inerciais, simultaneidade e dilatação do tempo, contração do espaço, a transformação de Lorentz e momento e energia relativísticos. Neste estágio a intenção foi de entendesse qualitativamente os fenômenos relativísticos e sua discrepância com o caso clássico.

Retornando ao nível clássico, foi feito um estudo sobre a Mecânica Lagrangeana e seus paralelos e discrepâncias com a abordagem Newtoniana da Mecânica Clássica [7]. Conceitos como Cálculo Variacional, o Princípio de Hamilton, a Equação de Euler-Lagrange, a Lagrangeana e suas aplicações, foram acrescentados ao arcabouço teórico. O intuito desta etapa é instruir uma visão mais geral da mecânica, uma vez que a abordagem Lagrangeana é mais ampla que a Newtoniana, uma vez que a

primeira contempla os domínios relativístico e quântico, sendo assim a linguagem ideal para tratar dos fenômenos em Teoria Quântica de Campos.

De volta à Teoria da Relatividade Retrita estudou-se o formalismo quadridimensional de Minkowski [8], linguagem matemática fundamental para o desenvolvimento posterior do projeto. A notação covariante de quadrivetores e tensores, tensor métrico e transformações de Lorentz é o modo pelo qual tratamos quantitativamente as equações de campo, e por isto se torna indispensável seu conhecimento.

A seguir, foram implementados os conceitos fundamentais da Física Quântica, por meio da disciplina optativa Introdução à Física Quântica. Em paralelo, o mesmo foi iniciado ao formalismo matemático da Mecânica Quântica [8], a partir da Notação de Dirac e propriedades do espaço de Hilbert.

No último estágio do projeto foi relacionado aos fundamentos da Teoria Quântica de Campos, através da Formulação de Integrais de Caminho, método este que leva ao cálculo das amplitudes de probabilidade a partir dos Diagramas de Feynman.

Aplicações da Mecânica Quântica como o cálculo de amplitudes de transição foram requeridas neste estágio, além do desenvolvimento de técnicas matemáticas avançadas como o método de resolução de integrais gaussianas e suas correlatas e a expansão de funções em séries de Taylor. Por se tratar de conteúdo extra-curricular, muito tempo foi demandado nestes tópicos.

Ao fim do período de vigência do projeto, estudou-se o formalismo de integrais de caminho de Feynman a partir do conceito de Funcional Gerador. A partir desta função e de sua resolução implícita, pode-se gerar os primeiros diagramas de Feynman, relacionados a uma Teoria Quântica de um campo escalar auto-interagente, a Teoria  $\lambda\Phi^4$ .

É mandatário salientar que a resolução de um diagrama em si, não envolve nada além de álgebra e cálculo diferencial e integral, mas a construção do mesmo e sua elaboração demandam um arcabouço teórico denso e trabalhoso, sobre a Física do processo envolvido.

## CONCLUSÕES:

Este trabalho tinha como um dos objetivos o cálculo de diagramas de Feynman e sua relação às Simetrias em Teoria Quântica de Campos, utilizando-se de um método calculacional chamado Regularização Implícita: um conjunto de técnicas matemáticas voltado ao cálculo de integrais divergentes[9].

Ao decorrer do andamento da proposta, contatou-se que os conhecimentos básicos necessários para o cumprimento de tal objetivo era além de extenso, muito denso: uma série de conceitos básicos fundamentais acerca da descrição microscópica do comportamento das partículas elementares (e suas interações) e as técnicas matemáticas relacionadas a esta descrição.

Tal constatação foi sendo desenvolvida ao longo do andamento da proposta, de forma que os objetivos iniciais do projeto foram sendo adaptados e reformulados, exaurindo o tempo semanal de dedicação ao projeto, mostrando que os conteúdos de estudo são mais extensos e complexos do que o projetado.

Como toda proposta inicial, este trabalho de pesquisa em ciência básica é uma tentativa de desenvolvimento de conhecimento e uma iniciativa de formação de recurso humano para atuação em linhas de pesquisa, às quais os docentes da instituição estão desenvolvendo. Como todo caminho a ser percorrido, apenas vislumbramos os obstáculos ao realizar os passos intermediários, de modo a desenvolver as técnicas sofisticadas de cálculo dos diagramas de Feynman.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] Griffiths, D., Introduction to Elementary Particles, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 2008 .
- [2] Peskin, M. E., Schroeder, D. V., Introduction to Quantum Field Theory, Westview Press, 1995.
- [3] Ryder, J. H., Quantum Field Theory, 2nd ed, Cambridge Univ. Press, 1996.
- [4] Zee, A., Quantum Field Theory in a Nutshell, 2nd ed, Princeton University Press, 2010.
- [5] A Aventura das Partículas, disponível em <<http://www.cepa.if.usp.br/aventuradasparticulas/>>, acessado em 10/01/2018.
- [6] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J., Fundamentos de Física, Óptica e Física Moderna, vol. 4, 10 ed., LTC, Rio de Janeiro, 2016.

- [7] Neto, J. B., Mecânica Newtoniana, Lagrangeana e Hamiltoniana, 2 ed., Editora Livraria da Física, São Paulo, 2013.
- [8] Bassalo, J. M. F., Eletrodinâmica Quântica, 2 ed. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2006.
- [9] Battistel, O. A., Nemes, M. C., Phys. Rev D59, 1999, 055010.

**Participação em Congressos, publicações e/ou pedidos de proteção intelectual:**

- 1) Evento: SIPEX – Seminário de Inovação, Pesquisa e Extensão – IFMG-OP, 2018