

## Projeto de Iniciação Científica (IC)

# Introdução à Teoria das Cordas

**Orientador: Diego Trancanelli**

*Departamento de Física Matemática,  
Instituto de Física, Universidade de São Paulo,  
C.P. 66318, 05315-970, São Paulo, SP, Brasil*

### Resumo

Nos últimos 40 anos a Teoria das Cordas se desenvolveu como a melhor candidata à uma teoria unificada da Natureza. Ela supõe que todas as partículas são diferentes harmônicos de pequenas cordas vibrantes, de modo similar a como os diferentes harmônicos de uma corda de violão correspondem a diferentes notas musicais. Essa premissa simples leva a implicações excitantes, ao resolver o problema centenário de reconciliar a teoria da gravitação de Einstein com as leis da mecânica quântica. Ela também leva a idéias inovadoras na matemática e ao desenvolvimento de ferramentas computacionais extremamente úteis mesmo em áreas aparentemente não relacionadas da física, por meio da celebrada dualidade entre teorias de calibre e cordas.

Nesta Iniciação Científica começaremos com um estudo introdutório da Teoria das Cordas, seguindo o livro de graduação “A first course in String Theory” por Barton Zwiebach (MIT).

# 1 Introdução e Motivação

A Teoria das Cordas é a candidata mais promissora que temos hoje em dia a uma teoria física onde todas as forças e partículas presentes na Natureza são descritas por um formalismo unificado e autoconsistente. Esta teoria propõe que todas as partículas e mediadores de forças sejam diferentes harmônicos de pequenas cordas vibrantes, de modo muito semelhante a como os diferentes harmônicos de uma corda de violão correspondem a diferentes notas musicais. Uma consequência notável dessa hipótese é a capacidade de conciliar a Mecânica Quântica com a Relatividade Geral, unificação esta que é o Santo Graal da Física Teórica desde os tempos de Einstein.

Geralmente, a Teoria das Cordas é um tópico estudado em estágios mais avançados da carreira de um estudante, de modo que não é estranho nos perguntarmos as razões para uma exposição à esta teoria desde cedo. Pelo menos três razões nos vêm à mente:

1. A Teoria das Cordas consiste de um conjunto novo e incrivelmente excitante de idéias, na vanguarda do conhecimento humano. Por esta razão, ela é altamente motivacional. Ser exposto a tal teoria pode vir a ajudar o estudante a redescobrir a paixão e o entusiasmo que o levaram a escolher uma graduação em Física em primeiro lugar, e que podem ter sido suprimidos pelo estudo de tópicos mais mundanos nos primeiros anos da graduação.
2. Além disso, a Teoria das Cordas fornece uma oportunidade de ver diversas noções básicas adquiridas nos primeiros anos da graduação (como as noções de carga, correntes, ondas, simetrias, quantização de sistemas simples, etc.) sendo aplicadas a sistemas mais complexos. Isto serve tanto como um teste quanto como um refinamento da compreensão prévia do estudante sobre estas noções.
3. Finalmente, a Teoria das Cordas é uma das áreas de pesquisa mais ativas e competitivas dos últimos anos, com ramificações se estendendo à Matemática (Topologia, Geometria Algébrica, Teoria dos Números, etc.), sistemas fortemente acoplados como plasmas de quark-glúons, e supercondutores em alta temperatura (via a celebrada “correspondência AdS/CFT”), física de partículas e cosmologia. Estas ramificações a fazem tão interessante, mas ao mesmo tempo a tornam um campo muito difícil de se adentrar. É, portanto, muito útil começar cedo a se familiarizar com a teoria para ser possível tomar o tempo necessário de se compreender, a fundo, seus princípios básicos.

## 2 Objetivos e Metodologia

O objetivo desta IC é expor o estudante a uma introdução básica à Teoria das Cordas. Maestria completa de um assunto tão vasto requeriria, naturalmente, um curso de pós-graduação em Física (e Matemática, em certos aspectos) e muitos anos de estudo, mas algumas de suas noções básicas podem ser entendidas com o que se é feito nos primeiros

dois ou três anos de graduação. Além disso, a tarefa de introduzir a Teoria das Cordas se torna muito mais viável graças ao excelente e bem-testado livro de graduação “A first course in String Theory” por Barton Zwiebach do Massachusetts Institute of Technology, livro este que pretendemos seguir à risca (ver o cronograma abaixo).

A filosofia do livro de Zwiebach é “emphasize the connections with ideas that students have learned before” [1]. Por exemplo, alunos de terceiro ano estão geralmente familiarizados com a quantização do oscilador harmônico, de tal modo que a quantização de cordas pode ser descrita como a quantização de um número infinito de osciladores harmônicos. O livro é bastante detalhado, a exposição das ideias não tem “saltos” conceituais, e o ritmo é devagar o suficiente para que o estudante possa segui-lo de modo confortável. Em particular, uma escolha que torna este livro particularmente claro para um estudante iniciante é a quantização de cordas no cone de luz, ao invés da abordagem covariante.

**Projeto** A parte prática desta IC consistirá na execução de grande parte dos exercícios propostos em [1], que são parte integral do livro e necessários para uma compreensão completa do material.

### 3 Cronograma

Aqui nós providenciamos um cronograma detalhado sobre o programa de estudos que pretendemos seguir.

#### 1. Primeira fase (2 meses)

Revisão de alguns pré-requisitos necessários: noções básicas de mecânica (formalismo Lagrangeano, equações de movimento), relatividade especial (transformações de Lorentz, coordenadas no cone de luz, energia relativística e momento, energia e momento no cone de luz), eletromagnetismo (formas diferenciais, forma covariante das equações de Maxwell, generalizações para dimensões maiores), e mecânica quântica (poço de potencial, oscilador harmônico, operadores de levantamento e abaixamento, espaço de Fock).

*Referências:* Capítulos 2, 3, e 4 de [1], capítulo 12 de [2], capítulo 2 de [3].

#### 2. Segunda fase (3 meses)

Cordas não-relativísticas, oscilações transversais, condições de contorno, partículas pontuais relativísticas, invariância de reparametrização, partículas carregadas, cordas relativísticas, a ação de Nambu-Goto, condições de contorno e D-branas, tensão da corda, equações de onda, vínculos, correntes na folha-mundo.

*Referências:* Capítulos 4, 5, 6, 7, 8 de [1].

#### 3. Terceira fase (4 meses)

Cordas relativísticas no cone de luz, campos e partículas no cone de luz, campos de Maxwell e campos de gravidade, partícula pontual quântica relativística, momento

no cone de luz e geradores de Lorentz, corda quântica relativística aberta, cordas como osciladores harmônicos, espectro, táquions e decaimentos de D-branas, corda quântica relativística fechada, operadores de Virasoro.

*Referências:* Capítulos 9, 10, 11, 12, 13, 14 de [1].

#### 4. **Quarta fase (3 meses)**

Tópicos mais avançados: breve introdução à Teoria das Supercordas, D-branas e campos de calibre, T-dualidade, termodinâmica de cordas e buracos negros, a correspondência AdS/CFT.

*Referências:* Capítulos 15, 16, 17, 18, 22, 23 de [1].

## Referências

- [1] B. Zwiebach, “A first course in string theory (2nd edition),” Cambridge, UK: Univ. Pr. (2009) 673 p.
- [2] D. Griffiths, “Introduction to electrodynamics,” Prentice Hall (1999) 597 p.
- [3] D. Griffiths, “Introduction to quantum mechanics,” Prentice Hall (1994) 408 p.