

*Física Para Institutos Federais, Universidades e
Concursos: Questões de Concursos, Vol. 6*

Mecânica Lagrangiana

Mecânica Hamiltoniana

Física Estatística

Mecânica Quântica

Antônio Nunes de Oliveira
José Wally Mendonça Menezes
Auzuir Ripardo de Alexandria
Emanuel Pinheiro Santos (Orgs.)

*Física Para Institutos Federais, Universidades e
Concursos: Questões de Concursos, Vol. 6*

Mecânica Lagrangiana
Mecânica Hamiltoniana
Física Estatística
Mecânica Quântica



Editora Livraria da Física
São Paulo — 2026

Copyright © 2026 Editora Livraria da Física

1a. Edição

Editor: VICTOR PEREIRA MARINHO / JOSÉ ROBERTO MARINHO

Projeto gráfico e diagramação: THIAGO AUGUSTO SILVA DOURADO

Capa: FABRÍCIO RIBEIRO

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Física para institutos federais, universidades e concursos : questões de concursos, vol. 6 : mecânica lagrangiana, mecânica hamiltoniana, física estatística, mecânica quântica / Antônio Nunes de Oliveira (orgs.)... [et al.]. -- São Paulo : LF Editorial, 2026. -- (Física para institutos federais, universidades e concursos : questões de concursos ; 6)

Outros organizadores: José Wally Mendonça Menezes, Auzuir Ripardo de Alexandria, Emanuel Pinheiro Santos

Bibliografia.

ISBN 978-65-5563-821-9

1. Concursos públicos - Exames, questões etc. 2. Concursos públicos - Guias de estudo 3. Física - Estudo e ensino I. Oliveira, Antônio Nunes de. II. Menezes, José Wally Mendonça. III. Alexandria, Auzuir Ripardo de. IV. Santos, Emanuel Pinheiro. V. Série.

26-397410.0

CDD-530.07

Índices para catálogo sistemático:

1. Física : Estudo e ensino 530.07

Camila Aparecida Rodrigues – Bibliotecária CRB – SP-010133/O

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra poderá ser reproduzida sejam quais forem os meios empregados sem a permissão da Editora. Aos infratores aplicam-se as sanções previstas nos artigos 102, 104, 106 e 107 da Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

Impresso no Brasil

Printed in Brazil



www.lfeditorial.com.br

Visite nossa livraria no Instituto de Física da USP

www.livrariadafisica.com.br

Telefones:

(11) 39363413 - Editora

(11) 38158688 - Livraria

Os Autores

Antônio Nunes de Oliveira

Docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Cedro

Docente no Mestrado Acadêmico em Ensino de Ciências e Matemática do IFCE (PGECM-IFCE)

Docente no Mestrado Profissional em Ensino de Física, polo 23 – UECE.

Doutor em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Doutorando em Ensino pelo programa de Pós-Graduação em ENSINO da Rede Nordeste de Ensino (RENOEN-IFCE)

Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Federal do Ceará (UFC)

Graduado em Física pela Universidade Estadual do Ceará (UECE)

José Wally Mendonça Menezes

Docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Fortaleza

Professor do doutorado em Ensino, da Rede Nordeste de Ensino (RENOEN)

Professor do Departamento de Telemática e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Telecomunicações (PPGET)

Doutor em Física pela Universidade Federal do Ceará (UFC)

Auzuir Ripardo de Alexandria

Docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Fortaleza

Professor do doutorado em Ensino, da Rede Nordeste de Ensino (RENOEN)

Professor do Departamento de Telemática e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Telecomunicações (PPGET)

Professor do Programa de Pós-graduação em Energias Renováveis (PPGER)

Emanuel Pinheiro Santos

Docente da Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL), Campus VI – Maceió

Doutorado em Física na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Licenciado em Física pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Demais autores

Filipe Henrique de Castro Menezes

Doutor em Física pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Mestre em Física pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Felipe Costa Melo Cunha

Docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Acopiara

Mestre em Ensino de Física pela Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Coleção

VOLUME 1

Capítulo 1 — Medidas, Análise Dimensional, Vetores e Cinemática

Capítulo 2 — Leis de Newton e Aplicações

Capítulo 3 — Trabalho, Energia e Conservação da Energia

Capítulo 4 — Gravitação Universal

VOLUME 2

Capítulo 5 — Rotações

Capítulo 6 — Mecânica dos Fluidos

Capítulo 7 — Oscilações

Capítulo 8 — Ondas Mecânicas

VOLUME 3

Capítulo 9 — Temperatura

Capítulo 10 — Dilatação Térmica

Capítulo 11 — Calor

Capítulo 12 — Leis da Termodinâmica

VOLUME 4

Capítulo 13 — Eletrostática

Capítulo 14 — Circuitos Elétricos

Capítulo 15 — Magnetismo

Capítulo 16 — Ótica

VOLUME 5

Capítulo 17 — Relatividade Restrita

Capítulo 18 — Radiação Térmica

Capítulo 19 — Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton

Capítulo 20 — Modelos Atômicos e dualidade onda-partícula

VOLUME 6

Capítulo 21 — Mecânica Lagrangiana

Capítulo 22 — Mecânica Hamiltoniana

Capítulo 23 — Física Estatística

Capítulo 24 — Mecânica Quântica

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a todas as pessoas que nos incentivaram a trilhar esse caminho e aqueles que lerão este livro buscando alcançar sucesso em alguma disciplina ou em ser aprovado em algum concurso público. Espero que o conteúdo aqui presente seja útil e que possa contribuir para o sucesso de cada um de vocês.

Agradecemos também a todos os profissionais envolvidos na produção deste livro, desde os demais autores, editores até os designers e revisores que dedicaram seu tempo e esforço para que esta obra pudesse ser concretizada. Sem a colaboração de todos vocês, nada disso seria possível.

Prof. Antônio Nunes de Oliveira

Prefácio 1

Estou extremamente feliz e realizado por ter sido aprovado em primeiro lugar, dentre mais de 730 candidatos, no concurso para o IF de Sergipe em 2024. Confesso que quase desisti de participar do certame, pois fazia cerca de 20 anos que não estudava muitos dos conteúdos exigidos na prova. Felizmente, a coleção *Física Para Institutos Federais, Universidades e Concursos: Questões de Concursos* foi fundamental para a minha aprovação.

Essa coletânea se mostrou de extrema importância, oferecendo um estudo focado e eficiente. Os livros trazem questões muito bem selecionadas para a prova objetiva, com resoluções detalhadas tanto no texto quanto em vídeos, o que facilita muito o aprendizado e a compreensão dos conceitos. Além disso, as dicas preciosas para a prova didática foram minuciosas e me deram a segurança necessária para essa etapa. Mesmo estando há tanto tempo sem estudar alguns conteúdos, consegui rapidamente relembrar o essencial com os resumos concisos no início de cada capítulo e praticar a resolução de questões. A combinação dos livros, os vídeos com resoluções e a comunidade de colegas no grupo do WhatsApp proporcionaram um ambiente de estudo excelente, permitindo que eu ganhasse confiança na resolução das questões de forma rápida e eficaz.

Sou profundamente grato aos autores desta coletânea. Tenho certeza de que esses livros já se tornaram clássicos da Física Brasileira e

recomendo fortemente a todos que estão se preparando para concursos na área.

Marcelo Victor Pires de Sousa

APROVADO em 1º LUGAR no IFS em 2024

Prefácio 2

Escrever o prefácio desta coleção de Física, composta por seis volumes reunidos sob o título *Física para Institutos Federais, Universidades e Concursos*, é, para mim, antes de tudo, um gesto de gratidão.

Ao longo da minha trajetória como concurseiro, em busca da aprovação em Institutos Federais e em outros concursos públicos, encontrei nesta coleção um apoio que foi muito além de simples livros didáticos. Os volumes publicados tornaram-se companheiros constantes dos meus estudos, ajudando-me a construir uma base sólida de conhecimentos e a desenvolver a confiança necessária para enfrentar provas objetivas, discursivas e didáticas.

Foi com o auxílio direto dessa coleção que consegui trilhar o caminho até minhas aprovações em concursos como os do IFS, do IF Sertão PE e do IFPI. Em cada etapa dessa caminhada, os livros da Comunidade da Física estiveram presentes, organizando conceitos, esclarecendo dúvidas, oferecendo exercícios desafiadores e, sobretudo, mostrando que é possível aprender Física de forma clara, acessível e, ao mesmo tempo, aprofundada.

As questões apresentadas ao longo da coleção foram cuidadosamente selecionadas e direcionadas às provas de concursos de diferentes bancas, sempre com foco na realidade dos certames para o cargo de professor de Física. Isso torna o estudo mais objetivo, eficiente e alinhado às exigências

dos concursos, aproximando o leitor do nível de dificuldade e do estilo das questões encontradas nos exames.

Este volume, que encerra o planejamento inicial da coleção, reúne problemas clássicos das áreas de Mecânica Lagrangiana, Mecânica Hamiltoniana, Mecânica Estatística e Mecânica Quântica. Ao longo dos seis volumes, são contemplados praticamente todos os conteúdos previstos nos editais para concursos de professor de Física e nos principais exames de pós-graduação, constituindo um verdadeiro guia para aqueles que desejam uma preparação séria, organizada e consistente.

Mais do que uma coletânea de questões e resumos teóricos, esta coleção oferece uma trilha de estudos estruturada, auxiliando o concurseiro a organizar sua preparação, revisar conceitos fundamentais e praticar por meio de questões que dialogam diretamente com o perfil dos concursos de Institutos Federais, Universidades e outras instituições de ensino, bem como com exames de pós-graduação, como o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e o Exame Unificado de Física (EUF).

Escrevo este prefácio como alguém que foi diretamente beneficiado por esse trabalho e que testemunhou, na prática, o impacto positivo que ele pode exercer na vida de quem decide enfrentar o desafio dos concursos públicos.

Desejo que este livro seja, para você, leitor, o que essa coleção foi para mim: um aliado fiel durante a preparação, um instrumento de aprendizagem consistente e um apoio seguro nos momentos em que a caminhada parecer mais difícil. Com disciplina, perseverança e um material de qualidade, o caminho da aprovação deixa de ser apenas um sonho distante e passa a se tornar uma meta concreta e plenamente alcançável.

Prof. Dr. Antonio Edinaldo de Oliveira Ferreira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano
Campus Petrolina Zona Rural

Apresentação

A melhor forma de você fixar conteúdos, testar habilidades e expertise diante de situações-problema e avaliar sua aprendizagem é resolvendo questões. Por esse motivo, todo bom livro traz uma ou mais listas de exercícios para que o estudante possa praticar e se autoavaliar. Nos livros planejados para a coleção *Física para Institutos Federais, Universidades e Concursos*, há uma coletânea de problemas de Física que estiveram em concursos anteriores dos Institutos Federais e similares.

Mais de uma centena de pessoas já utilizaram os livros desta coleção em sua preparação e alcançaram o êxito almejado. Espero que esta obra também possa acompanhá-lo e orientá-lo ao longo de sua trajetória, contribuindo para o aprimoramento de seus conhecimentos, o fortalecimento de sua preparação e, sobretudo, para a tão desejada aprovação e conquista de uma vaga no serviço público.

Prof. Antônio Nunes de Oliveira

Suas sugestões para o aprimoramento desta obra serão muito bem-vindas e podem ser enviadas para o e-mail prof.nunesviera@gmail.com.

Visite nosso canal no YouTube: “Física para Universidades e Concursos” — <https://is.gd/FisicaParaUniECon>, lá você encontrará soluções de questões do ENADE, concursos públicos, exames de pós-graduação, entrevistas com físicos nacionais e atividades de divulgação científica.

Acompanhe novidades, conteúdos e informações sobre a coleção no **Instagram:**
@fisparauniecon

Grupo Exclusivo



<https://chat.whatsapp.com/BWSc1cf0PXP7gmD7cB1W77>

Sumário

Os autores	VII
A coleção	IX
Agradecimentos	XI
Prefácio 1	XIII
Prefácio 2	XV
Apresentação	XVII
21 Mecânica Lagrangiana	1
22 Mecânica Hamiltoniana	81
23 Mecânica Estatística	127
24 Mecânica Quântica	171
Bibliografia	241

21. Mecânica Lagrangiana

Antônio Nunes de Oliveira

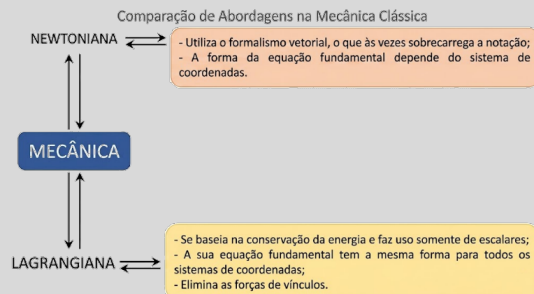
Felipe Costa Melo Cunha

Emanuel Pinheiro Santos

MECÂNICA LAGRANGIANA

A formulação lagrangiana da mecânica clássica é uma formulação de caráter mais geral do que a Mecânica newtoniana. Embora leve aos mesmos resultados obtidos através da aplicação das leis de Newton (formulação newtoniana), difere desta pelo fato de ser baseada nas restrições de cada sistema físico. Também, pelo formalismo matemático empregado, em especial, quando tratamos de sistemas mecânicos com vínculos (restrições de natureza geométrica ou cinemática ao movimento de uma dada partícula ou sistema).

Figura 21.1: Formulação newtoniana versus formulação lagrangiana.



Fonte: Os autores (2026).

COORDENADAS GENERALIZADAS

Na descrição do movimento de um dado objeto ou partícula material, é costume sempre se buscar um número mínimo de coordenadas independentes para especificar o seu movimento. Tal conjunto de coordenadas recebe o nome de *coordenadas generalizadas* e são representadas por:

$$q_\alpha = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_N), \quad (21.1)$$

onde α varia de 1 a N , em que N é o número de graus de liberdade (isto vale sempre que os vínculos forem holônomos). Existem sistemas não-holônomos (sistemas cujos vínculos não podem ser descritos por equações, são geralmente descritos por desigualdades), em tais sistemas o número de graus de liberdade não confere com o número de coordenadas generalizadas.

PRINCÍPIO DE HAMILTON E EQUAÇÕES DE LAGRANGE

Seja um determinado sistema caracterizado por uma função L das N coordenadas generalizadas e de suas respectivas velocidades generalizadas,

$$L = L(q_1, q_2, \dots, q_N; \dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_N), \quad (21.2)$$

onde a função L é denominada de *função de Lagrange* ou *lagrangiana* do sistema. A configuração (estado) deste sistema num determinado instante de tempo t é fornecida pelos valores das N coordenadas generalizadas e das N velocidades generalizadas.

A evolução do sistema de uma configuração 1 para uma configuração 2 é tal que a quantidade $S[q]$, denominada *Ação*, é dada por:

$$S[q] = \int_{t_1}^{t_2} L[q_i, \dot{q}_i, t] dt. \quad (21.3)$$

O *Princípio de Hamilton* ou *Princípio da ação mínima* pode ser enunciado da seguinte forma: *A evolução do sistema da*