

PONTÍFICA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
ESCOLA DE CIÊNCIAS EXATAS E DA COMPUTAÇÃO  
GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA



**AS LEIS DE NEWTON E SUA INTERDISCIPLINARIDADE**

VALTER DIVINO BORGES

GOIÂNIA

2020

VALTER DIVINO BORGES

## **AS LEIS DE NEWTON E SUA INTERDISCIPLINARIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Ciências Exatas e da Computação, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciatura Plena em Física.

Orientador: Dr. André Luiz Cardoso da Silva

Co-orientador: Ms. Edson Vaz de Andrade

GOIÂNIA

2020

VALTER DIVINO BORGES

## **AS LEIS DE NEWTON E SUA INTERDISCIPLINARIDADE**

Este Trabalho de Conclusão de Curso julgado adequado para obtenção do título de Licenciatura em Física, e aprovado em sua forma final pela Escola de Ciência Exatas e da Computação, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

---

Prof. Ms. Ludmilla Reis Pinheiro dos Santos  
Coordenador(a) de Trabalho de Conclusão de Curso

Banca examinadora:

---

Orientador(a): Dr. André Luiz Cardoso da Silva

---

Professor: Dr. Clóves Gonçalves Rodrigues

---

Professor: Ms. Edson Vaz de Andrade

GOIÂNIA

2020

Dedico à Minha Família, que sempre me apoiou nesse sonho e me deu a força necessária para chegar até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter guiado meus passos até aqui e depois a minha esposa Cleonice Teodora de Sousa Borges, por ter me apoiado durante toda essa jornada, e aos meus filhos Valter Divino Borges Junior, Camila Borges de Sousa e Bruno Borges de Sousa, que são os meus maiores presentes e a minha maior motivação na vida, e agradeço também a minha neta Sophia Borges de Sousa Bueno, que sempre alegrou e alegra os meus dias em momentos difíceis vividos nessa árdua jornada.

Aos meus colegas, por estarmos sempre juntos dividindo os momentos de dificuldade ao longo dos anos de curso. E a todos os professores da PUC/Goiás, por terem contribuído com a minha formação, de forma direta ou indireta.

Em especial, gostaria de agradecer ao meu orientador, Dr. André Luiz Cardoso da Silva, por ter me auxiliado e direcionado durante todo o percurso de elaboração e apresentação do meu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) e ao Coordenador do curso Dr. Anderson Silva, pela organização do curso de Física.

A natureza e suas leis ocultavam-se nas Trevas, Deus disse “Que Newton se faça”, e fez-se a Luz.

**Alexander Pope** (1688-1744)

## RESUMO

No estudo da mecânica newtoniana, o essencial é a compreensão das leis de Newton em profundidade. Se isso acontecer, ficará fácil perceber que todos os outros fenômenos a serem estudados, são consequências dessas três leis básicas do movimento, formuladas por Isaac Newton. Dentre elas, a segunda lei Newton, conhecida como o princípio fundamental da mecânica, é a de maior complexidade por sua interdisciplinaridade e a menos compreendida pelos alunos ao saírem de um curso de física básica no ensino médio. É comum encontrar alunos descrevendo a segunda lei de Newton como simplesmente o produto da massa pela aceleração, ou como um caso especial de lei para a descrição da primeira lei, ou lei da Inércia. Esse trabalho tem por objetivo discutir e esclarecer as principais dúvidas e equívocos que surgem ao se estudar a segunda lei de Newton, bem como apresentar uma proposta de aplicação em sala de aula, que possibilite uma compreensão mais detalhada dessa lei e sua interdisciplinaridade.

**Palavras-chave:** Segunda lei de Newton, Interdisciplinaridade, dinâmica newtoniana

## **ABSTRACT**

In the study of Newtonian mechanics, the essential thing is to understand Newton's laws in depth. If this happens, it will be easy to see that all the other phenomena to be studied are consequences of these three basic laws of motion formulated by Isaac Newton. Among them, the second Newton law, known as the fundamental principle of mechanics, is the most complex due to its interdisciplinarity and the least understood by students when they leave a basic physics course. It is not common to find students describing Newton's second law as simply the product of mass by acceleration or as a special case of law for describing the first law, or law of inertia. This work aims to discuss and clarify the main doubts and misunderstandings that arise when studying Newton's second law, as well as presenting a proposal for presentation in the classroom that allows a deeper understanding of this law and its interdisciplinary applications.

**Keywords:** Newton's Second Law, Interdisciplinarity, Newtonian Dynamics.

## LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 (a) Foto de Hannah Ayscough Smith, mãe de Isaac Newton (acima). (b) A casa onde nasceu Isaac Newton (abaixo), Fonte: <a href="https://www.viajonaarios.com.br/casa-isaac-newton">https://www.viajonaarios.com.br/casa-isaac-newton</a> .....	16
Figura 2-King's Grammar School, localizada em Grantham no condado de Lincolnshire. Fonte: From Wikipédia Commons, the free média repositior.....	18
Figura 3-Universidade de Cambridge na época de Newton. Fonte: From Wikipedia Commons, the free média repositior.....	19
Figura 4-Universidade de Cambridge na época de Newton. Fonte: Frank J. Swetz (The Pennsylvania State University, 2015) - "Mathematical Treasure: Newton's Principia Mathematica," .....	21
Figura 5-Ilustração da lenda da Maçã que cai na cabeça de Newton. Fonte: <a href="https://ciencianamidia.wordpress.com/2010/01/20/e-entao-a-maca-nao-caiu-na-cabeca-de-newton/">https://ciencianamidia.wordpress.com/2010/01/20/e-entao-a-maca-nao-caiu-na-cabeca-de-newton/</a> .....	22
Figura 6-Teorema fundamental do cálculo. Fonte: Princípios Matemáticos da Filosofia Natural: A lei de inércia. ....	35
Figura 7-Ilustração de estudo da biomecânica na educação física. Fonte: <a href="http://www.educacaofisicaa.com.br">www.educacaofisicaa.com.br</a> .....	51
Figura 8-Exemplo da aplicação da 1º Lei de Newton. Fonte <a href="https://blogpilates.com.br/pilates-aplicado-as-lutas/">https://blogpilates.com.br/pilates-aplicado-as-lutas/</a> .....	52
Figura 9 Movimento completo de um rolamento para frente. Fonte: <a href="http://carla-amaral.blogspot.com/p/ginastica.html">http://carla-amaral.blogspot.com/p/ginastica.html</a> .....	52
Figura 10-Movimento completo de um salto em altura. Fonte <a href="https://www.aprovaconcursos.com.br/questoes-de-concurso/questao/644824">https://www.aprovaconcursos.com.br/questoes-de-concurso/questao/644824</a> .....	53
Figura 11-Movimento completo da cadeira extensora. Fonte: <a href="http://musculacaoectomorfo.com">http://musculacaoectomorfo.com</a> .....	54
Figura 12-Aplicação da 3º Lei de Newton. Fonte: <a href="https://www.jornale.com.br">https://www.jornale.com.br</a> .....	55
Figura 13-Aplicação da 3º Lei de Newton no jogo de vôlei. Fonte: <a href="https://www.efdeportes.com/efd185/saque-tipo-tenis-do-karate-shotokan.htm">https://www.efdeportes.com/efd185/saque-tipo-tenis-do-karate-shotokan.htm</a> .....	55
Figura 14-O supercomputador "Sdumont" localizado em Petrópolis/RJ. Fonte: LNCC (Laboratório Nacional de Computação Científica). ....	58

Figura 15-Ponte de Tacoma Nowrrows em 1940. Fonte: Disponível em:  
[www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/ressonancia.php](http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/ressonancia.php). Acesso em: 24 fev.  
2020..... 60

Figura 16-A ideia do modelo “Car-following” proposto pela GM (acima). (acima) Fonte:  
Wikipedia. Fluxo de carro na alameda botafogo, Goiânia (abaixo). Fonte: O Popular.64Figura  
17-Um perito criminal (acima). Fonte: Wikipedia. .... 66

## Sumário

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 VIDA E OBRA DE ISAAC NEWTON</b> .....	<b>15</b>
2.1 Introdução .....	15
2.2 Nascimento de um Gênio .....	15
2.3 A Vida Escolar de Isaac Newton .....	17
2.4 Cambridge e a Peste Negra .....	19
2.5 Cronologia: Isaac Newton .....	22
2.5 Formulação dos conceitos científicos. ....	27
2.6 A construção da dinâmica Newtoniana .....	33
2.6.1 <i>PRIMEIRA LEI DE NEWTON: A LEI DA INÉRCIA</i> .....	36
2.6.2 Aristóteles (385a.C- 322 a.C) .....	37
2.6.3 Johannes Kepler (1571-1630) .....	39
2.6.4 René Descartes (1596-1650) .....	40
2.7 As Leis de Newton .....	41
2.7.1 <i>PRIMEIRA LEI DE NEWTON: LEI DA INÉRCIA</i> .....	41
2.7.2 <i>SEGUNDA LEI DE NEWTON: PRINCÍPIO FUNDAMENTAL DA DINÂMICA</i> .....	43
2.7.3 <i>TERCEIRA LEI DE NEWTON: LEI DA AÇÃO E REAÇÃO</i> .....	45
<b>3 A INTERDISCIPLINARIDADE DA DINÂMICA NEWTONIANA</b> .....	<b>46</b>
3.1 Introdução .....	46
3.2 A Segunda Lei do Movimento e a sua interdisciplinaridade .....	49
3.2.1 <i>A BIOMECÂNICA</i> .....	50
3.2.1.1 Lei da Inércia – Biomecânica .....	51
3.2.1.2 Princípio Fundamental da Dinâmica - Biomecânica .....	52
3.2.1.3 Ação e Reação - Biomecânica .....	54
3.2.2 <i>A Simulação de Dinâmica Molecular</i> .....	56
3.2.3 <i>Controle de Vibrações</i> .....	58
3.2.4 <i>Controle de Fluxo de Tráfego de Veículos</i> .....	62
3.2.5 <i>PERÍCIA CRIMINAL</i> .....	65
<b>4 CONCLUSÕES FINAIS</b> .....	<b>68</b>
<b>APÊNDICE A – ALGUMAS BIOGRAFIAS</b> .....	<b>699</b>
<b>APÊNDICE B - TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE PUBLICAÇÃO DE PRODUÇÃO ACADÊMICA</b> .....	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>72</b>



## 1.INTRODUÇÃO

Quando se estuda a dinâmica newtoniana ou simplesmente “dinâmica” no ensino médio o essencial é a compreensão das três “leis de Newton” em profundidade. “Se isso acontecer, ficará fácil perceber que todos os outros fenômenos a serem estudados, são consequências dessas três leis básicas do movimento, formuladas pela primeira vez por Isaac Newton em 1666, em sua obra “*Principia Mathematica Philosophiæ Naturalis*”, usualmente chamada de *Principia*” (SILVA, 2018).

A primeira lei, conhecida como “lei da Inércia”, é a de maior complexidade didático-pedagógica e a menos compreendida pelos alunos ao saírem de um curso de física básica. Não é incomum encontrar alunos descrevendo a primeira lei como um caso particular segunda lei, ou “princípio fundamental da dinâmica” usando a ideia de força. Outra dificuldade, é encontrada na terceira lei ou “lei da ação e reação”, em que nem sempre é verdadeira. Ela falha quando se refere a forças eletromagnéticas, por exemplo, ou quando fala da interação de corpos significativamente separados ou rapidamente acelerados.<sup>1</sup> Um pequeno olhar para essas leis, percebe-se a importância do conceito de força (CARDOSO DIAS, 2006).

O “conceito de força” é hoje em dia considerado uma das ideias fundamentais das teorias físicas atuais, e tem sido abordado por vários autores em diferentes linhas de pensamento, do ponto de vista histórico, por argumentos filosóficos, por um tratamento didático-pedagógico e pela sua interdisciplinaridade (CHIBENI, 1991).

Em geral, na maioria dos textos, ele é tido como verdadeiro e considerado sancionado por suas aplicações bem-sucedidas, nas diferentes áreas do conhecimento.

Os livros didáticos do ensino médio e até os tratados complexos, fornecem poucas informações, se é que o fazem, sobre a natureza do conceito; seu caráter problemático é completamente ignorado no labirinto das utilizações práticas. Reconhecidamente, o estudo dos aspectos interdisciplinares da geração de conceitos na dinâmica newtoniana não é uma tarefa simples. Além de rigorosa formação

---

<sup>1</sup> Maiores informações sobre esse é possível encontrar no livro de Mecânica Clássica capítulo 2 do Symon 5ª edição

histórica e filológica, necessária ao domínio habilidoso do material original, ele exige a compreensão da teoria física para que possa comparar e interpretar criticamente as fontes em debate e avaliar seu significado para a ciência (CARDOSO DIAS, 2006).

A ideia de força já estava presente no pensamento pré-científico, carregada de conotações metafísicas (VEIT et al., 2006). Na aurora da revolução científica, Kepler lançou mão dela para relacionar as alterações na velocidade dos planetas e na distância deles em relação ao Sol. Com a dinâmica de Newton, a força passou a reinar na “física moderna” (BARBATTI, 1999). Desempenhou um papel construtivo no progresso da ciência, até que as novas concepções da física de campos a destronaram. O conceito newtoniano de força teve origem na preocupação com problemas de dinâmica celeste. Os “*Principia*” foram escritos de maneira geométrica como um sistema hipotético-dedutivo.

O que sabemos não nos permite chegar às conclusões incontroversas sobre sua gênese psicológica, ou seja, o desenvolvimento intelectual do trabalho. Mas é claro que a ordem de apresentação do livro, não refletiu necessariamente a sequência original das ideias na mente do autor. Mesmo assim, uma possível confirmação dessas ideias pode ser lida no prefácio de Newton à primeira edição:

“Este trabalho constitui os princípios matemáticos da filosofia, pois a tarefa da filosofia parece constituir nisto: investigar, a partir dos fenômenos dos movimentos, as forças da natureza e, a partir dessas forças, demonstrar os outros fenômenos”. [NEWTON, 1784].

Nos cursos regulares de ensino médio, ou em cursos superiores, o conceito de força aparece na segunda lei de Newton, a mais simples das três leis do movimento e seu equacionamento é imediato, tão logo se tenha identificado o sistema e sua vizinhança com seus vínculos. A segunda lei é, e entendemos que não deva deixar de ser, um dos focos centrais de qualquer curso introdutório de dinâmica newtoniana; porém se insistirmos em explorá-la somente de modo analítico, limitar-nos-emos à Física de centenas de anos atrás. Aliás, talvez nem mesmo chegássemos a tanto, pois como os estudos do ensino médio ou ingressantes no ensino universitário geralmente não apresenta conhecimentos suficientes para resolver uma equação diferencial, os problemas abordados costumam se limitar aos mais simples.

Mesmo nestes casos, muitas vezes, é investido um longo tempo na solução matemática do problema, sem que seja dada a devida ênfase à situação física,

relegada a um segundo plano. Neste sentido, neste TCC nos preocupamos com abordagem interdisciplinar da segunda lei de Newton, dividindo o conteúdo em três capítulos. (BARBATTI, 1999).

No capítulo 2, falaremos um pouco sobre Isaac Newton, sua vida e obra até a formulação de suas leis da mecânica. No capítulo 3, discutiremos a interdisciplinaridade da dinâmica newtoniana. Apresentaremos algumas aplicações do conceito de força em diferentes áreas do conhecimento.

No Capítulo 4, faremos as conclusões finais.

## **2 VIDA E OBRA DE ISAAC NEWTON**

### **2.1 Introdução**

No início de cada ano escolar, o professor se depara com várias turmas de alunos para os quais pretende ensinar o que estabelece os programas curriculares. Essa parece ser a prática rotineira no ambiente escolar. No entanto os saberes escolares vêm sendo cada vez mais colocada em questão. Ou seja, as exigências do mundo moderno fazem com que a pertinência do que se ensina na escola e a formação que ela oferece sejam questionadas. Mais que em outras épocas, os alunos resistem em aderir ao projeto de ensino, externando um sentimento de dúvida em relação à preparação que estariam recebendo para enfrentar as dificuldades que supostamente esperam encontrar em suas vidas.

Mais que em outras áreas, no caso do ensino de ciências de modo geral, e da Física em particular, isso se torna evidente. Quando se ensina o conceito de “força” a um aluno do ensino médio, o professor se depara com duas perguntas frequentes, “quem desenvolveu esses conceitos?” e “onde se aplicam esses conceitos em minha vida como profissional?”. A primeira pergunta será abordada nesse capítulo; vamos abordar sobre a vida e obra de Sir Isaac Newton, do seu nascimento, passando por sua vida acadêmica e suas maiores descobertas científicas, pois é a contribuição científica das descobertas de Newton são de suma importância para inúmeras áreas do conhecimento.

A segunda pergunta será abordada nos capítulos 3 e 4 deste TCC.

### **2.2 Nascimento de um Gênio**

No dia 25 de dezembro de 1642, na cidade de Woolsthorpe em um condado situado na região leste da Inglaterra, no Reino Unido (veja, Figura 1), a senhora Hannah Ayscough Smith (1623-1679) ou simplesmente “Hannad Newton”, deu à luz ao seu primogênito, um menino que nasceu prematuramente que se estima por volta dos 7 meses de gestação. Seu pai, um jovem agricultor de 36 anos, havia morrido dois meses antes de seu nascimento e pouco se sabe sobre ele, então sua mãe Hannad Newton deu a essa criança o nome de seu pai Isaac, como modo de homenagear o marido já falecido, então o nome da criança passou a ser Isaac Newton.



**Figura 1 (a) Foto de Hannah Ayscough Smith, mãe de Isaac Newton (acima). (b) A casa onde nasceu Isaac Newton (abaixo), Fonte: <https://www.viajonarios.com.br/casa-isaac-newton>.**

Pelo fato de Newton ter nascido prematuro, ele tinha poucas chances de sobreviver. Em uma conversa de Sir. Isaac Newton, muito anos depois, falando a história de seu nascimento *Jonh Contuitt* diz o seguinte:

“Sir. I. N. contou-me terem-lhe dito que, quando nasceu, ele era tão pequeno que podia ser colocado numa vasilha pequena, e tão fraco que era forçado a ficar com uma almofada enrolada no pescoço para mantê-lo ereto sobre os ombros, e com tão pouca probabilidade de viver que, quando duas criadas foram enviadas à casa de Lady Pakenham, em North Witham, para buscar alguma coisa para ele, as duas sentaram-se nos degraus de uma cerca no caminho e disseram não haver motivo de pressa, pois tinham certeza de que o

menino estaria morto antes que conseguiram voltar.” (CONDUITT. apud. WESTFAL, 1995, p.20).

Apesar de tudo conspirar contra a vida de Isaac Newton, ele conseguiu se salvar, porém a sua infância foi complicada e repleta de momentos, que acredita-se terem um forte impacto na sua personalidade e no seu comportamento. Após o falecimento de seu pai e seu nascimento conturbado, sua mãe aceitou proposta de casamento do diretor da paróquia vizinha, do norte de Witter, o senhor Barnabas Smith, e assim foi morar junto ao seu novo marido deixando seu primogênito aos cuidados de seus pais os Ayscough.

Durante seus primeiros 8 anos de vida ele praticamente não viu a sua mãe, retornando a ter convívio com sua progenitora apenas no ano de 1653, quando o seu então padrasto veio a falecer, fazendo com que sua mãe voltasse a morar com ele, juntamente com seus meio-irmãos, fruto do segundo casamento dela. Sendo assim, Newton passou a desempenhar o papel de irmão mais velho, o que claramente não era do seu agrado. Segundo Brennam “qualquer que tenha sido a causa, Newton se tornou um homem angustiado, com uma personalidade neurótica” e este rótulo o acompanhou por toda a vida.

### **2.3 A Vida Escolar de Isaac Newton**

Com o retorno de sua mãe ao seu convívio, ela mandou Newton para estudar na King's Grammar School, que fica localizada em Grantham, no condado de Lincolnshire. Até então ele nunca tinha ido para a escola; estima-se que ele começou a frequentar a escola por volta dos seus 12 ou 13 anos de idade.

Porém ele sempre foi um garoto muito introvertido e solitário, por esse motivo não fez muitos amigos durante a sua trajetória escolar, e até então não demonstrava grande interesse pelos estudos. Newton, apesar de ser essencialmente pacífico, certa vez na escola ao ser agredido por um de seus colegas na entrada da sala de aula, esperou o término do dia para então revidar a agressão, e embora fosse um menos robusto do que o seu adversário, devido a sua tenacidade, que de certo modo lhe concedeu uma vantagem, ele venceu o duelo de socos, agarrando o seu adversário pelas orelhas, obrigou-o a beijar o chão, depois desse dia ele não sofreu mais agressões na escola.



**Figura 2-King's Grammar School, localizada em Grantham no condado de Lincolnshire. Fonte: From Wikipédia Commons, the free média repositior.**

Nesse período em que estava longe da sua família para estudar, Isaac Newton dividia o quarto com o Sr. Clark, que possuía uma pequena farmácia (que na época não possuía esse nome e sim boticário). Foi então que ele começou a ter um grande interesse pelo conteúdo que havia dentro dos frascos. Vendo o interesse que Isaac Newton tinha pelos misteriosos frascos e pelo processo de engarrafamento que Clark ensinou a ele como misturar as porções, e lhe deu acesso aos seus livros. Dentre os livros dos quais teve acesso, o que mais lhe chamou atenção foi: “Os Mistérios da Natureza e da Arte” de John Bates, pois nele possuía várias receitas e diagramas de brinquedos mecânicos.

Com isso ele passou a construir os seus próprios brinquedos como pipas e pequenos moinhos de ventos e até mesmo um relógio d'água. Então, nesse momento, Newton encontrou na ciência um refúgio para sua vida sem amor e solitária. Logo, com esse seu despertar, ele começou a sobressair aos seus colegas de estudos e em pouco tempo tornou-se o melhor aluno da escola.

Quando ele tinha 17 anos, a sua mãe então chamou para voltar para casa em Woolstrop, pra tomar conta da fazenda, porém ele não obteve êxito com as atividades da fazenda. Então um professor de Isaac Newton, o senhor Henry Stokes ciente de toda a sua genialidade conversou com sua mãe Hannah, para que o deixasse se candidatar para a Universidade; ela hesitou no começo, mas depois de algum tempo

acabou aceitando, mandando-o assim, de volta para a cidade de Grantham, para se preparar para a Universidade de Cambridge (Figura 3) que fica ao Leste da Inglaterra.

#### 2.4 Cambridge e a Peste Negra

No ano de 1660, o então pupilo do senhor Stoke, foi aceito na faculdade de Trinity de Cambridge, porém ele entrou na qualidade de “subsizar”, um estudante pobre que ganhava sua subsistência fazendo tarefas servis para professores e alunos mais abastados. Os “subsizars” estavam no nível mais baixo da rígida estrutura social de Cambridge. (BRENNAM. 1998). Mesmo sendo afortunado, não se sabe ao certo o motivo que fez com que ele precisa-se passar essa situação. Especula-se que sua mãe apesar de aceitar seu ingresso para a Universidade, não deu o apoio financeiro necessário.

Ao ingressar na faculdade o seu comportamento perante os demais sempre foi diferente, pois ele não se portava como um simples calouro e sim como um estudante de pós-graduação, já que ele realizava as leituras e trabalhos que julgava mais pertinentes. As Universidades inglesas sempre adoram o método de tutoria, que nada mais é do que um professor veterano que fica responsável por “encaminhar” os alunos calouros em seus estudos e leituras. Sendo assim, o tutor de Newton era um fidalgo de nome Benjamin Pulleyn, que porém que não teve influência alguma na vida de seu então calouro.



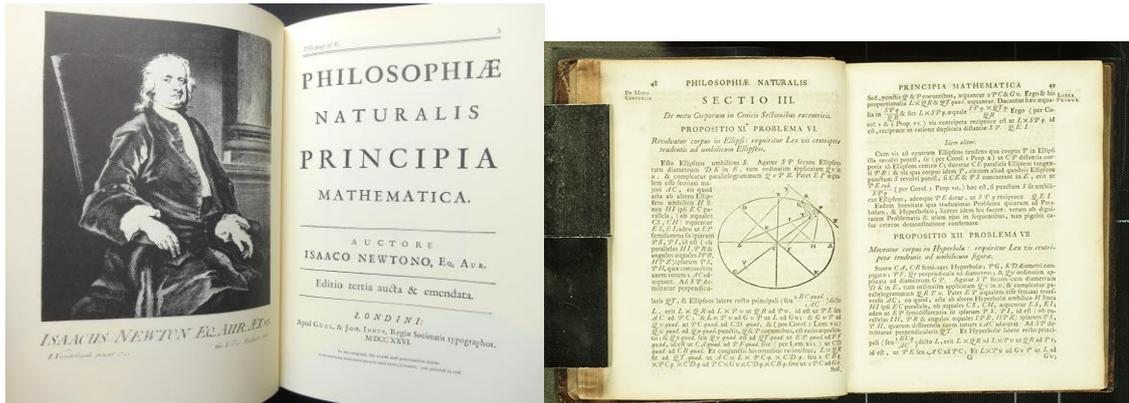
Figura 3-Universidade de Cambridge na época de Newton. Fonte: From Wikipedia Commons, the free média repositor.

Com a falta de interesse de seu tutor em “encaminhar” seus estudos, Newton acabou encontrando sozinho o seu caminho. Ele começou a avançar nos seus estudos e a ter conhecimento de grandes pensadores e estudiosos, como Aristóteles e Platão, e no momento em que Newton começou sua imersão nesses conhecimentos, o que hoje conhecemos como “revolução científica”, já haviam sido descobertas e estavam bem avançadas muitas teorias que serviram de base para a mecânica moderna. E nesse caminho acabou chegando até René Descartes, Sir Francis Bacon, Galileu Galilei e Johannes Kepler.

“Em algum momento de 1663 ou 1664, Newton escreveu em seu caderno a máxima *Amicus Plato amicus Aristóteles magis amica veritas* (Platão é meu amigo, Aristóteles é meu amigo, mas meu melhor amigo é a verdade.” (BRENNAM. 1998)

Esse foi o início do seu amadurecimento intelectual. Sobre essa visão, em seu caderno existiam várias questões que ele pretendia abranger, que ia da ciência natural à teologia, já que Newton era bem religioso e tinha a ciência como parte integrante de sua religiosidade. Porém a sua maior atenção foi voltada para a matemática, depois de suas leituras de Descartes e a sua geometria. Contudo esses estudos não se demoram, já que com pouco tempo, ele já conseguiu compreender a matemática contida nas suas leituras e as técnicas algébricas a elas relacionada e apesar de ter compreendido de forma rápida do que se tratava as leituras e cálculos de Descartes, os seus estudos foram de suma importância para que Newton futuramente pudesse enunciar a Lei da Gravitação Universal, no seu célebre livro “*Philosophie Naturalis Principia Mathematica*” (Princípios matemáticos de filosofia natural) (veja, Figura 4).

A primeira edição data de 1687 e foi publicada em Londres, a segunda foi publicada 1713 em Cambridge e a terceira em 1726 em Londres. O “*principia*”, como é conhecido hoje, é uma obra que assume especial destaque no panorama científico, por ser, provavelmente, a obra mais importante jamais publicada no contexto das ciências naturais, resultado de milhares de anos de estudo sobre os conceitos de força e movimento.



**Figura 4-Universidade de Cambridge na época de Newton. Fonte: Frank J. Swetz (The Pennsylvania State University, 2015) - "Mathematical Treasure: Newton's Principia Mathematica,"**

Com isso Newton começou a trilhar seu próprio caminho no ramo dos números, nos seus últimos anos na Universidade ele “passou a sofrer a influência de Isaac Barrow, professor da faculdade e o primeiro matemático em Cambridge a reconhecer sua inteligência” (BRANNAM 1998). Em abril de 1665 Isaac Newton recebe o seu título de bacharel, apesar de futuramente ser reconhecido como um grande gênio, ao receber o seu título não recebeu nenhum reconhecimento.

No mesmo ano de sua formatura Isaac Newton foi obrigado a voltar ao convívio de seus familiares, devido a peste negra que fez com que as universidades tivessem que fechar as portas. Esse foi o melhor momento para o jovem cientista, pois já era notório que não possuía habilidade alguma para o trato com o campo, ou seja, nesse período de reclusão ele pôde se dedicar exclusivamente as suas leituras e pensamentos solitários. Para ter um local apropriado para seus estudos, então montou seu próprio escritório com livros e um local para dormir, e uma janela que tinha como visão um pomar de macieiras, de onde vem a ilustre imagem que vemos hoje da maçã que cai na cabeça de Newton (Figura 5)



**Figura 5-Ilustração da lenda da Maçã que cai na cabeça de Newton. Fonte: <https://ciencianamidia.wordpress.com/2010/01/20/e-entao-a-maca-nao-caiu-na-cabeca-de-newton/>.**

Esse período de reclusão de exatos 17 meses foi o ápice para Newton, pois foi nesse período que ele realizou seus grandes feitos, como desenvolver o cálculo e dar os seus primeiros passos para a descoberta da Lei da Gravidade, e os seus estudos sobre as propriedades da luz e da cor.

“Como pudera realizar tudo isso tão jovem e trabalhando basicamente sozinho? Newton recordaria mais tarde: “Naquele tempo eu estava na plenitude de minha idade para a invenção e me ocupei de matemática e filosofia mais do que em qualquer outra época.” (BRANNAM.1998)

A genialidade de Newton era tão grande quanto a sua excentricidade. Ele não gostava de compartilhar os seus feitos com os demais, pois temia que suas publicações pudessem conferir a ele notoriedade, pois considerava que para uma pessoa como ele não era necessário, tanto que sua maior publicação, que foi o livro Principia (Figura 4) só foi lançada 20 anos após ter sido escrita.

## **2.5 Cronologia: Isaac Newton**

A vida de Isaac Newton foi composta por momentos. Cohen e Westfall realizaram uma cronologia de todos os momentos marcantes da vida de Newton que está representado abaixo: (COHEN, WESTFALL; 2000).

1655 - Newton é matriculado na escola secundária em Grantham, Lincolnshire.
1660- Retorna à escola secundária em Grantham
1661- Conclui o curso secundário
5 de julho de 1661- É aceito no Trinity College, em Cambridge.
8 de julho de 1661- Matricula-se na Universidade de Cambridge.
28 de abril – é eleito bolsista de Trinity College.
1664- Descobre os trabalhos da nova matemática e da nova filosofia natural.
Janeiro de 1665- primeiros estudos sérios da ciência da mecânica.
Primavera de 1665 – Forma-se bacharel em Humanidades.
Antes de 7 de agosto de 1665- e afastado de Cambridge pela peste negra, retorna a Woolsthorpe.
Janeiro de 1666 – Começa seriamente a elaborar a teoria das cores.
20 de março de 1666- retorna a Cambridge.
Junho de 1666- Afastado pela peste negra pela segunda vez.
Outubro de 1666- Redige o tratado de outubro de 1666 enunciando o cálculo das fluxões.
1666- Descobre a relação de proporção inversa ao quadrado da distância nas órbitas dos planetas; compara a órbita da Lua com a aceleração da gravidade na superfície da Terra “e constatei que se correspondem de perto”
Abril de 1667- Volta mais uma vez para Cambridge.
2 de outubro de 1667- Torna-se professor do Trinity College.
Início de 1669- Constrói o primeiro telescópio de reflexão.
coletânea de tratados de alquimia.

Verão de 1669- Envia a John Collins o De analysi (Sobre a análise pelas séries infinitas.)
29 de outubro de 1669- Torna-se professor lucasiano de matemática.
1670-1684 – Leciona óptica.
Década de 1670 a 1684- Estudo e experimentação na alquimia.
Dezembro de 1671- Envia o telescópio de reflexão a Royal Society
11 de janeiro de 1672 – Torna-se membro da Royal Society
6 de fevereiro de 1672- Envia artigo sobre as cores a Royal Society.
1672- 1684 Inicia estudos sérios de teologia e das profecias; abraça o arianismo.
27 de abril de 1675 – Uma dispensa monárquica isenta o professor lucasiano da exigência de ordenação feita pelo Trinity College.
7 de dezembro 1675 – Envia a Royal Society a “Hipótese da luz” e o “Discurso das observações “(sobre os anéis de Newton).
Verão e outono de 1676 – Correspondência com Leibniz sobre matemática.
Final de 1676 – Interrompe quase toda a correspondência e fica praticamente isolado em Cambridge.
28 de fevereiro de 1679 – Carta a Robert Boyle sobre a filosofia natural.
Início de junho de 1679- Morte da mãe de Newton.
24 de novembro de 1679 a 17 de junho de 1680 – Correspondência com Hooke sobre a trajetória de queda na Terra em rotação.
15 de dezembro de 1680 a 16 de abril de 1681 – Correspondência com Flamsteed sobre o cometa de 1680-1681.
Outubro 1684 a primavera 1687 – Redação dos Principia.

Agosto de 1684 – Visita de Halley, levantando o problema das órbitas num campo de atração que varia com o inverso do quadrado da distância.
21 de abril a 12 de maio de 1687 – Comparece como membro da delegação universitária perante o Tribunal de Instrução Eclesiástica.
5 de julho de 1687 – Publicação do Principia.
Novembro – dezembro de 1688 – Revolução Gloriosa.
15 de janeiro de 1689 – Eleito pela Universidade de Cambridge representante no Parlamento Constituinte.
22 de janeiro de 1689 a 17 de janeiro de 1690 – Membro do Parlamento Constituinte.
1689 – Inicia amizade com Jonh Locke e Nicolas Fatio de Duillier.
Verão de 1691 – Inicia amizade com David Gregory.
Primavera e verão de 1693 – Redige Práxis, seu mais importante tratado de alquimia.
Fim do verão de 1693 – Colapso Nervoso.
1696- 1698 – Recunhagem da moeda na Inglaterra.
19 de março de 1696 – Nomeado superintendente da Casa da Moeda.
29 de janeiro de 1697 – Resolve problemas da matemática enviados por Bernoulli como um desafio.
25 de dezembro de 1699 – Nomeado diretor da Casa da Moeda.
10 de dezembro de 1701 – Renúncia a cátedra lucassiana.
Dezembro de 1701 – Renúncia ao cargo de professor no Trinity College. Elege se para o Parlamento pela Universidade de Cambridge.
20 de dezembro de 1701 a maio de 1702 – Membro do Parlamento.
30 de novembro de 1703 - Elege-se presidente da Royal Society.

Fevereiro de 1704 – Publicação da Óptica.
16 de abril de 1705 – Segrado cavaleiro pela rainha Ana.
Maio de 1705 –Derrotado na eleição do parlamento.
1706 – Edição da Óptica em latim.
1707- Publicação da Arithmetica universalis.
Março de 1711- Início da disputa pela propriedade, a partir da queixa de Leibniz a Royal Society sobre a sugestão de plágio feita por Keill.
Janeiro de 1713 – Publicação de Commercium Epistolicum pela Royal Society. condenando Leibniz formalmente por plágio.
30 de junho de 1713 – Segunda edição do Principia.
Verão de 1714 – Nomeado para o Conselho de Longitude.
Janeiro – fevereiro de 1715 – Publicação anônima de um artigo de Newton, “Uma exposição sobre o livro intitulado Commercium Epistolicum”, nas Philosophical Transactions.
Novembro de 1715 a dezembro de 1716 – Correspondência com Leibniz e Clarke sobre as questões teológicas implicadas na filosofia natural de Newton
1716 – Redação do “Resumo da cronologia” para a princesa Carolina.
1717 – Segunda edição da Óptica em inglês.
1719 – Segunda edição da Óptica em latim.
1720 – Edição da Óptica em francês.
1721 - Terceira edição da Óptica em inglês.
Final de 1725 – Publicação da tradução francesa do “Resumo da cronologia”.
25 de março de 1726 – Terceira edição do Principia.

20 de março de 1727 - Morte de Isaac Newton
---

## 2.5 Formulação dos conceitos científicos.

Segundo Jammer (Jamer, p.12), o livro dedicou-se a “esclarecer o papel do conceito de força na física atual”. Deste modo, elucidar o percurso de como os conceitos são formados é imprescindível para que se possa compreender o conceito de força e as suas implicações no campo da física. Para tanto, é indispensável um panorama histórico para que se possa compreender o cenário em que os conceitos foram formados, isso permite visualizar quais eram os limites e possibilidades para aquele conceito e a sua importância naquele momento histórico. De acordo com Marx (2010) é necessário olhar para o passado, para que possamos compreender o presente.

Estudar historicamente a formação dos conceitos na área da física é uma tarefa difícil, pois envolve diversos fatores. Isto é, em cada momento histórico houve avanços e/ou retrocessos, dependendo da abordagem daquele conceito. Outro fator relevante é que, segundo Marx (2010) devemos nos atentar para o fato de que o objeto está inserido em uma realidade complexa e contraditória e, portanto, em constante mudança. Deste modo, o autor (JAMMER, 2011) alerta para a importância de buscar a história da formação e dos conceitos para compreendê-lo em sua totalidade.

Assim sendo,

[...] Limitar a discussão aos conceitos assim definidos significa ignorar uma parte fundamental de sua história. A história de um conceito ainda não está concluída, na verdade nem mesmo depois dele alcançar essa situação “definida”, pois ele só adquire significado completo pelo contexto sempre crescente e mutável da estrutura conceitual em que se insere. Entretanto, do ponto de vista da história das ideias, a parte mais interessante e importante de sua “biografia” – o período em que contribuiu de forma vigorosa e criativa para o avanço do pensamento científico – já passou. Portanto, ao estudar o desenvolvimento de um conceito científico é preciso lidar com uma imprecisão essencial na definição do tema e enfrentar o perigo e traçar limites estreitos demais ou largo demais. (JAMMER, 2011, p.22)

Buscar a história dos conceitos científicos permite observar seus limites e possibilidades e a partir disso buscar desenvolver, para além do que já se tem conhecimento. A história conecta os fatos e isso permite o avanço dos conceitos científicos, já que não estão sedimentados, isto é, existe a possibilidade de a partir de pesquisas científicas, que consiga avançar em determinados aspectos dos conceitos científicos. Para que isso aconteça é necessário conhecer a história da formação e do conceito em si, para compreender todas as suas nuances com seus limites e possibilidades.

Atualmente a ciência possui, como sinaliza Jammer (2011, p.22) uma finalidade mais limitada: a “descrição de certos fenômenos no mundo da experiência e o estabelecimento de princípios gerais para a previsão e para o que se poderia chamar de a “explicação<sup>2</sup>” desses fenômenos, ou seja, basicamente o objetivo da ciência como entendemos na atualidade seria apresentar e explicar sobre o conceito.

Para tanto, Jammer (2011) acentua que a ciência necessita de mecanismo para alcançar tais objetivos. Por esta razão, o autor afirma que é importante considerar a articulação: primeiro de “um conjunto de conceitos, axiomas e teoremas que formam um sistema hipotético-dedutivo” (JAMMER, 2011, p.22) e segundo de “um conjunto de relações que liga conceitos do sistema hipotético-dedutivo a dados da experiência sensorial” (Ibid, p. 22). Ou seja, é necessária articulação dos conceitos com a experiência, a teoria deve estar vinculada a prática, pois somente assim será possível compreender os conceitos científicos em sua totalidade e conseqüentemente a ciência poderá cumprir seus objetivos.

É válido salientar que ao observar atentamente uma radiografia da formação dos conceitos científicos e mais especificamente da área da Física, é possível perceber que um arcabouço de conceitos poderia ter sido usado como forma de avançar nos conceitos. Todavia, a resistência por parte de muitos cientistas em pesquisar a história da formação dos conceitos, faz com que exista uma lentidão com o progresso dos conceitos, já que era comum pesquisas com temas semelhantes ficarem desconhecidas por vários anos. O autor Jammer (2011) elucida que poderiam

---

<sup>2</sup> O autor Jammer (2011, p.22) alerta para o significado de explicação que neste caso é “essencialmente a subsunção dos fenômenos nesses princípios”.

ter sido usados “conceitos provisórios” (p.24) para que fosse possível avançar e solidificá-los.

Assim sendo, Jammer (2011) alerta que:

“Em retrospectiva, a história da ciência pode mostrar que conceitos alternativos foram ou poderiam ter sido usados de maneira provisoriamente satisfatória nos vários estágios do desenvolvimento das ciências físicas. Ilustremos esse ponto com um exemplo que tem alguma importância em nosso tema: a física jainista da antiga filosofia indiana. Os jainistas, seguidores de Jaina [*Vardhamāna*] sem nenhuma alusão a um conceito de força, em contraste com a ciência do Ocidente, na qual a ideia de força, desempenha um papel fundamental.” (JAMMER, 2011, p.24)

Podemos notar que a indiana Jaina, já havia iniciado um estudo sobre o conceito de força, mesmo não sendo o mesmo conceito, seria relevante que o cientista tivesse conhecimento da existência deste conceito, pois mesmo que utilizasse de forma transitória possibilitaria avançar no conceito de onde Jaina havia parado. Porque, segundo Jammer (2011) existem vários “fatores que obrigam o cientista a rever seus conceitos constantemente” (p.25). Portanto, usar conceitos físicos provisoriamente ampliaria a percepção dos limites e possibilidades de progresso, pois estes conceitos, dada as devidas proporções, dependem de fatores culturais, filosóficos, teológicos ou políticos (JAMMER, 2011).

Partindo desse pressuposto, o autor Jammer (2011) estabelece que existem três fatores de cunho metodológico que requisitam uma revisão e possivelmente uma alteração do delineamento do conceito. O excerto abaixo evidencia quais são estes fatores:

“Os resultados de novos experimentos e observações que introduzam efeitos novos experimentos e observações que introduzam efeitos novos e até então não explicados; 2) as possíveis incoerências na rede lógica de conceitos derivados e suas interrelações; 3) a busca do máximo de simplicidade e concisão na construção conceitual. [...] As engenhosas reinterpretações einsteinianas do espaço e do tempo, expostas na teoria da relatividade especial, são essencialmente uma revisão do aparato conceitual da mecânica clássica.” (JAMMER, 2011, p.25)

É prudente ponderar que as revisões desses fatores metodológicos não significam que sempre haverá mudança extrema e “revolucionária como a teoria einsteiniana da relatividade” (JAMMER, 2011, p. 25). Porém, é interessante que esta revisão aconteça, pois, considerando que os conceitos estão inseridos em uma realidade contraditória e em constante mudança, existe sempre uma possibilidade de

que o conceito científico seja modificado ou corroborado. O autor Jammer (2011) assinala para a relevância da história neste aspecto, pois permite observar os pontos dos conceitos científicos que se aproximam e/ou se distanciam. Percebendo assim o que pode alinhar e formar o conceito mais amplo e completo.

Desta forma Jammer (2011) aponta que:

“Um traço comum, de grande importância para o historiador interessado na formação de conceitos científicos é o processo de “redefinição” de um conceito e sua conseqüente mudança de *status* e posição na textura lógica do sistema. Um exemplo clássico desse processo de redefinição ocorreu com o conceito de temperatura. Originalmente tomada como uma expressão qualitativa da sensação de calor, a temperatura tornou-se uma ideia quantitativa, ao ser definida como um estado da matéria medido pela leitura da escala de um termômetro de mercúrio. [...] Mediante esse processo, o conceito posterior, tanto do ponto de vista histórico quanto psicológico (no caso da “temperatura”, a energia cinética de uma molécula de gás), foi tratado como uma ideia mais básica e mais fundamental, anterior do ponto de vista lógico e sistemático.” (JEMMER, 2011, p. 26)

Portanto, se observamos com afincos a origem da formação dos conceitos físicos, poderemos perceber em que algum momento foram conceitos primitivos, mas devido às revisões e posteriormente as “redefinições” (JAMMER, 2011, p. 26) tornaram-se derivações. Historicamente os conceitos científicos foram se formando desta forma, a partir de revisões, readequações, sempre considerando as relações que se articulavam. Assim sendo, o autor nos leva a refletir sobre os impactos causados por essas revisões e redefinições na formação dos conceitos. Podemos pensar sobre a possibilidade de os conceitos estarem penetrados de sentidos e significados devido este processo.

Todavia, ao autor Jammer (2011) assinala que,

“[...] Para ele [historiador] é relevante saber de sua pesquisa é um estudo do desenvolvimento de um único conceito ou de uma cadeia de noções correlatas. Em outras palavras, determinar se as várias definições visam a um mesmo definiendum, como parte da realidade que transcende a consciência, ou se cada modificação do conceito tem de ser vista como um elemento independente do sistema lógico, é um problema a ser deixado para o metafísico.” (JAMMER, 2011, p. 28)

Desta forma, podemos notar que a constituição de um conceito científico depende de vários fatores e sua modificação ou sua permanência também são acopladas desses fatores. O autor Jammer (2011) pontua que existem outras formas

de observar como ocorreu a formação dos conceitos científicos como podemos observar no fragmento a seguir:

“Nesse processo [de definição formalista], a formação do conceito provém da constância de algumas relações experimentais: o valor constante obtido recebe um nome especial. [...] É importante assinalar que, como mostra o conceito de entropia, uma definição formalista não precisa necessariamente ser uma redefinição. Pode ser muito complicado identificar uma ideia central ao longo das várias fases de um desenvolvimento.” (JAMMER, 2011, p. 29)

Este é outro método para se compreender a formação dos conceitos científicos, no entanto, aparentemente parece ser mais difícil, pois deve-se observar a linha do tempo do conceito científico, desde a sua possível constituição até a forma mais recente sobre o conceito. O que a princípio parece fácil, pois trata-se de observar uma linearidade histórica do conceito, torna-se difícil ao perceber que se tem que averiguar o início, ou seja, a raiz do conceito científico e isso complica-se ainda mais com os conceitos da área da Física. Porque ainda existe muita nebulosidade quanto a origem dos conceitos.

O autor Jammer (2011) ilustra a dificuldade de utilização deste método quanto a busca pela origem do conceito de “força”, assim ele elucida:

“A identificação da ideia central, em nosso caso, tornar-se ainda mais difícil pela grande obscuridade e a confusão envolvidas na terminologia. O termo “força”, ou seu equivalente em outras línguas, tem sido usado em muitas acepções diferentes. É desnecessário dizer que não estamos preocupados com o sentido figurado implícito em expressões como “força do exemplo”, “força do hábito”, “força policial”, “forças econômicas” e assim por diante. Por outro lado, uma expressão como “forças da natureza”, se usada em sentido científico pode ter certa pertinência para a nossa investigação. Mesmo quando usada como um termo técnico científico, “força” pode ter diferentes significações, conforme o contexto.” (JAMMER, 2011, p. 29)

Dessa maneira, é possível notar que a busca por um ponto principal em um conceito físico pode ser uma tarefa árdua, devido a vários fatores como: registros históricos, a utilização do termo em diferentes contextos entre outros aspectos. E isso pode inviabilizar saber realmente a origem do conceito de “força”, por exemplo, com base nesse método “formalista” (JAMMER, 2011, p. 28), porque existem vários textos e contextos que contemplam o termo “força” e o conceito científico “força”.

Outro fator que pode dificultar a apreensão da formação dos conceitos, em particular do conceito de “força”, é a utilização por um mesmo autor com diferentes

significados. Como o autor Jammer (2011, p. 30) evidencia com a – “carta de Descartes a Mersenne, datada de 15 de novembro de 1638” na qual é possível perceber, segundo o autor, que o termo “força” foi utilizado com o significado equivalente ao conceito de “trabalho” (JAMMER, 2011). É válido ressaltar que compreender a formação do conceito de “força” colabora para o entendimento da própria ciência moderna, tal é a relevância deste conceito para área da Física.

O autor Jammer (2011) aponta que:

“[...] a avaliação crítica da importância do conceito de “força” é extremamente importante para compreendermos o desenvolvimento da ciência moderna. Mas há mais. A “força” tem uma posição ímpar entre todos os conceitos básicos possíveis nas ciências físicas, pois pode ser vista como diretamente relacionada com o conceito de causa. [...] Graças a essa posição particular, o conceito de força tornou-se o principal alvo de ataques vindos dos círculos do positivismo, pois o pensamento positivista sustentava que eliminá-lo da física levaria a ciência como um todo a se emancipar da sujeição à causalidade”.

Portanto, entender a formação do conceito de “força” é compreender também a ciência moderna, pois está intrinsecamente ligada ao conceito de “força” segundo afirma Jammer (2011). Os positivistas almejavam desvencilhar este conceito da Física, por não se atentarem para a história da origem do conceito e, portanto, não terem a noção do todo acerca da origem do conceito e suas transformações ao longo dos anos.

Desta forma, a “exposição crítica do desenvolvimento do conceito de força constitui um capítulo significativo da história das ideias, pois reflete a mudança constante da atitude intelectual ao longo das eras” (JAMMER, 2011, p. 34). Constatamos assim, a importância de se conhecer a história da formação dos conceitos, seja qual for o método para se conseguir este panorama histórico, mas precisa existir para o avanço dos conceitos. Isto não significa que é necessário menosprezar o que já está consolidado, mas é imprescindível conhecer os textos e contextos da construção dos conceitos científicos para que possa progredir na busca por uma compreensão em sua totalidade. Em particular, os conceitos físicos como “força”, por exemplo, necessitam dessa radiografia histórica para a compreensão dos seus limites e possibilidades e quanto às suas implicações para a ciência moderna.

## 2.6 A construção da dinâmica Newtoniana

Durante muito tempo Newton dedicou-se ao estudo da matemática, mais o que podemos chamar de “anni mirabiles” (ano notável) que foram os anos de 1664 a 1666, que foi o período que ele teve que tirar umas “férias forçadas” por conta da peste negra, cronologicamente esse afastamento da universidade de Cambridge se deu da seguinte maneira: em 1º de setembro de 1664, o governo municipal cancelou a Feira de Sturbridge, proibiu todas as reuniões públicas, em 10 de outubro do mesmo ano, decidiu-se suspender os encontros religiosos na catedral de St. Mary e os exercícios nas escolas públicas. Enquanto na Trinity todo corpo acadêmico foi suspenso no dia 07 de agosto de 1664, foi dado, porém, aos alunos e professores verbas usuais para que eles pudessem custear seus estudos nos meses subsequentes.

Nesse primeiro período de 8 meses, a Universidade ficou praticamente deserta. No ano seguinte em março, em um período de 6 semanas não teve registros de mortes. Decidiu-se, então voltar as atividades “normais”; porém em junho do mesmo ano a peste volta a atacar, fazendo com que a Universidade tenha que suspender novamente as atividades acadêmicas, retornando apenas na primavera do ano de 1667.

Nesse período, em que Newton teve que ficar recluso em sua casa é que nascem os seus maiores pensamentos, dentre eles a mecânica newtoniana, que não surge do nada, tem todo um fundamento matemático por trás e como toda a parte da ciência, ela tem a colaboração de outras pessoas, por meio de seus pensamentos e teorias que corroboram para o nascimento de um novo conceito ou definição. Uma celebre frase que é de conhecimento de quase todo mundo, que foi escrita por Newton<sup>3</sup> em uma carta enviada a Robert Hooke, no ano de 1676. “—if I have been able to see further, it was only because I stood on the shoulders of giants”. (Se eu fui capaz de ver mais longe, foi apenas porque eu estava no ombro de gigantes), ele leva em consideração os pensamentos de outros filósofos e cientistas.

---

<sup>3</sup> Refere Alexandre Koyré (1968: 11) que está famosa frase de Newton não é da sua autoria, mas que teria tido origem na Idade Média com Bernard Chartres.

No livro sobre a Vida de Isaac Newton, o Westfall, apresenta o que Newton falou sobre a peste negra 50 anos depois, sobre o que ele realizou nesse período:

“No início do ano de 1665, descobri o método de aproximação a uma série desse tipo e a regra para reduzir qualquer potência de qualquer binômio a tal série. No mesmo ano, em maio, descobri o método das tangentes de Gregory e Slusius e, em novembro, obtive o método direto das fluxões, e no ano seguinte, em janeiro, a teoria das cores, e em maio seguinte desvendei o método inverso das fluxões. São, no mesmo ano, comecei a pensar na gravidade como se estendendo até a órbita da Lua e (depois de descobrir como calcular a força com que [um] globo girando dentro de uma esfera pressiona a superfície da esfera), a partir da regra de Kepler de que os períodos dos planetas estão numa proporção equilátera com suas distâncias do centro de suas órbitas, deduzi que as forças que mantêm os planetas em suas órbitas devem [variarem], reciprocamente, com o quadrado de sua distância do centro em torno do qual eles giram: e a partir disso, comparei a força necessária para manter a Lua em sua órbita com a força da gravidade na superfície da Terra, e descobri que elas se correspondem bem de perto. Tudo isso foi nos dois anos da peste, 1665-1666. Pois, nessa época, eu estava no auge de minha fase de invenção e me interessava mais pela matemática e pela filosofia do que em qualquer ocasião posterior.” (NEWTON, apud. Westfall, p.46-47)

Deste período sobraram algumas anotações, que indicam que os seus primeiros estudos foram com a Geometria de Descartes, “organizada por Schooten, com sua profusão de comentários adicionais, apoiada pelas leituras da álgebra, em especial das obras de Viète. Cedo, Newton também entrou em contato com a matemática dos infinitesimais, como apresentada por John Wallis. E realmente impossível determinar, a partir das anotações, qual dos dois veio primeiro” (WESTFALL, 1993).

Newton, apesar do seu aporte teórico com base em Descartes, não demorou a se destacar e trilhar seus próprios caminhos na matemática. Com sua genialidade, ele criou o binômio que leva o seu nome, e o teorema fundamental do cálculo (BRENNAN, 1998) (MACLAURIN, 2010), foi o criador dessas operações matemáticas, as quais hoje são de suma importância para as ciências de um modo geral.



até que o argumento acabasse na mais geral delas; esse é o método de análise. Uma vez munidos dessas causas deveríamos proceder na ordem inversa e, a partir delas, como princípios estabelecidos, explicar todos os fenômenos que fosse consequência delas e demonstrar nossas explicações: e essa é a síntese.” (Maclaurin. Apud. Cohen. 2011.p 160)

Um dos primeiros indícios dessa aplicação de modo de fazer ciência, foi em relação aos conceitos relacionados ao conceito de inércia, pois para Newton existia uma força externa que fazia com que os corpos/partículas se mantivessem em movimento, já Descartes e Galileu tinham uma outra definição para que hoje chamamos de inércia, que será tratado com mais propriedade no capítulo seguinte.

Contuitt consegue resumir bem como foi esse surgimento da dinâmica Newtoniana, ele as descreve entre 4 versões independentes

“No ano de 1666, ele tornou a se afastar de Cambridge (...), indo ter com a mãe em Lincolnshire, e quando meditava num jardim, ocorreu-lhe que o poder da gravidade (que derrubara uma maçã da árvore no chão) não estava limitado a uma certa distância da Terra, mas deveria estender-se muito além do que se costumava pensar. Por que não até a Lua? disse ele a si mesmo, e, se assim fosse, isso deveria influenciar seu movimento e talvez mantê-la em sua órbita; ao que ele se pôs a calcular qual seria o efeito dessa suposição, mas, estando afastado dos livros, e tomando a estimativa comumente utilizada pelos geógrafos e nossos navegadores antes de Norwood medir a Terra, de que havia 60 milhas inglesas corridas num grau de latitude na superfície da Terra, seu cálculo não concordou com sua teoria e o inclinou a alimentar a ideia de que, junto com a força da gravidade, poderia haver uma mistura da força que a Lua teria se fosse arrastada por um vórtice. (...)” (CONTUITT, apud WESTFALL.1995. p.57)

Então no dia 05 de julho de 1687 é lançado o livro Principia, que é a concretização do estudo de Isaac Newton sobre a mecânica, estudo esse que demorou cerca de 20 anos para ser concluído e publicado. Assim inicia-se a dinâmica Newtoniana que serviu e ainda serve de base para grandes físicos e filósofos contemporâneos a Newton.

### **2.6.1 Primeira Lei de Newton: A Lei da Inércia**

No momento em que falamos sobre inércia, logo vem em nossa cabeça a definição que nós é apresentado no ensino médio que diz que todo corpo tende a permanecer em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, ou seja, sempre a palavra inércia nos remete algo que não possui movimento, ou que quando possui, este movimento é constante. Ricardo Coelho (2004:248) citado por Balola (2011), se refere a esse conceito da seguinte forma: se o leitor admitir que a matéria é inerte e

observar um corpo em atividade, será naturalmente levado a pensar que algo atua sobre o corpo, pois ele por si não teria tal atividade, justamente porque é inerte. Este tipo de raciocínio pertence aos fundamentos da física desde o séc. XVII.

Esse conceito que nos vem à cabeça com tanta facilidade, só teve a sua definição no século XVII, e essa definição não foi exatamente como a conhecemos hoje, ela passou por uma grande evolução ao longo dos anos até chegar a definição que conhecemos hoje. Então vamos fazer um tour histórico acerca de tal conceito e sua evolução, começando por Aristóteles, depois Kepler e então Newton. A ideia não é falar sobre a vida e obra de cada um deles, apenas mostrar como era o conceito de inércia para cada um.

### **2.6.2 Aristóteles (385a.C- 322 a.C)**

Aristóteles foi um grande filósofo e também teve uma grande contribuição para o avanço na Física, tanto que a física desenvolvida por ele era chamada de física antiga ou também física aristotélica. Esses conceitos da física Aristotélica acreditavam no modelo de movimento planetar geocêntrico, ou seja, acreditava-se que a Terra estava parada e os demais corpos celestes estavam girando ao seu redor. Para satisfazer essa teoria foi necessário construir duas físicas, uma para explicar o movimento dos corpos na Terra, que era imóvel ao seu ver, e outra para explicar o movimento dos planetas em torno da Terra.

A primeira física definida por Aristóteles, consistia em que tudo na Terra era composto pelos quatro elementos: água, ar, fogo e terra, e cada coisa possuía o seu lugar natural, de acordo com a natureza de sua composição. Nessa época ainda não era conhecido o conceito de gravidade, então definia o movimento natural por um conceito “intuitivo de massa”.

Um exemplo dessa teoria aristotélica é o seguinte: se a água cai para baixo é devido ao seu peso, a água era “pesada,” logo o seu movimento natural seria para baixo, já o fogo é leve então a tendência natural do seu seria para cima, porém nem todos os corpos se comportam segundo essa lógica. Então para explicar os corpos que não eram regidos por essa teoria, ele definiu que todo movimento que fosse contrário ao movimento natural era chamado de movimento violento, ou seja, que

seria necessário algum movimento forçado para que o corpo não realizasse o seu movimento natural, como por exemplo o ato de uma pedra ser jogada para cima, para ele o movimento natural da pedra é cair, se ela sobe é por que tem um movimento forçado para que isso aconteça.

A segunda Física estava relacionada ao movimento dos corpos celestes, conforme citado acima; na Terra o movimento era natural e todos os corpos tinham sua constituição de terra, água, fogo ou ar. E para os movimentos celestes será que essa teoria também era válida? Para Aristóteles esse movimento também estava relacionado a um elemento, porém não os mesmos elementos que estavam presentes na Terra. Então ele determina que o movimento celeste acontece devido ao quinto elemento, que ele chama de Éter, logo os corpos celestes eram compostos de Éter e esse composto tinha como movimento natural a rotação infinita, ou seja, era um movimento circular infinito.

À vista disso ele conseguia justificar o motivo da Terra permanecer no centro do Universo, pois a visão dele e das suas teorias a Terra já encontrava-se no seu local natural. Com base nisso (Cohen 1988,p.32) diz que, a principal razão física para isto, segundo o velho sistema, era não ser natural que a Terra tivesse um movimento circular, pois uma translação da Terra em torno do Sol ou uma rotação diária seriam contrárias à sua natureza.

Ao contemplarmos essa teoria, é notório que o movimento terrestre na visão de Aristóteles ou acontecia de maneira natural, ou ele era forçado, porém para ambos os movimentos o fim sempre seria a inércia, como refere Augusto Santos Fitas (1996: 15-16), “nesta concepção o movimento era entendido como um desenvolvimento, que alterava as características inerentes ao corpo, opondo-se ao repouso que correspondia à ausência desse processo” o que corrobora para a teoria de que, para ele o movimento tinha que ser explicado e não o repouso, pois o movimento tem um causa de acontecer, já o repouso não, é algo natural, ou seja, um corpo encontra-se em movimento natural até encontrar o seu lugar natural, ai ele também entra em repouso. Sendo assim, para ele o repouso é o único estado natural dos corpos, como relata (Balola 2011) “onde quer que esse movimento existisse e qualquer que fosse a sua duração, algo tinha de ser responsável por ele. Uma vez que o motor cessasse a

sua ação, o movimento cessaria. O corpo cairia no sentido do centro da Terra ou entraria imediatamente em repouso.”

O seu pensamento também contemplava o vácuo, pois na sua visão apesar dos corpos sempre buscarem o seu estado natural que seria o repouso, existia situações em que essa sua teoria não se aplicava que era o caso do corpo que encontrava-se no vácuo, então para as situações de vácuo ele deu a seguinte definição.

“no vácuo o movimento nunca se propagaria, pois ao não haver nada que mantivesse o corpo em movimento, uma vez que o vazio não constitui um meio, nada haveria que transmitisse e conservasse o movimento, que, imediatamente, impeliria o corpo para baixo na vertical.”( BALOLA,2011.p63).

Durante muitos anos as teorias aristotélicas foram aceitas e validadas, porém quando Nicolau Copérnico descobre que, na verdade é a Terra que se move criando a teoria Heliocêntrica, as definições de Aristóteles foram perdendo a sua veracidade, já que elas foram criadas pensadas na Terra parada e agora isso já não era mais válido. Então foi necessário criar uma nova física do momento, considerando agora a nova configuração, o que demorou um tempo até a sociedade científica aceitar que as teorias de Aristóteles estavam erradas, por conta de atraso de aceitação alguns cientistas tiveram entraves teóricos por ainda considerar o sistema descrito por Aristóteles.

### **2.6.3 Johannes Kepler (1571-1630)**

Johannes Kepler foi um grande astrônomo, astrólogo e matemático alemão, conhecido por enunciar as três leis fundamentais da mecânica celeste, além disso é considerado no meio científico o primeiro cientista a usar a terminologia inércia no âmbito da física

No entanto ele era um bom aristotélico, o que significa isso? Significa que ele também considerava a inércia como sendo um movimento único e natural dos corpos, como apresenta Koyré (1992: 231)

“A inércia é, para Kepler, uma propriedade absolutamente geral da matéria, consequência da sua impotência. E assim, sendo a matéria uma no universo, atribui essa inércia aos corpos celestes, que, como tudo o mais, devem ser

movidos por uma força ativa (que Kepler faz emanar do Sol) e que parariam se deixassem de o ser.”

Ele se distanciava das teorias de Aristóteles, quando não considerava que os 5 elementos, sendo 4 para os movimentos terrestres e 1 para o movimento dos corpos celestes, pois na sua visão todos os corpos eram constituídos de uma mesma matéria, logo não tinha motivo para separar os movimentos em terrestre e celestial, sendo assim não existia um lugar natural como relatava Aristóteles. Foi nesse distanciamento das teorias aristotélicas que ele enuncia as suas leis do movimento celeste.

#### **2.6.4 René Descartes (1596-1650)**

René Descartes foi um grande filósofo, físico e matemático francês, e na área da física teve um grande destaque com a sua teoria sobre o conceito de inércia, para ele, o movimento de um corpo que figura movimento só pára se algum agente externo o fizer, caso contrário ele ficará sempre em movimento. Esse é um pensamento inicial sobre a inércia, ele enuncia leis segundo Koyré apud. Balola (2011.p85)

“Diz a primeira lei da natureza o seguinte: que cada coisa em particular [...] continua a estar no mesmo estado tanto quanto é possível, e que nunca o muda senão através do encontro com outras. [...] e que, se está em repouso, [...] de modo algum se começa a mover por si mesma. Mas desde que tenha começado a mover-se, também não temos qualquer razão para pensar que ela alguma vez tenha de deixar de se mover com a mesma força [...] enquanto não encontrar nada que retarde ou que faça parar o seu movimento. De maneira que, se um corpo começou a se mover, temos de concluir que ele depois disso se continua a mover, e que nunca para por si próprio.”

Essa é a definição dada para a sua primeira lei, para a segunda lei, Koyré (1992) apud Balola (2011 p. 76) diz o seguinte:

“Na segunda lei, que completará a ideia da primeira lei, é referido que: (...) cada parte da matéria, em particular, nunca tende para se continuar a mover segundo linhas curvas, mas sim segundo linhas retas, ainda que muitas dessas partes sejam obrigadas a desviar-se (...).”

Podemos concluir que para Decartes o corpo encontra-se em repouso apenas quando não existe um agente externo agindo sobre ele, e se o corpo estiver em movimento ele irá permanecer, desde que esse movimento seja realizado em linha

reta, e um corpo só se movimenta se algum agente externo agir sobre ele, pois na visão dele o corpo não se move sozinho.

## 2.7 As Leis de Newton

### 2.7.1 Primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

A Lei da inércia que também é conhecida como sendo a primeira Lei de Newton, como foi podemos observar surgiu de um construto intelectual de vários filósofos e físicos que pensaram acerca de tal conhecimento, cada um a seu tempo e logicamente ao seu modo, porém esse conceito somente foi aceito e validado como vemos hoje, com Isaac Newton.

O início de seu pensamento sobre inercia foi demonstrado pela primeira vez foi em seu *Waste Book* ( traduzindo seria um livro de rejeitos) que não se sabe ao certo o ano que foi escrito. Do mesmo modo que Decartes, Newton antes de enunciar a sua primeira lei, escreve dois axioma; segundo Gjeertsen citado por Balola(2011) os Axiomas são definidos como : If a quantity once move it will never rest unlesse hindered by some externall cause. No Axioma 2 é referido o seguinte: A quantity will always move on in the same straight line (not changing the determination nor celerity of its motion) unlesse some externall cause divert it.<sup>4</sup>(GJERTSEN, 1986: 270).

Como é perceptível, Newton nesse momento em que enuncia os seus axiomas, não estava levando em consideração o conceito de repouso, o que lhe preocupava era apenas o movimento realizado pelos corpos, pois nesse momento ele acreditava que o corpo que encontrava em movimento iria continuar em tal movimento até que algo o fizesse parar; é possível notar que inicialmente ele levava em consideração apenas o movimento e não o trajeto realizado por ele. O segundo axioma que começa a definir que movimento é aceito, se estiver em uma linha reta, como apresenta Balola (2011)

---

<sup>4</sup> Se uma quantidade uma vez movido, ele nunca ficará sem ser impedido por alguma causa externa. No Axioma 2 é referido o seguinte: Uma quantidade seguirá sempre na mesma linha reta (não mudando a determinação nem a celeridade de seu movimento) liberar alguma causa externa desviá-lo (GJERTSEN, 1986: 270)

“O tipo de movimento é, então, o movimento em linha reta, e Newton especifica ainda que o corpo continuará na direção em que inicialmente se encontra, sempre com a mesma velocidade, sem acelerar nem retardar a sua velocidade inicial, se nenhuma causa externa surgir.”

Em outro momento em que se apresente os estudos de Newton acerca do conceito de inércia, e em seu livro intitulado *De gravitation* onde ele apresenta duas definições, 5 e 8, que são de suma importância futuramente para a escrita do seu majestoso livro *Principia*, livro que o torna consagrado, essas duas definições são apresentadas e traduzidas por (Balola 2011) já que os seus escritos originais se encontram em latim:

“DEF. 5. Força é o princípio causal do movimento e do repouso. É algo externo que gera, ou destrói, ou altera o movimento impresso em algum corpo; ou é um princípio interno pelo qual um movimento ou repouso existente se conserva em um corpo e pelo qual, qualquer corpo persevera no seu estado e opõe resistência [a ações externas]. DEF. 8. A inércia é uma força interna ao corpo, que previne que seu estado seja facilmente alterado por uma força externa.” (NEWTON, 1962, p. 148).

Agora a inércia deixa de ser algo intrínseco do corpo e passa a ser determinado como uma força, o que começa a modificar os trabalhos de Newton sobre tal assunto. Quando ele escreve o seu outro livro *De Motu*, aparecem definições e leis que remetem ao conceito de inércia, porém, dessa vez usando o novo conceito e realizando algumas modificações, traduzidos por Whistleside (1974)

“DEF. 12. A vis insita de um corpo é o poder inerente e essencial pelo qual ele persevera em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, sendo proporcional à quantidade de matéria que ocupa o seu volume (...) LEI 1. [Somente] por sua vis insita todo corpo persevera em seu estado de repouso ou movimento uniforme em linha reta, exceto na medida em que é compelido por forças impressas a mudar esse estado (...)” (WHITESIDE, 1974, p. 97)

Quando observamos as duas novas definições, a priori não observamos uma grande diferença, pois a diferença é sutil. O que acontece é que Newton deixa de admitir que o movimento seja apenas em linha reta, ele começa a admitir que esse movimento é retilíneo, porém válido para linha reta, essas definições são de suma importância para futuramente Newton chegar de fato a enunciar sua primeira Lei.

Além dos axiomas e definições acima citados, no livro *Principia*, antes mesmo de definir a lei da Inércia é apresentado a definição III, já apresenta a nova ideia de inércia pois modifica-se o que se compreende por movimento e repouso.

“DEFINIÇÃO III: A vis insita, ou força inata da matéria, é um poder de resistir, através do qual todo o corpo, no que depende dele, mantém seu estado presente, seja ele de repouso ou movimento uniforme em linha reta.” (NEWTON, 1686, p.40)

Comtemplando os escritos acima é notório que teve uma mudança entre os escritos do *De Motu* e a Definição III do Principia, pois no primeiro ele define inércia como sendo proveniente de alguma força externa que o mantém em movimento ou em repouso, já na sua Definição III, ele apresenta uma definição de inércia como sendo uma força interna que os corpos possuem para resistir a essa mudança que seria a eminência de um movimento.

Em vista de todo esse estudo em relação ao conceito de Inércia é que Newton após vários axiomas e definições chega ao conceito que hoje é aceito por toda a sociedade científica, por conta de sua validade experimental e por consequência de sua completude teórica, essa Lei que é apresentada no Livro Principia com a seguinte definição:

“Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.” (NEWTON, 1686.p 53)

E nítido que para o surgimento dessa lei foi necessário levar em consideração todo o seu construto histórico, e as interpretações do próprio Newton ao longo dos anos. Com essa Lei podemos concluir que o corpo continua em seu estado até que alguma força externa o faça parar ou mudar o seu movimento, essa força pode ser expressa como sendo uma resistência do ar, ou até mesmo a gravidade, pois ambas têm a capacidade de parar ou retardar um movimento retilíneo.

Podemos inferir que Newton foi capaz de concretizar uma aspiração de grande parte dos filósofos naturais de sua época, de unificar a física celestial com a física terrestre, ou seja, encontrar leis ou definições válidas para observações na Terra e observações celestiais.

### **2.7.2 Segunda Lei de Newton: Princípio Fundamental da Dinâmica**

Posteriormente à primeira Lei de Newton, ele a refina um pouco mais acrescentando ao conceito de inércia um novo conceito inventado por ele, chamado de massa inercial. Esse conceito é definido por ele no seu livro Principia como:

“Definição I: A quantidade de matéria é a medida da mesma, obtida conjuntamente a partir da sua densidade e volume” (Newton, 1686. p 39)

É notório que ele define o conceito de massa associado ao conceito de densidade, pois ele associa esse conceito com a quantidade de matéria presente em um corpo. Sendo assim ele passa a definir a força necessária para que um corpo saia da inércia como sendo:

“A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.” (NEWTON, 1686.p. 54)

Distintamente da primeira lei, que apresenta apenas uma conceitualização teórica, a segunda lei apresenta-se com uma leitura matemática também que é realizada da seguinte maneira:

$$\sum \vec{F} = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (2.1)$$

Pela Definição II do livro Principia  $\Delta \vec{p}$ :

“A quantidade de movimento é a medida do mesmo, obtida conjuntamente a partir da velocidade e da quantidade de matéria.” (NEWTON, 1686.p40)

Essa quantidade é hoje dia definida como o momento linear de uma partícula

$\vec{p} = m\vec{v}$  ou de um sistema de partículas,

$$\vec{P} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = \sum \vec{p}_n \quad (2.2)$$

Realizando a substituição da equação (2.1) em (2.2) temos:

$$\sum \vec{F} = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (2.3)$$

Sendo,  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$  a expressão definida por Newton, como a mudança na velocidade com o tempo, essa mudança ele chama de aceleração, logo a equação final para força é expressa da seguinte maneira:

$$\sum \vec{F} = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = m\vec{a} \quad (2.4)$$

A sua unidade de medida é o newton (N), em homenagem ao seu gênio criador. Essa unidade é definida como sendo  $\text{kg m/s}^2$  que equivale a 1 N (newton). Esse conceito de força foi e ainda é de suma importância para a mecânica desde o tempo de Newton, até os dias de hoje, pois ela ainda é válida para movimentos cuja

velocidades são pequenas, com relação a velocidade da luz. Apesar de aparentemente ser uma equação simplória, ela possui uma complexidade espantosa e às vezes chega a ser quase impossível de solucionar, o que torna ainda mais bela.

### **2.7.3 Terceira Lei de Newton: Lei da Ação e Reação**

Depois de evidenciar as suas duas primeiras leis, Newton com toda a sua sagacidade apresenta a Terceira Lei, que posteriormente será utilizada para enunciar a Lei da Gravitação Universal. No “Principia” essa Lei aparece enunciada da seguinte forma:

“A toda ação há sempre oposta uma reação igual ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.” (NEWTON.1686. p. 54).

Sendo assim toda força que é aplicada a algum objeto, este tende a reagir a essa ação com a mesma intensidade, porém com o sentido contrário, que matematicamente é apresentado da seguinte forma:

$$F_{a,b} = -F_{b,a} \quad (2.5)$$

No qual temos que  $F_{a,b}$  é a força que o corpo/partícula a, exprime no corpo/partícula b, e o  $F_{b,a}$  é a força que o corpo/partícula b exprime no corpo/partícula a, e o sinal negativo é justamente para apresentar que se encontram em sentidos opostos.

Com essa concepção é que é elaborada a Lei da Gravitação Universal, segundo Brennan (1998)

“A partir da terceira lei de Newton, pode-se ver que a força gravitacional é mútua. As atrações que dois corpos exercem um sobre o outro são sempre iguais, embora se exerçam em direções opostas. A maçã é atraída pela superfície da Terra, mas a Terra também é atraída pela maçã. A Terra exerce uma força gravitacional sobre a Lua e, ao mesmo tempo, está sujeita a uma força gravitacional desta. A quantidade de força gravitacional exercida por cada corpo — a maçã, a Lua ou a Terra — é diretamente proporcional à massa desse corpo.” (Brennan.1998. p.36)

Posto isto, podemos considerar a importância dessas Leis para a humanidade e para o avanço em relação a ciências em diversas áreas, não apenas a física.

### 3 A INTERDISCIPLINARIDADE DA DINÂMICA NEWTONIANA

#### 3.1 Introdução

Como discutido no capítulo anterior, durante séculos, o problema do movimento e de suas causas foi tema central da “filosofia natural”, o nome antigo da física. No entanto, somente na época de Galileu Galilei e Isaac Newton foi que realizou progresso extraordinário no conhecimento do assunto. Isaac Newton, nascido na Inglaterra no ano em que morreu Galileu, é o arquiteto principal da mecânica clássica.

Ele desenvolveu plenamente as ideias de Galileu e de outros que o precederam. As três leis do movimento, que hoje têm o seu nome, foram apresentadas pela primeira vez em 1686, na sua obra “Principia Mathematica Philosophiæ Naturalis”, usualmente chamada de Principia.

Antes da época de Galileu, a maioria dos filósofos pensava que alguma influência ou “força” fosse necessária para manter um corpo em movimento; supunham que um corpo em repouso estivesse em seu “estado natural”. Para o corpo mover-se em linha reta com velocidade constante, por exemplo, acreditavam que algum agente externo teria de empurrá-lo continuamente, de outro modo ele “naturalmente” pararia.

Se quisermos, comprovar experimentalmente essa ideia, temos primeiro de encontrar um modo de livrar um corpo de todas as influências de sua vizinhança ou de todas as forças. Isso é difícil de fazer, mas em certos casos pode-se reduzir muito as forças. Estudando o movimento, à medida que as forças se tornam cada vez menores, teremos alguma ideia de como seria ele se as forças externas fossem realmente nulas.

Coloquemos um objeto de prova, digamos um bloco, sobre uma superfície horizontal plana rígida. Fazendo o bloco deslizar sobre esse plano, notaremos que ele gradualmente diminui a velocidade e pára. Esta observação, na verdade foi utilizada para apoiar a ideia de que o movimento cessava quando era removida a força externa, nesse caso o empurrão aplicado inicialmente ao bloco pela mão. Podemos argumentar contra essa concepção raciocinando do modo seguinte: “Repetimos nossa experiência, usando um bloco mais liso e um plano mais polido, além de um lubrificante. Notaremos que a velocidade decresce mais lentamente do que antes.

Utilizemos blocos e superfícies ainda mais polidos e melhores lubrificantes, verificaremos que a velocidade do bloco decresce a uma taxa cada vez menor e de cada vez percorre maior distância, antes de parar.

Podemos agora explorar e dizer que, se pudéssemos eliminar todo o atrito, o corpo continuaria indefinidamente em movimento retilíneo com velocidade constante. Alguma força externa necessária para modificar a velocidade de um corpo, mas nenhuma força externa seria exigida para manter tal velocidade. Nossa mão, por exemplo exerce uma força sobre o bloco quando o põe em movimento. O plano áspero exerce uma força sobre o corpo ao diminuir sua velocidade. Ambas as forças produzem uma variação na velocidade, isto é, produzem aceleração.

Esse princípio foi adotado por Isaac Newton como a primeira de suas três leis do movimento. Newton enunciou sua primeira lei nas seguintes palavras: “Qualquer corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que seja obrigado a modificar tal estado por forças aplicadas a ele”. A primeira lei de Newton é, de fato, uma afirmação sobre referenciais inerciais, pois, em geral, a aceleração de um corpo depende do sistema de referência em relação ao qual ela é medida. A primeira lei diz que, se não houver objetos próximos, então é possível encontrar uma família de referência em que a partícula não possui aceleração.

O fato de os corpos permanecerem em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, na ausência de forças aplicadas, é frequentemente descrito atribuindo à matéria uma propriedade denominada inércia. A primeira lei de Newton é frequentemente chamada lei de inércia e os referenciais aos quais ela se aplica, são, por isso, chamados de referências inerciais. A primeira lei, é a de maior complexidade didático-pedagógica e a menos compreendida pelos alunos ao saírem de um curso de física básica. Não é incomum encontrar alunos descrevendo a primeira lei como um caso particular do conceito de força.

A experiência diária mostrava que, dado um objeto arbitrário, a aceleração será proporcional à força aplicada. A questão importante que restava era, portanto: que efeito terá “a mesma força sobre diferentes objetivos?”. Newton, em seus famosos “Principia”, expressou essas observações em segunda lei do movimento em termos do momento linear (que ele chamou de “quantidade de movimento”), que na

terminologia moderna pode ser expressa da seguinte maneira: “A taxa de variação do momento linear de um corpo é proporcional à resultante das forças que atuam no corpo e tem a direção desta força”. Expressando em símbolos, para um sistema de partículas, teremos

$$\begin{aligned}
 \sum \vec{F} &= \frac{d\vec{P}}{dt} \\
 &= \frac{d}{dt} \sum_i m_i \vec{v}_i \\
 &= \sum_i m_i \frac{d}{dt} \vec{v}_i \\
 &= \sum_i m_i \cdot \vec{a}_i
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Portanto, a força foi definida pelo produto da massa pela aceleração.

Note que a primeira lei do movimento está contida na segunda, como caso particular, por sendo  $\vec{F} = \vec{0}$ , resulta  $\vec{a} = \vec{0}$ . Em outras palavras se a força resultante sobre um corpo for nula, a aceleração do corpo será nula também. Portanto a ausência de forças aplicadas, um corpo mover-se-á com velocidade constante ou estará em repouso, exatamente o que prevê a primeira lei de movimento. Portanto, somente duas das três leis de Newton são independentes, a segunda e a terceira. A parte da dinâmica newtoniana de partículas que trata, apenas de sistemas para os quais a força resultante é nula, chama-se “estática”, tendo uma enorme aplicabilidade nas áreas de Engenharia.

Outra observação da época, é que as forças que atuam em um corpo originam-se em outros corpos que constituem sua vizinhança. Uma força, é apenas um aspecto de uma interação mútua entre dois corpos. verifica-se experimentalmente que, quando um corpo exerce uma força sobre outro, o segundo sempre exerce uma força no primeiro. Além disso, verifica-se que essas forças têm mesmo módulo, mesma direção e sentidos opostos. É impossível existir uma única força isolada. Se uma das duas forças envolvidas na interação entre dois corpos for denominada “ação”, a outra será chamada de “reação”. Qualquer uma delas pode ser considerada “ação” e a outra “reação”. Não há relação de causa e efeito; verifica-se, apenas, uma interação simultânea mútua.

Esta propriedade das forças foi enunciada originalmente por Newton em sua terceira lei de movimento: “A cada ação sempre se opõe uma reação igual, ou seja, as ações mútuas de dois corpos, um sobre o outro, são sempre iguais e dirigidas para partes contrárias”. Essa lei é conhecida como lei de “ação e reação” e nem sempre é verdadeira. Ela falha quando se refere a forças eletromagnéticas, por exemplo, ou quando fala da interação de corpos significativamente separados ou rapidamente acelerados.

A interdisciplinaridade das leis do movimento de Newton, ou da dinâmica newtoniana, será abordada na seção seguinte.

### **3.2 A Segunda Lei do Movimento e a sua interdisciplinaridade**

As três Leis do movimento de Newton enunciadas acima, constituem a base primária para compreensão dos comportamentos estático e dinâmico dos corpos materiais, em escalas quer celeste quer terrestre. Em essência, as leis estabelecem inicialmente os referenciais que podem corretamente usá-las, a fim de explicar a “estática” e a “dinâmica” dos corpos em observação (as leis valem em referenciais inerciais); e assumindo estes referenciais por padrão, passam então a mensurar as interações físicas entre dois (ou, via princípio da superposição, entre todos os corpos materiais bem como o resultado destas interações sobre o repouso ou o movimento de tais corpos.

Abaixo mostramos algumas das aplicações importantes das leis do movimento de Newton explorando a sua interdisciplinaridade. Dentre as inúmeras aplicações, podemos citar:

- A Biomecânica
- A Dinâmica Molecular (MD, “Molecular Dynamics”)
- Controle de Vibrações na Engenharia
- Controle de Fluxo de Tráfego de Veículos
- Perícia Científica

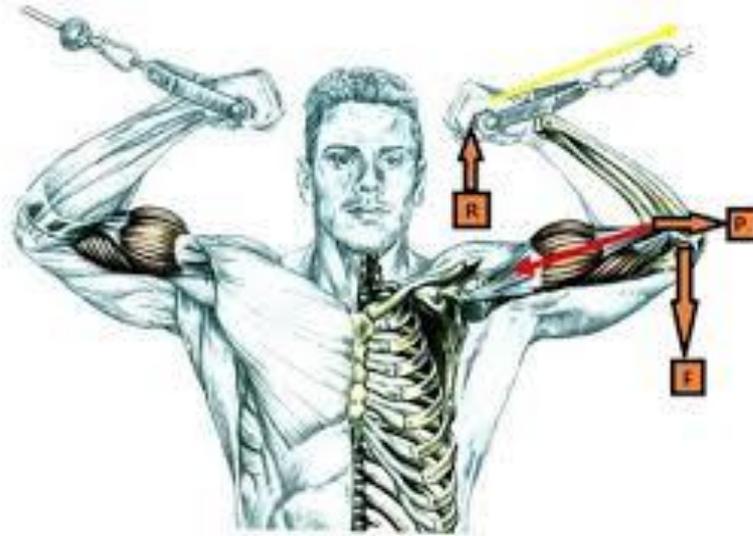
### **3.2.1 A Biomecânica**

A “biomecânica” é uma parte da Educação Física que tem como objetivo principal o estudo do movimento do corpo humano com base nas Três Leis de Newton, segundo Amadio e Serrão (2011):

“Mais do que simplesmente aplicar as leis da Física, a Biomecânica leva ainda em consideração as características do aparelho locomotor. Para tanto, além da Física e da Matemática, enquanto disciplinas que fundamentam e suportam a análise do movimento humano, a Biomecânica ainda se utiliza dos conhecimentos da Anatomia e da Fisiologia, disciplinas que delimitam as características estruturais e funcionais do aparelho locomotor humano.”

Esse conhecimento é dividido em quatro grupos de investigações que são a cinemetria, a dinamometria, a eletromiografia e a antropometria onde temos que a cinemetria tem como objetivo a determinação da posição, do deslocamento, da velocidade e da aceleração, enquanto descritores das características cinemáticas dos segmentos e do próprio corpo humano. Tais parâmetros podem ser mensurados por intermédio de câmeras de vídeo, de sistemas optoeletrônicos, de acelerômetros, ou dos eletros goniômetros (DAINTY & NORMAN, 1987 citado por AMADIO & SERRÃO 2011). A dinamometria preocupa-se em estudar como é a determinação das forças na execução do movimento. Tal força age sobre o corpo humano durante a fase de contato com o solo, conforme regência básica das leis de movimento de Newton. (AMADIO & SERRÃO 2011.)

A eletromiografia estuda a atividade dos músculos a partir da captação dos eventos elétricos vinculados à contração muscular. Por permitir a interpretação de parâmetros de natureza interna, a eletromiografia assume importante papel na determinação dos mecanismos de controle do sistema nervoso (DE LUCA, 1997 citado por AMADIO & SERRÃO 2011). E por último, porém não menos importante temos a antropometria que se atenta a realizar observações analíticas ou experimentais acerca dos movimentos executados pelos músculos.



**Figura 7-Ilustração de estudo da biomecânica na educação física. Fonte: [www.educacaofisicaa.com.br](http://www.educacaofisicaa.com.br)**

Como foi possível observar, a base da Biomecânica consiste no estudo do movimento do corpo com base nas leis de Newton. Porém, como isso acontece na prática? E quais são os exercícios ou movimentos com que podemos comprovar essa veracidade? Essa parte atenta-se a apresentar alguns exemplos das aplicações das leis de Newton, incluindo o movimento rotacional presentes na Biomecânica.

### **3.2.1.1 Lei da Inércia – Biomecânica**

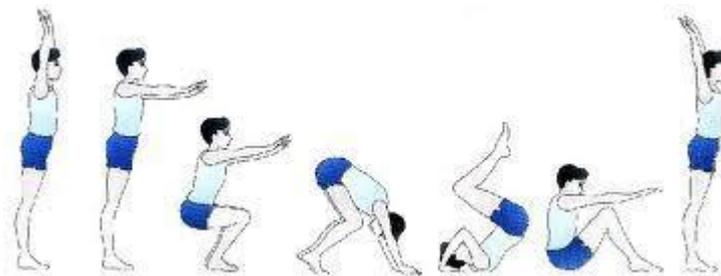
Essa lei como já vimos possuir uma definição bem simplista. Apesar de todo o seu construto histórico, sabemos que ela é aplicada tanto para movimentos lineares quanto para movimentos angulares. Para a biomecânica esse conceito aplicado a movimentos angulares aparece um pouco mais do que no linear.

Vamos apresentar duas aplicações das inúmeras aplicações que existe, uma delas, uma luta de Judô, para derrubar o adversário é necessário aplicar uma grande força para que o adversário saia da inércia, e quanto maior a massa corporal maior vai ter que ser essa força aplicada, como apresentado na figura 8.



**Figura 8-Exemplo da aplicação da 1ª Lei de Newton. Fonte <https://blogpilates.com.br/pilates-aplicado-as-lutas/>**

Uma prática bem comum nas academias de ginástica artística que representa a aplicação da 1ª Lei de Newton é o rolamento para frente (Figura 9), o movimento desse exercício consiste inicialmente em realizar um agachamento e aproximar a cabeça do peito, segundo (Corrêa e Freire2004) isso nada mais é do que se pedir mecanicamente a ele que diminua o raio – isto é, a distância da força peso (resistência) até o eixo (tendo como eixo inicialmente o pé e depois as mãos no rolo propriamente dito) de maneira que diminua a inércia e, com isso, exerça menor força para sair do repouso.



**Figura 9 Movimento completo de um rolamento para frente. Fonte: <http://carla-amaral.blogspot.com/p/ginastica.html>**

Em muitos outros esportes temos a presença da primeira lei de Newton aplicada à biomecânica, e não apenas nos esportes no nosso dia a dia, esses dois conceitos também andam juntos, como no ato de abaixar para pegar algo quando cai no chão dentre outros.

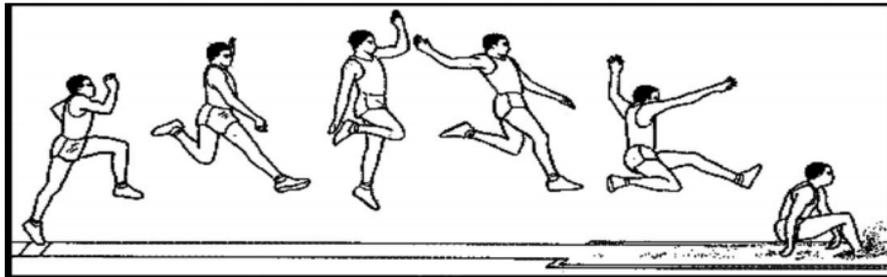
### **3.2.1.2 Princípio Fundamental da Dinâmica – Biomecânica**

Esse conceito é um dos mais utilizados na Biomecânica, já que ele trata da força e do torque, esse torque e a força aplicada em movimentos circulares, ou seja,

é o mesmo conceito, porém aplicados em situações diferentes, um será para movimentos em linha reta e outro em círculos.

Uma das aplicações do conceito de força para situações lineares, podemos encontrar no atletismo (Figura 10), pois segundo Corrêa e Freire (2004)

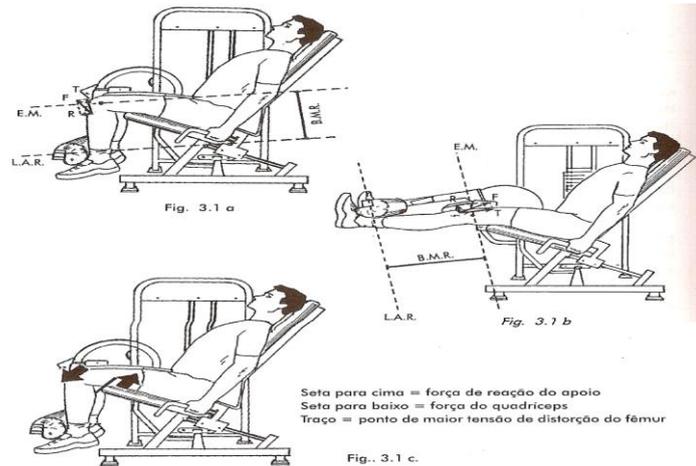
Ao se realizar um salto em altura ou um salto em distância, o ângulo de aplicação de força com o pé é fundamental. Obviamente, se o objetivo é saltar mais alto (obter grande velocidade em  $y$ ), mas ainda tendo de passar pelo sarrafo (velocidade em  $x$ ), o ângulo de aplicação de força com a horizontal será grande, pois com isso se obterá uma componente grande em  $y$ . O raciocínio no salto em distância é para se obter uma grande componente em  $x$  (maior distância horizontal), mas ainda tendo de elevar o CG do solo (componente em  $y$ ). Com isso, o ângulo de aplicação de força será pequeno com a horizontal, obtendo-se, portanto, uma grande componente em  $x$ . CORRÊA E FREIRE (2004)



Disponível em: <<http://demotu.org/x/salto/fundamentos.html>>. Acesso em : 20 ago. 2010.

**Figura 10-Movimento completo de um salto em altura. Fonte**  
<https://www.aprovaconcursos.com.br/questoes-de-concurso/questao/644824>

Do mesmo modo, como acontece com as forças externas, nos movimentos é possível notar como essa força acontece internamente, essa é uma parte da Biomecânica extremamente fascinante quando você tem a possibilidade de analisar o movimento realizado por um músculo e como a sua execução pode melhorar o desempenho de um atleta, um desses exemplos é quando analisamos o movimento da perna quando está em uma cadeira extensora (Figura 11)



**Figura 11-Movimento completo da cadeira extensora. Fonte: <http://musculacaoectomorfo.com>**

Nessa figura podemos observar como é aplicado esse conceito de torque que também faz parte da segunda lei de Newton, pois quanto mais longe estiver a carga do centro da aplicação da força, que nesse caso encontra-se nas coxas, maior vai ser a aplicação da força, por esse motivo a carga tem que ser colocada no tornozelo, pois se a colocar no joelho não terá força nenhuma, e utiliza-se o conceito de torque no lugar de força pois o joelho realiza uma rotação para executar o movimento.

Em suma esse conceito é de muito importante para a execução de movimentos complexos e de movimento simples do nosso dia a dia como se levantar e se sentar em uma cadeira, pois tudo que realiza um tipo de movimento onde o corpo está acelerando gera algum tipo de força.

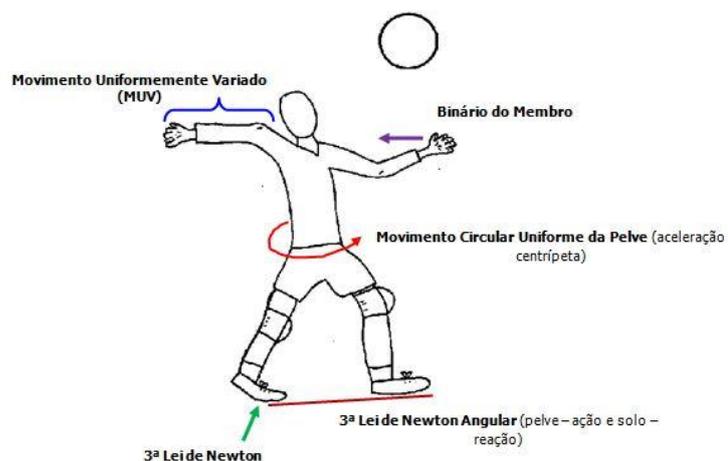
### 3.2.1.3 Ação e Reação – Biomecânica

A terceira, porém não menos importante lei de Newton, é uma das mais aplicadas a biomecânica, pois o nosso corpo sempre está realizando ação em outro corpo e de mesmo modo recebendo a sua reação, como é o caso dos lutadores de MMA (Figura 12), ao dar um soco no rosto do adversário, o agente que imprime essa força também receberá uma reação de mesma intensidade, porém de sentido contrário advindo do rosto do seu adversário.



**Figura 12- Aplicação da 3ª Lei de Newton. Fonte: <https://www.jornale.com.br>**

Como é possível observar na figura 12 (Amadio & Serrão, 2011) (CORRÊA & FREIRE, 2004) (NEWTON, 1686) ao dar um soco no rosto do adversário, a força que ele imprime na mão irá voltar para ele com sentido contrário. Porém não é apenas nas lutas que podemos observar dessa lei, quando estamos vendo ou até mesmo jogando vôlei, a cada batida na bola que o jogador(a) realiza ele também está sofrendo uma reação advinda da sua ação, o ato de correr na quadra também caracteriza uma aplicação da 3ª lei de Newton.



**Figura 13- Aplicação da 3ª Lei de Newton no jogo de vôlei. Fonte: <https://www.efdeportes.com/efd185/saque-tipo-tenis-do-karate-shotokan.htm>**

Qualquer que seja a prática esportiva podemos observar que na visão da Biomecânica as Leis de Newton sempre estão presentes, seja na prática esportiva de alto desempenho ou seja no nosso dia a dia.

### 3.2.2 A Simulação de Dinâmica Molecular

A “Dinâmica Molecular” (MD, *Molecular dynamics*) é um método de simulação computacional que estuda o movimento físicos dos átomos e moléculas das quais se conhece o potencial de interação entre estas partículas e as equações que regem o seu movimento. Este método considera as partículas como sendo corpos macroscópicos que são afetados por forças. Nestas simulações é permitido aos átomos e moléculas interagirem por um período fixo, permitindo observar a evolução dinâmica do sistema.

Nas versões mais comuns as trajetórias são determinadas pela resolução numérica das equações de movimento de Newton, enquanto que as forças entre as partículas e as suas energias potenciais são calculadas utilizando potenciais intra-atômicos ou campos de força criados através de métodos de mecânica molecular. O método foi originalmente desenvolvido na área da física teórica no final da década de 1950, mas atualmente é aplicada sobretudo em áreas interdisciplinares (LIMA,2013).

Tendo começado como um ramo da Física teórica, o método de MD ganhou popularidade na “ciência dos materiais” e desde a década de 1970 também nas áreas da “bioquímica” e da “biofísica”. A MD é frequentemente utilizada para melhorar a estruturas tridimensionais de proteínas e outras macromoléculas obtidas por análises experimentais por cristalografia de Raios-X ou por Ressonância magnética nuclear (RMN). Em física, a DM é utilizada para examinar a dinâmica de fenômenos ao nível atômico que não podem ser observados diretamente, como o crescimento de micro películas ou subplantação iônica. Também é utilizada para examinar as propriedades físicas de dispositivos nano tecnológicos.

Em biofísica e biologia estrutural este método é mais frequentemente aplicado ao estudo do movimento de macromoléculas biológicas, como é o caso das proteínas e dos ácidos nucleicos, o que pode ser útil para a interpretação de resultados de experiências biofísicas ou para a modelação de interações com outras

moléculas, como no caso dos acoplamentos moleculares. Por princípio, a MD pode ser utilizada para previsões *ab initio* de estruturas proteicas através da simulação do enovelamento das proteínas de uma cadeia polipeptídica a partir de uma conformação aleatória.

Como os sistemas moleculares tipicamente consistem num vasto número de partículas, é impossível determinar analiticamente as propriedades de sistemas complexos. As simulações de MD contornam este problema pelo recurso a métodos numéricos e computacionais. No entanto, simulações longas de MD tornam-se mal acondicionadas, gerando erro cumulativo de integração numérica que podem ser minimizados pela escolha de parâmetros e algoritmos apropriados, mas estes erros não podem ser completamente eliminados.

Outro problema encontrado na MD é o tempo de observação ou tempo de CPU precisando, cada vez de computadores mais potentes. No Brasil, por exemplo, existe o supercomputador Santos Dumont (“SDumont”), adquirido junto a empresa francesa ATOS/BUL, tendo sido inaugurado no LNCC (Laboratório Nacional de Computação Científica) em 2015 na cidade de Petrópolis/RJ. O equipamento francês custou R\$ 60 milhões e foi custeado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico.

Atualmente, o maior supercomputador da América Latina é utilizado por pesquisadores das áreas como energia, engenharia, química, meio ambiente, meteorologia, banco e mineração de dados, ciências biológicas e nanotecnologia. A possibilidade de uso por parte de empresas pode ajudar na manutenção do equipamento e é mais um atrativo para o crescimento do polo tecnológico da cidade.

O maior supercomputador “Sdumont” poderá ser usado por empresas que necessitam de pesquisas e se dedicam à inovação. Hoje mais de 50 projetos, de várias áreas, estão em processamento no supercomputador. O objetivo, segundo a diretoria do LNCC, é aumentar ainda mais o uso do equipamento por empresas – ele é capaz de realizar 1,1 trilhão de operações de soma e subtração por segundo – fomentando a tecnologia e incentivando o crescimento do setor. O assunto norteou uma reunião realizada entre a diretoria da instituição e as equipes da Coordenadoria de Ações Estratégicas, e Secretaria de Desenvolvimento Econômico da Prefeitura, representados respectivamente por Roberto Rizzo e Marcelo Fiorini, além de Rodrigo Muniz, da Firjan.



Figura 14-O supercomputador “Sdumont” localizado em Petrópolis/RJ. Fonte: LNCC (Laboratório Nacional de Computação Científica).

### 3.2.3 Controle de Vibrações

Tradicionalmente, estruturas são projetadas para resistir a cargas estáticas. Porém, elas podem estar sujeitas a eventos que geram cargas dinâmicas, como terremotos, ventos, ondas e tráfego. Esse tipo de carga pode causar movimentos vibratórios que podem prejudicar a estrutura e trazer perigo para aqueles em seu

interior. Em prédios altos, por exemplo, as vibrações induzidas pelo vento podem causar desconforto aos ocupantes (especialmente nos andares superiores) ou danos estruturais. Devido a isso, engenheiros do mundo todo estudam formas de desenvolver estruturas mais seguras. Por exemplo, alguns projetos que enfrentaram problemas com vibrações viram fontes de estudo e acabam servindo como fonte de conhecimento para evitar problemas semelhantes no futuro. Da mesma maneira, projetos com tecnologia avançada de amortecimento de vibrações também são extensivamente estudados. As “ferramentas” básicas de todos estes eventos é a dinâmica estrutural (análise estrutural) construída a partir da dinâmica newtoniana.

A ponte pênsil de *Tacoma Narrows*, é ainda um exemplo de modelo bastante estudada pelos engenheiros. Ela foi aberta ao tráfego em primeiro de julho de 1940.

A seção central da ponte, localizada no estado de Washington, nos EUA, tinha 853 metros de comprimento, a terceira mais longa do mundo. Desde o dia de sua inauguração, a força do vento fazia o vão central subir e descer alguns centímetros, o que, apesar de não alarmar os motoristas e engenheiros, causava enjoos em algumas pessoas.

Tacoma Narrows foi a primeira ponte que Leon Moisseiff projetou como engenheiro chefe. Ele foi um reconhecido engenheiro de pontes suspensas, um dos responsáveis pela Manhattan Bridge sobre o East River, em Nova Iorque, e pela Benjamin Franklin Bridge sobre o Rio Delaware, em Filadélfia. Moisseiff ficou famoso pelo seu trabalho com a teoria da deflexão, em que afirmava que quando mais longas fossem pontes, mais flexíveis elas poderiam ser.



**Figura 15-Ponte de Tacoma Nowrrows em 1940. Fonte: Disponível em: [www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/ressonancia.php](http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/ressonancia.php). Acesso em: 24 fev. 2020.**

A teoria Moisseiff afirmava que a força do vento em vãos longos é transmitida principalmente para os cabos em vez das estruturas rígidas. Quanto maior o estresse nos cabos, mais difícil para deslocar a ponte lateralmente. Esta teoria permitiu que o projeto da Tacoma Narrows fosse muito mais econômico devido, principalmente, aos menores suportes de vigas metálicas. Por isso ela era muito leve e flexível, oferecendo pouca resistência ao vento.

O fato é que todas as pontes se movem com o vento, porém quando mais rígida a ponte, menos ela reagirá às forças do vento. Tacoma Narrows, por ser mais flexível, movia-se mais. A ponte havia sido bem projetada e construída, ao perceber que as ondulações verticais causadas pelo vento chegavam a uma amplitude de quase um metro, os engenheiros instalaram uma série de cabos auxiliares ao longo dos vãos da ponte para mantê-la mais estável e evitar que girasse.

Porém na manhã de 07 de novembro de 1940, a ponte enfrentou ventos sustentados de 68 km/h que a fizeram vibrar de uma maneira não usual. Os auxiliares que tencionavam o vão central para baixo romperam e o vento causou movimentos de torção de até 45° e oscilações com amplitude de mais de oito metros. O colapso começou quando as vigas de reforço começaram a deformar e o concreto rachou, fazendo com que os cabos de suspensão rompessem sob o estresse e a seção central

caíssem na água. Tudo foi gravado em vídeo, o que permitiu aos engenheiros estudar em detalhe o que aconteceu com a ponte.

O colapso da ponte de Tacoma Narrows teve efeito duradouros em ciência e engenharia. Muitos textos de física na graduação apresentam o caso como um exemplo do poder destrutivo da ressonância (fenômeno que ocorre quando um sistema físico recebe energia por meio de excitações com frequência igual a uma das frequências natural de vibração, levando-o a vibrar com amplitudes cada vez maiores).

Porém, a teoria mais certa diz que o colapso foi causado por vibrações aeroelásticas: à medida que o deck da ponte torcia em uma direção, as forças do vento atuando sobre a sua superfície aumentavam. Quando ela rodava novamente, estas forças a empurravam na direção oposta. À medida que o deck do vão central rodava mais e mais, as forças atuando sobre a sua superfície aumentavam, o que levou aos movimentos de oscilação que causaram o colapso da ponte. Exceto por um cachorro que, muito assustado, não saiu de um carro abandonado sobre o vão central, não foi registrada nenhuma fatalidade.

Um dos fatores que contribuíram para o fracasso de Tacoma Narrows foram os lados sólidos de sua plataforma, que não permitiam a passagem do vento e forçavam a estrutura a suportar a força de arrasto das rajadas de vento. Outra medida que poderia ter contido o colapso seria a instalação de amortecedores para absorver e dissipar a energia das oscilações. O acidente impulsionou a pesquisa no campo da aerodinâmica de pontes, que influenciou todos os projetos de pontes de longa extensão construídos a partir de 1940.

No Brasil existem vários centros de pesquisas sobre vibrações estruturais, um dos maiores foi criado na década 1970 um laboratório vinculado ao Programa de Engenharia Mecânica da Coppe/UFRJ. O laboratório atua na formação de profissionais nas áreas de acústica, vibrações e dinâmica.

As atividades são desenvolvidas no âmbito da graduação, mestrado e doutorado, além de cursos de extensão, assessoria técnica e metrológica. Conta com infraestrutura para aquisição, análise e processamento de sinais acústicos e de vibração. O laboratório também tem atuado visando à análise de problemas não lineares.

Atualmente, tem trabalhado nos seguintes temas: acústica ambiental, ruído aeroportuário, modelagem de fontes sonoras, acústica de dutos, vibro acústica, acústica veicular, controle de ruído, barreiras acústicas, propagação do som, modelagem constitutiva de materiais inteligentes, dinâmica não linear de sistemas inteligentes, dinâmica não linear de sistemas biomecânicos, dinâmica de sistemas não suaves, caos em sistemas mecânicos e controle, incluindo o controle de caos. O corpo técnico conta professores e engenheiros, além de alunos. Mantém cooperação com empresas e centros de pesquisas, com destaque para Petrobras, Eletrobras/CEPEL, Eletrobras/FURNAS e Infraero.

### **3.2.4 Controle de Fluxo de Tráfego de Veículos**

A análise do comportamento do fluxo de tráfego de veículos em vias urbanas tem chamado a atenção da comunidade científica, apresentando um número crescente de publicação nas áreas de Física e de Engenharia. O crescimento na área de Física é justificado por uma aplicação bastante interessante da dinâmica newtoniana no controle do fluxo de tráfego nas cidades. Na Engenharia isso é justificado pelo grande volume de veículos em vias de trânsito em geral nas metrópoles.

A teoria do fluxo de tráfego consiste na aplicação de leis da matemática, da teoria da probabilidade e da física clássica, e tem como propósito descrever o comportamento do tráfego veicular rodoviário a partir de um conjunto de dados. O estudo do tráfego de veículos é de muita importância em regiões de alta densidade de tráfego que pode ser provocado por um congestionamento de trânsito causado pelo aumento no tráfego de veículos, ou até mesmo por um bloqueio de uma ou mais faixas de rodagem da via. Descrever as condições de tráfego é essencial para acompanhar o desenvolvimento operacional de uma ou mais vias. Essa descrição tem como base três variáveis importantes: a velocidade, a densidade e o fluxo de tráfego. Estas três variáveis estão ligadas entre si pela relação,  $\phi = \rho v$ , onde  $\phi$  é fluxo,  $\rho$  e  $v$  são respectivamente a densidade e a velocidade dos veículos nas vias em estudo.

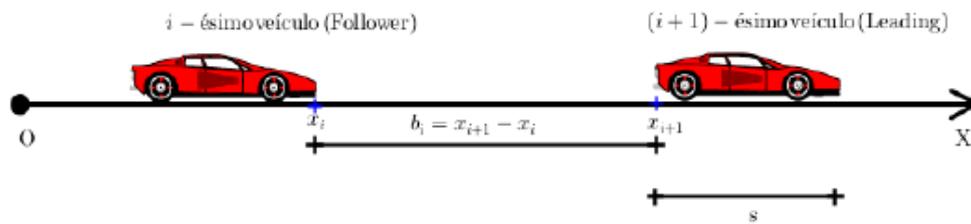
Há várias abordagens para descrever o fluxo de tráfego de veículos. Do ponto de vista teórico são três as abordagens básicas da análise de tráfego: a *macroscópica*, *mesoscópica* e *microscópica*. Na abordagem macroscópica a dinâmica do fluxo de

veículos é construída por modelos hidrodinâmicos de fluidos, assumindo a existência de um fluxo contínuo de veículos e as leis da conservação da massa e do momento linear é de fundamental importância no contexto macroscópico. Esses modelos descrevem a relação do desenvolvimento das variáveis fundamentais, a densidade, a velocidade e o fluxo. Estes modelos são baseados em equações do tipo “Navier-Stokes” e descreve uma grande variedade de fluxo de tráfegos com respostas lineares e não lineares, para diferentes tipos de viscosidades e amortecimento.

Na abordagem mesoscópica (ou cinética), a identificação da posição e da velocidade dos veículos é feita por uma distribuição apropriada de probabilidade sobre o estado microscópico, considerado como uma variável aleatória. A dinâmica desses modelos é construída a partir de equações integro-diferenciais similares as “equações de Boltzmann” (idêntica às equações da física estatística). A solução desses problemas de tráfego é feita por métodos de simulação computacional tipo Monte Carlo (MC) e/ou Dinâmica Molecular (MD) e descreve uma grande variedade de problemas importantes, como congestionamento e estabilidade de tráfego.

No modelo microscópico os veículos e suas interações são analisados de forma individual (como se fossem partículas). É analisado mais precisamente a aceleração do veículo, sua velocidade, posição e distância, o restante dos veículos são as variáveis usadas para caracterizar estes modelos que, de um modo são representados por sistemas de equações diferenciais ordinárias (EDO's) com ou sem retardo construída a partir da dinâmica newtoniana.

Na abordagem microscópica existem vários modelos, provavelmente o mais famoso entre esses modelos é o “Car-following” que se baseia na ideia de que cada condutor responde (ou reage) a uma forma específica de estímulo, traduzido na forma de aceleração. Estes estímulos, trata-se de distância ou a velocidade relativa entre veículos. A solução das equações desse modelo permite uma descrição das condições de fluxo de tráfego.



**Figura 16-A** ideia do modelo “Car-following” proposto pela GM (acima). (acima) Fonte: Wikipedia. Fluxo de carro na alameda botafogo, Goiânia (abaixo). Fonte: O Popular.

A equação do modelo “Car-following”, obtida da dinâmica newtoniana pela General Motors (GM) foi obtida em 1959 por Gazis,

$$\ddot{x}(t + \tau) = a \frac{[\dot{x}_n(t+\tau)]^m}{[x_{i+1}(t) - x_i(t)]^l} [\dot{x}_{i+1}(t) - \dot{x}_i(t)] \quad (3.4)$$

onde  $\tau$  é o tempo de retardo,  $b = x_{i+1}(t) - x_i(t)$  é a distância entre veículos e  $a$  é a reação ao estímulo do motorista (veja, Figura 16). Dependendo do valor de “m” e “l” são propostos os diferentes modelos atuais. Quando se estuda o fluxo de tráfego em geral, todas as abordagens apresentam suas vantagens e desvantagens. Na abordagem microscópica que permite uma análise mais precisa quando o número de veículos é muito grande nas vias (altas densidades). O tratamento individualizado dos veículos exige mais recursos computacionais do que a abordagem macroscópica. Então na abordagem macroscópica a vantagem é simplicidade computacional, por

outro lado apresenta problemas quando há poucos veículos na via (baixa densidade) ou via de fluxo livre.

### **3.2.5 Perícia Criminal**

A área da perícia criminal é vista geralmente na televisão, sejam em séries ou filmes: um crime acontece e, logo depois, aparece a equipe da polícia acompanhada de pessoas altamente especializadas que coletam materiais, tiram fotos da cena e discutem como o crime pode ter ocorrido. Esses especialistas são os peritos criminais. Eles auxiliam na resolução de crimes a partir de evidências e pesquisas que viram provas a serem apresentadas nos tribunais de Justiça. Sendo assim, o perito é sempre alguém fundamental na resolução de um crime e parece saber mais do que todos os outros personagens do crime, o que faz a profissão parecer algo muito importante na investigação.

Ser um perito criminal na vida real, no entanto, tem algumas diferenças. A carreira de perito criminal apresenta desafios todos os dias. É difícil falar sobre uma rotina quando a profissão é baseada em eventos diferentes: para cada novo crime, novas possibilidades surgem e o perito deve estar pronto para se adaptar às necessidades do trabalho. É importante ter em mente, desde o início, que essa carreira exige muita “responsabilidade”. Analisar cenas de crimes, corpos, vestígios e evidências é uma tarefa que requer profissionais observadores, detalhistas e com muito espírito de equipe e interdisciplinaridade.

A principal tarefa de um perito criminal pode ser resumida como “coleta de dados” e “evidências” que, junto a diversas pesquisas, vão ajudar o profissional a chegar a uma solução. Certifica-se de que as leis serão cumpridas a partir das provas coletadas, também está dentre os trabalhos do perito (RODY, MENDONÇA.2016).



**Figura 17-Um perito criminal (acima). Fonte: Wikipedia.**

Não se deixe levar por filmes e séries: um perito criminal não pode concluir que foi o crime ou quem é culpado. Ele coleta evidências e produz as provas, mas essa é só uma parte do processo que leva ao tribunal. O trabalho é feito em equipe, e as provas da perícia são mandadas para outros departamentos para análise. Podemos resumir a profissão do perito, por suas tarefas comuns dessa profissão:

- Examinar locais de crime em busca de evidências, selecionando e coletando indícios;
- Encaminhar o material coletado para exame;
- Reconstituir fatos e analisar materiais e documentos;
- Dependendo de sua formação, efetuar análises laboratoriais;
- Elaborar o laudo pericial criminal, com as provas e fatos organizados.

A perícia criminal abrange diversas áreas do conhecimento, ou é interdisciplinar, cada uma com sua especialidade, cobrindo tipos diferentes de crime. Dentre as áreas podemos citar:

- **Informática:** Trabalha com crimes que envolvem internet e tecnologia, como exploração sexual, fraudes, clonagem de cartões de crédito, rádios piratas e, também executa tarefas que exijam conhecimento tecnológico, como rastreamento de mensagens e ligações:

- **Financeira:** Essa área da perícia criminal trabalha com crimes de colarinho branco: corrupção, lavagem de dinheiro, sonegação de impostos etc.
- **Química:** Trabalha com análises laboratoriais e cria ferramentas para análise de drogas, alimentos, bebidas, agrotóxicos etc.
- **Engenharia:** Trabalha com casos como superfaturamento de obras, supervisão de construções, desmoronamentos etc.
- **Genética:** Identifica o DNA de humanos, vegetais e animais, além de examinar outros vestígios de sangue, saliva, sêmen etc. Peritos em genética forense trabalham exclusivamente no “Instituto Nacional de Criminalística”, em Brasília.
- **Meio ambiente:** Trabalha com crimes contra a flora e fauna do país, como casos de extração de minério, poluição e análise de sítios arqueológicos.
- **Física:** Trabalha com a dinâmica newtoniana, termodinâmica e eletromagnéticos para estudar casos que envolvam colisões de veículos, fenômenos eletromagnéticos e acústicos etc.

Essas são algumas das funções exercidas por peritos criminais. A área mais conhecida, no entanto, é a que trabalha no local do crime e é chamada em casos de homicídios, acidentes de trânsito, ameaças químicas e nucleares, incêndios etc.

## 4 CONCLUSÕES FINAIS

No decorrer desse trabalho foi possível refletir sobre o quanto é importante o construto de um estudo, nesse caso, que se atentou em estudar as Leis de Newton e a sua aplicação.

Inicialmente foi feito um breve relato da vida de Newton, que diferente do que se imagina, não foi fácil e tranquila, pois quando pensamos em grandes cientistas não levamos em consideração que eles são pessoas normais que tem famílias, e como em qualquer outra família pode ter concordâncias e discordância, o que é notório e nessa parte da vida de Newton e saber que ele não nasceu um gênio ele se tornou um gênio com o decorrer dos anos.

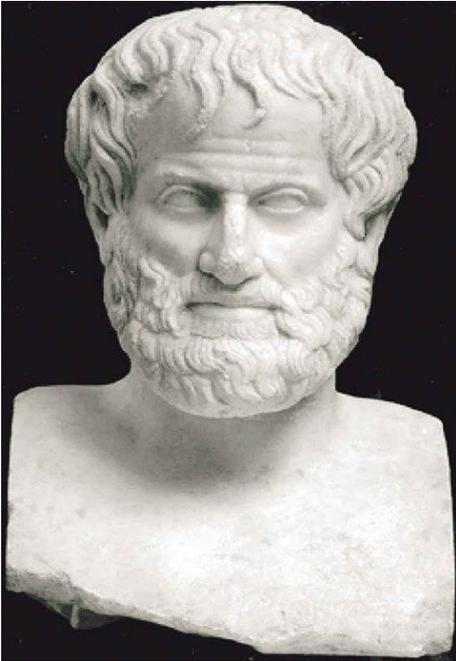
Em seguida explanamos o construto do conceito de força e das leis de Newton. Nessa parte é nítido o quando um conceito demora anos, séculos e quem sabe milênios para chegar ao que conhecemos hoje, Nada nasce pronto, tem várias pessoas que corroboram para chegar até a versão final, e todas as teorias que antecedem a final foram corretas por um determinado tempo, pois naquele tempo ela era válida, como aconteceu com o conceito de Inércia, que durante muito tempo foi aceita com a definição aristotélica, o que pra gente hoje não tem sentido; na época de Aristóteles fazia todo o sentido.

Adiante aplicamos as Leis de Newton. Esse momento de aplicação é importantíssimo, pois antes de pensar e realizar esse trabalho não tinha a noção de em quantas áreas diferentes é necessário ter o conhecimento de uma ou de todas as Leis de Newton. Às vezes pensamos que um determinado conceito é útil apenas na nossa área de atuação,, ou em áreas afins, não imaginamos que em uma área que até então não acreditava fazer conexão com Física, é possível usar as Leis de Newton, como é o caso da Biomecânica, dinâmica molecular, controle de vibrações e na perícia criminal ou Forense.

Em suma, esse breve estudo sobre a vida e a obra de Newton, em conjunto com as suas aplicações, mostra o quanto Newton foi importante para desenvolvimento da Física, da Matemática e para o avanço em outras áreas de conhecimento, e em nenhum momento podemos tirar o seu mérito, independente de seus antecessores.

## APÊNDICE A – ALGUMAS BIOGRAFIAS

### Aristóteles (384-322 a.C.)



Aristóteles (384-322 a.C.) foi um importante filósofo grego. Um dos pensadores com maior influência na cultura ocidental. Foi discípulo do filósofo Platão. Elaborou um sistema filosófico que abordou sobre praticamente todos os assuntos existentes, como a geometria, física, metafísica, botânica, zoologia, astronomia, medicina, psicologia, ética, drama, poesia, retórica, matemática e principalmente lógica. Aristóteles nasceu em Estagira, na Macedônia, colônia grega, no ano de 384 a.C. Filho de Nicômaco, médico do rei Amintas III, recebeu sólida formação em Ciências Naturais.

### René Descartes (1596 - 1650)



René Descartes (1596 - 1650) foi um filósofo, físico e matemático francês. Autor da frase: "Penso, logo existo". É considerado o criador do pensamento cartesiano, sistema filosófico que deu origem à Filosofia Moderna. Sua preocupação era com a ordem e a clareza. Propôs fazer uma filosofia que nunca acreditasse no falso, que fosse fundamentada única e exclusivamente na verdade. Morreu aos 53 anos.

**Johannes Kepler (1571-1630)**

Johannes Kepler (1571-1630) foi um importante matemático e astrônomo alemão. Foi responsável pela elaboração das “Leis do Movimento Planetário” - as "Leis de Kepler". Aperfeiçoou invenções de Galileu Galilei e deixou importantes trabalhos que influenciaram nas futuras descobertas de Isaac Newton. Morreu aos 58 anos.

## APÊNDICE B – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE PUBLICAÇÃO DE PRODUÇÃO ACADÊMICA

O estudante VALTER DIVINO BORGES do curso de Licenciatura Plena em Física, matrícula 20181001800142, telefone: (62) 92628718, e-mail valterdiborges@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado AS LEIS DE NEWTON E SUA INTERDISCIPLINARIDADE, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 15 de dezembro de 2020.

Assinatura do autor:



Nome completo do autor: VALTER DIVINO BORGES

Assinatura do professor-orientador:



Nome completo do professor-orientador: Dr. ANDRÉ LUIZ CARDOSO DA SILVA

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014
- AMADIO, C.; SERRÃO, J. **A Biomecânica em Educação Física e Esporte**. Revista Brasileira de Educação e Esporte, p. 15-24, 2011.
- ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010.
- ARAÚJO, José Milton de. **Projeto estrutural de edifícios de concreto armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2014.
- BALOLA, R. **Princípios Matemáticos da Filosofia Natural: A lei de inércia**. Universidade de Lisboa. Lisboa, p. 119. 2010.
- BARBATTI, M., “**A Filosofia Natural na Época de Newton**”, Revista brasileira de Ensino de Física, vol. 21, nº.1, p. 1-13, 1999.
- BASTOS FILHO, J. B., “**A Unificação da Física de Galileu com a Astronomia de Kepler à Luz da Crítica Popperiana à Indução**”, Revista brasileira de Ensino de Física, vol. 71, nº3, p. 233-242, 1995.
- BRASIL. **RESOLUÇÃO Nº 39, DE 21 DE MAIO DE 1998 – CONTRAN, 1998**. Disponível em [www.camara.gov.br/sileg/integras/450324.pdf](http://www.camara.gov.br/sileg/integras/450324.pdf).
- BRASIL. **LEI Nº 9.503, DE 23 DE SETEMBRO DE 1997**. Código de Trânsito Brasileiro. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9503.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9503.htm).
- BEER, Ferdinand Pierre; JOHNSTON, E. Russell Jr. **Resistência dos materiais**. 3. Ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1995.
- BRENNAN, R. **Gigantes da Física. Uma história da Física Moderna. Através de oito biografias**. Rio de Janeiro: ZAHAR, 1998.
- CHIBENI, S. S., “**A fundamentação Empírica das Leis Dinâmicas de Newton**”, Revista brasileira de Ensino de Física, vol. 21, p. 1-13, 1991.

- CARDOSO DIAS, P. M., “**F = ma?!! O nascimento da lei dinâmica**”, Revista brasileira de Ensino de Física, vol.28, p. 205-234, 2006.
- COHEN, I.; WESTFALL, R. **O Nascimento de uma Nova Física**. Lisboa: Gradiva, 1988.
- CORRÊA, S.; FREIRE, E. S. **Biomecânica e Educação Física escolar: Possibilidades de Aproximação**. Mackenzie de Educação Física e Esporte, p. 107-123, 2004.
- FITAS, A. J. S. **Os Principia de Newton, alguns comentários( Primeira Parte, a Axiomática)**. Rio de Janeiro: Vértice , 1996.
- FURTADO, C. J. G. **Dinâmica de Tráfego de Veículos**. Faculdade de Ciências do Porto. Porto, p. 94. 2013.
- FRAZÃO, Diva. **Biografia de Aristóteles**. Pernambuco 13 de agosto de 2019 Disponível em: <https://www.ebiografia.com/aristoteles/>. Acesso em: 07 de novembro de 2020.
- FRAZÃO, Diva. **Biografia de Francis Bacon**. Pernambuco 12 de junho de 2019 Disponível em: [https://www.ebiografia.com/francis\\_bacon/](https://www.ebiografia.com/francis_bacon/). Acesso em: 07 de novembro de 2020.
- FRAZÃO, Diva. **Biografia de Johannes Kepler**. Pernambuco 19 de julho de 2019 Disponível em: [https://www.ebiografia.com/johannes\\_kepler/](https://www.ebiografia.com/johannes_kepler/). Acesso em: 07 de novembro de 2020.
- FRAZÃO, Diva. **Biografia de Galileu Galilei**. Pernambuco 23 de julho de 2019 Disponível em: < [https://www.ebiografia.com/galileu\\_galilei/](https://www.ebiografia.com/galileu_galilei/)>. Acesso em: 07 de novembro de 2020.
- FRAZÃO, Diva. **Biografia de René Descartes**. Pernambuco 17 de dezembro de 2019 Disponível em: < [https://www.ebiografia.com/rene\\_descartes/](https://www.ebiografia.com/rene_descartes/)>. Acesso em: 07 de novembro de 2020.
- GURGEL, W. P. et al. **Cálculo de velocidades em acidentes de trânsito:Um software para investigação em física forense**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 37, nº. 4, p. 1-10, 12 dezembro 2015.

- HIBLER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. 7. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- HOLLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física**. Volume 1. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- JAMMER, M. **Conceitos de física. Estudo sobre os fundamentos da dinâmica**. Rio de Janeiro: PUC Rio, 2011.
- KOYRE, A. **Newtonian Studies**. Chicago: University of Chicago Press, 1968.
- LIMA, A. **Simulações de Dinâmica Molecular de Dobras de Grafeno**. Programa de Pós Graduação em Ciência Área de Concentração Física de Materiais, 17 Dezembro 2013. P. 1-84.
- MACLAURIN, C. De Uma exposição das descobertas filosóficas de Sir Isaac Newton. In: WARFALL, B. C. E. R. S. **Newton.Textos.Antecedentes.Comentários**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2010. P. 159-163.
- MARX, Karl. **O capital**. Vol.01. São Paulo: Boitempo, 2010.
- NAVES, M. C. D. **Memórias do invisível. Uma reflexão sobre a história no ensino de física e a ética da ciência**. Maringá: L.C.V, 1999.
- NAVES, M. C. D.; SAVI, A. A. **A sobrevivência do alternativo; uma pequena digressão sobre mudanças conceituais que não ocorrem no ensino de física**. Ata do II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Bauru : Ciência e Educação. 2000. p. 11-20.
- NEWTON, I. **Principia. Princípios Matemáticos de Filosofia Natural**. Londres: Cambridge, Trinity College 1686.
- NEWTON, I. **Principia.Princípios Matemáticos de Filosofia Natural**. Londres: USP, 1686.
- RODY, H. P.; MENDONÇA JÚNIOR, S. J.; SILVA, R. C. P. **Radares E Lombadas Eletrônicas - A “Moderação De Tráfego” Nas Rodovias Estaduais**. Projectus, Rio de Janeiro , v. 1, nº. 2, p. 81-87, 2016.

- S.WESTFALL, B. C. E. R. **Newton, Texto.Antecedentes.Comentário**. Rio de Janeiro: Ed UERJ, 2010.
- VEIT, E. A., MORS, P. M., TEODORO, V. D., “**Ilustrando a Segunda Lei de Newton no século XXI**”, Revista brasileira de Ensino de Física, vol. 24, nº.2, p.176-184, 2002.
- SILVA, S. L. L., “**A primeira Lei de Newton: Uma Abordagem Didática**”, Revista brasileira de Ensino de Física, vol. 40, p. 3001, 2018.
- SYMON,Keith.R, “**Mecânica Clássica**”, Rio de Janeiro: Ed Campus, 1982
- WESTFALL, R. **A vida de Isaac Newton**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira S.A, 1995.
- WHITESIDE, D. T. **The Mathematical Papers off Isaac Newton**. Cambridge: Cambridge University y Press, 1974.