



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VII – GOVERNADOR ANTÔNIO MARIZ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E SOCIAIS APLICADAS
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA**

As leis de Newton sob o ponto de vista do momento linear.

LUCAS MOTA DE ARAUJO

PATOS-PB
2022

LUCAS MOTA DE ARAUJO

As leis de Newton sob o ponto de vista do momento linear

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Licenciatura
em Física da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à
obtenção do título de Graduado em
Licenciatura em Física.

Orientador: Thiago Brito Gonçalves Guerra

PATOS-PB
2022

A663l Araujo, Lucas Mota de.

As leis de Newton sob o ponto de vista do momento linear.[manuscrito] / Lucas Mota de Araujo. - 2022.

17 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. Thiago Brito Gonçalves Guerra, Coordenação do Curso de Física - CCEA."

1. Estudo da Física. 2. Leis de Newton. 3. Força. 4. Momento linear. I. Título

21. ed. CDD 530

LUCAS MOTA DE ARAUJO

As leis de Newton sob o ponto de vista do momento linear.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Licenciatura
em Física da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à
obtenção do título de Graduado em
Licenciatura em Física.

Orientador: Thiago Brito Gonçalves
Guerra

Área de atuação: Física

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Thiago Brito Gonçalves Guerra

Prof. Dr. Thiago Brito Gonçalves Guerra (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba

Rejane Maria da Silva Farias

Prof. Ms. Rejane Maria da Silva Farias
Universidade Estadual da Paraíba

Messias de Brito Cruz

Prof. Dr. Messias de Brito Cruz
Universidade Estadual da Paraíba

PATOS-PB
2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu avô que se empenhou ao máximo para me ver formado, mas infelizmente ele não teve oportunidade de ver a minha formatura, mas de onde ele estiver eu tenho certeza que ele está feliz com a minha conquista. A minha mãe e ao meu pai, a minha irmã, minha esposa, a minha filha enfim.

Agradeço ao meu orientador Thiago Brito Gonçalves Guerra, e a minha coorientadora Rejane Maria da Silva Farias, que ajudaram para que esse trabalho se tornasse possível.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 As Leis de Newton no formato original.....	10
2.2 As Leis de Newton expressa em alguns livros didáticos	11
2.3 O Momento Linear e sua conservação	13
2.4 Princípio de Conservação do momento linear	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1 As leis de Newton em termos do momento linear	15
4. CONCLUSÃO.....	17
5. REFERÊNCIAS.....	18

As leis de Newton sob o ponto de vista do momento linear.

Newton's laws from the point of view of linear momentum.

Lucas Mota de Araujo¹

Thiago Brito Gonçalves Guerra²

RESUMO

Na história da ciência, a relação entre força e movimento sempre foi motivo de muitas discussões entre estudiosos e ainda na atualidade este tema é polêmico. Pensando por este construto será proposta uma abordagem que evidencie, como as leis de Newton são expressas na maioria dos livros didáticos do ensino superior e quais se expressam em termos do momento. A maioria dos livros expressam as leis de Newton sem falar do momento linear, e ao tratar do momento com a aplicação da segunda lei não considerando a primeira e a terceira lei. Sendo assim, o presente trabalho se propõe a apresentar a rica física embutida nas Leis de Newton como sua forte correlação com o princípio da conservação do momento linear, um dos princípios fundamentais da mecânica clássica, mostraremos também sua formulação original e avaliaremos como elas são abordadas nos principais livros textos utilizados no ensino superior e se elas fazem alguma conexão entre si e com o momento linear. O presente trabalho tem uma abordagem qualitativa e bibliográfica que busca respaldo para evidenciar os objetivos propostos.

Com os resultados percebe-se que os livros falam sobre o fato da $F = ma$ ser válida apenas quando a massa é constante. Eles abordam esse fato, mas não abordam a segunda lei não considerando que a massa varia de um objeto qualquer. Assim, embora as Leis de Newton possam ser usadas para explicar um número muito grande de movimento no nosso dia a dia e possuam uma rica física embutida na sua formulação, elas possuem algumas limitações.

Palavras-Chaves: Ciência, Leis de Newton; Força; Momento Linear.

ABSTRACT

In the history of science, the relationship between force and movement has always been the subject of many discussions among scholars and this topic is still controversial today. Thinking through this construct, an approach will be proposed that shows how Newton's laws are expressed in most higher education textbooks and which are expressed in terms of the moment. Most books express Newton's laws without mentioning linear momentum, and when dealing with momentum with the application of the second law, they do not consider the first and third laws. Therefore, the present work proposes to present the rich physics embedded in Newton's Laws as its strong correlation with the principle of conservation of linear momentum, one of the fundamental principles of classical mechanics, we will also show its original formulation and evaluate how they are approached. in the main textbooks used in higher education and if they make any connection with each other and with linear momentum. The present work has a qualitative and bibliographic approach that seeks support to highlight the proposed objectives.

With the results it is clear that the books talk about the fact that $F = ma$ is valid only when the mass is constant. They address this fact, but they don't address the second law by not considering that the mass varies for any object. Thus, although Newton's Laws can be used to explain a very large number of motions in our daily lives and have a rich physics built into their formulation, they have some limitations.

Keywords: Science, Newton's Laws; Force; Linear momentum.

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno mais fundamental e óbvio que se observa é o movimento. O estudo do movimento e de conceitos relacionados à força e energia formam um campo de estudo em física chamado de mecânica. Habitualmente ela é dividida em cinemática (cujo objetivo é a descrição dos movimentos) e a dinâmica (lida com forças e as causas do movimento, bem como a relação entre força e movimento). Os princípios básicos da dinâmica foram estabelecidos a partir de uma série de observações e evoluções de conceitos realizados ao longo do tempo principalmente por Aristóteles, Galileu Galilei e Isaac Newton (NUSSENZVEIG, 2013).

Na história da ciência, a relação entre força e movimento sempre foi motivo de muitas discussões entre estudiosos. O grande filósofo grego Aristóteles (384-322 a.C.), foi o primeiro a tentar entender essa relação. Ele acreditava que era necessária uma força para manter um objeto em movimento ao longo de um plano horizontal (o que parece estar de acordo com nossas experiências cotidianas) e que o estado natural de um objeto era o repouso. Além disso, Aristóteles afirmava que largando corpos de massas diferentes de uma mesma altura, os tempos de queda seriam diferentes, quanto maior massa do corpo mais rápido ele atingiria o solo.

As crenças de Aristóteles foram aceitas por mais de 2000 anos. Apenas no século XVI, o físico, matemático, astrônomo e filósofo italiano Galileu Galilei (1564-1642) discordou de algumas ideias defendidas por Aristóteles. Galileu sustentou que é tão natural um objeto estar em movimento a uma velocidade constante, quanto estar em repouso, desde que, nenhuma força horizontal seja aplicada ao objeto em movimento. Se essa condição for satisfeita o objeto continuará se movendo com velocidade constante em linha reta. Essa observação feita por Galileu foi o primeiro conceito de inércia.

Em 1687, o cientista, astrônomo, filósofo, físico e matemático inglês Isaac Newton (1643-1727) aprimorou e estendeu as ideias de Galileu. Sobre os fundamentos estabelecido por Galileu, Isaac Newton construiu sua grande teoria do movimento, a qual governa a dinâmica. A análise da teoria do movimento de Newton é resumida em três famosas leis conhecidas como "três leis do movimento" ou "Leis de Newton" (TIPLER, 2009).

As Leis de Newton são a base da Mecânica Clássica também chamada de Mecânica Newtoniana. Elas foram publicadas por Isaac Newton em 1687, juntamente com a lei da gravitação no seu famoso livro *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (NEWTON, 1687). As referidas leis não podem ser derivadas matematicamente, elas são resultados de uma série de observações e experiências de diversos fenômenos associados ao movimento dos corpos e nos permitem uma descrição e previsão extremamente precisa do movimento de corpos para uma gama de situações (YONG e FREEDMAN, 2016).

Embora as Leis de Newton possam ser usadas para explicar um número muito grande de movimento no nosso dia a dia e possuam uma rica física embutida na sua formulação, elas possuem algumas limitações, precisando ser modificadas quando aplicados a objetos que se movem com velocidade próximas a da velocidade de luz ou quando aplicado a partículas microscópicas.

Nesse contexto, o presente trabalho se propõe a apresentar a rica física embutida nas Leis de Newton como sua forte correlação com o princípio da conservação do momento linear, um dos princípios fundamentais da mecânica clássica, mostraremos também sua formulação original e avaliaremos como elas são abordadas nos principais livros textos utilizados no ensino superior e se eles fazem alguma conexão entre elas e o momento linear.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 As Leis de Newton no formato original.

As leis do movimento de Newton são três leis básicas da mecânica clássica que descrevem a relação entre o movimento de um objeto e as forças que atuam sobre ele, formuladas pela primeira vez por Sir Isaac Newton em 1686, foram publicadas pela primeira vez em latim em sua famosa obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Princípios matemáticos da filosofia natural, normalmente denominada Principia) (NEWTON, 1686).

Uma tradução para o português do Principia foi realizado por Raquel Balola (BALOLA, 2011). De acordo com BALOLA (2011) as leis de Newton podem ser enunciadas como:

1ª Lei: “Todo o corpo persevera no seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a não ser na medida em que é obrigado a mudar o seu estado pelas forças que lhe são impressa”.

2ª Lei: "A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida e é produzida na direção de linha reta na qual aquela força é aplicada.”

3ª Lei: “A uma ação corresponde sempre uma reação contrária e igual: ou seja, as ações de dois corpos entre si são sempre iguais e vão em direções contrárias.”

2.2 As Leis de Newton expressa em alguns livros didáticos.

Analisamos também os enunciados das Leis de Newton nos principais livros de física que de mecânica clássica do ensino superior. HALLIDAY et al. (2016) definem as leis de Newton da seguinte forma:

1ª Lei: “Se nenhuma força resultante atua sobre um corpo ($\vec{F}_R = 0$), a velocidade não pode mudar, ou seja, o corpo não pode sofrer aceleração”

2ª Lei: “A força resultante que age sobre um corpo é igual ao produto da massa do corpo pela aceleração.”

3ª Lei: “Quando dois corpos interagem, as forças que cada corpo exerce sobre o outro são iguais em módulo e têm sentidos opostos.”

De acordo com NUSSENZVEIG (2013) as leis Newton podem ser expressas como:

1ª Lei: “Todo corpo persiste em seu estado de repouso, ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que seja compelido a modificar esse estado pela ação de forças impressas sobre ele”.

2ª Lei: “A variação do momento é proporcional à força impressa, e tem a direção da força”.

3ª Lei: “A toda ação corresponde uma reação igual e contrária, ou seja, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas em sentidos opostos”.

Para YOUNG et al. (2016) elas são enunciadas como:

1ª Lei: “Quando a força resultante sobre um corpo é igual a zero, ele se move com velocidade constante (que pode ser nula) e aceleração nula.”

2ª Lei: “Quando uma força resultante externa atua sobre um corpo, ele acelera. A aceleração possui a mesma direção e o mesmo sentido da força resultante. O vetor força resultante é igual ao produto da massa do corpo pelo vetor aceleração do corpo.”

3ª Lei: “Quando um corpo A exerce uma força sobre um corpo B (uma “ação”), o corpo B exerce uma força sobre o corpo A (uma “reação”). Essas duas forças têm o mesmo módulo e a mesma direção, mas possuem sentidos opostos. Essas duas forças atuam em corpos diferentes.”

TIPLER et al. (2009) define as referidas leis da seguinte forma:

1ª Lei: “Um corpo em repouso permanece em repouso a não ser que uma força externa atue sobre ele. Um corpo em movimento continua em movimento com rapidez constante e em linha reta a não ser que uma força externa atue sobre ele.”

2ª Lei: “A aceleração de um corpo é diretamente proporcional à força resultante que atua sobre ele, e o inverso da massa do corpo é a constante de proporcionalidade.”

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_R}{m}, \text{ onde } \vec{F}_R = \sum \vec{F}$$

3ª Lei: Quando dois corpos interagem entre si, a força \vec{F}_{BA} exercida pelo corpo B sobre o corpo A tem a mesma magnitude e o sentido oposto ao da força \vec{F}_{AB} exercida pelo corpo A sobre o corpo B. Assim,

$$\vec{F}_{BA} = -\vec{F}_{AB}$$

NETO (2004) declara tais leis como:

1ª Lei: “Uma partícula livre (partícula que não está sujeita a nenhuma interação) ou está em ou em movimento retilíneo com velocidade constante.

2ª Lei: “Quando uma partícula interage, seu estado de movimento é alterado na seguinte maneira,

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

onde \vec{F} é a resultante das forças que atuam na partícula \vec{P} . Onde \vec{P} é o momento linear, cuja a definição não relativista é

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

3ª Lei: “Quando duas partículas interagem, a força numa delas possui o mesmo módulo, mesma direção e sentido contrário a força que atua na outra.”

2.3 O Momento Linear e sua conservação

Na mecânica newtoniana, o momento linear (\vec{p}), a quantidade de movimento ou simplesmente o momento é o produto da massa (m) e da velocidade (\vec{v}) de um objeto.

$$\vec{p} = m\vec{v},$$

O momento linear é uma grandeza vetorial, tendo a mesma direção que a velocidade. O conceito de \vec{p} é um conceito muito importante para a física, pois combina os dois outros conceito que caracterizam o estado dinâmico de um corpo: sua massa e sua velocidade. No sistema Internacional de Unidade, ele é expresso em kg.m/s.

2.4 Princípio de Conservação do momento linear.

Considere um sistema de N partículas com momentos lineares $\vec{p}_1, \vec{p}_2, \vec{p}_3, \dots, \vec{p}_N$. Algumas das forças sobre essas partículas são externas ao sistema e outras são internas. Essas forças podem ser de qualquer tipo, incluindo gravitacional, elétrica ou magnética.

Seja \vec{P} o momento linear total do sistema, que é a soma vetorial de todos os momentos individuais. Desta forma:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots + \vec{p}_N = \sum \vec{p}_i = \vec{P}, \quad 2.3.1$$

Ao derivar esta equação em relação ao tempo, obtemos:

$$\frac{\sum \vec{p}_i}{dt} = \frac{d\vec{P}}{dt} = \sum \vec{F}_i \quad 2.3.2$$

onde $\sum \vec{F}_i$ representa a soma de todas as forças (internas mais externas) exercidas sobre os corpos do sistema. Então podemos escrever:

$$\sum \vec{F}_i = \sum \vec{F}_{ext} + \sum \vec{F}_{inte} \quad 2.3.3$$

onde $\sum \vec{F}_{ext}$ é a soma vetorial de todas as forças externas que atuam sobre as partículas do sistema. Pela terceira lei de Newton, as forças internas formam pares ação-reação e sua soma se cancela, ou seja, $\sum \vec{F}_{inte} = 0$, portanto, a acima reduz-se a:

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \sum \vec{F}_{ext}, \quad 2.3.4$$

Para um sistema isolado, a soma das forças externas é zero, logo:

$$\sum \vec{F}_{ext} = 0 \rightarrow \frac{d\vec{P}}{dt} = 0 \rightarrow \vec{P} = cte \quad 2.3.5$$

Assim, o momento linear total de um sistema isolado de partículas permanece constante. Esta é a lei da conservação do momento linear, que pode ser escrita como:

$$\vec{P}_i = \vec{P}_f \quad 2.3.6$$

onde os subscritos se referem ao momento total do sistema no instante inicial i e final f.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 As leis de Newton em termos do momento linear.

O momento linear de um único corpo é dado por:

$$\vec{p} = m\vec{v}, \quad 3.1$$

derivando em relação ao tempo essa expressão considerando a massa constante obtemos:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} = \vec{F}_R \quad 3.2$$

Se o corpo estiver isolado, ou seja, não interagir com nenhum outro corpo, isso implica em $\vec{F}_R = 0$, logo

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_R = 0 \rightarrow \vec{p} = cte \rightarrow m\vec{v}_i = m\vec{v}_f \rightarrow \vec{v}_i = \vec{v}_f \quad 3.3$$

esse resultado nos diz, que se a força resultante que atua sobre um corpo de massa constante for nula o corpo possui um momento e consequentemente velocidade constante. Assim, alternativamente podemos expressar a **1ª Lei de Newton em termos do momento linear** como:

Uma partícula livre (um corpo isolado, ou ainda, um corpo que não interage com outro corpo) se move com momento constante.

Por outro lado, se a partícula não é livre e sua velocidade variar durante um intervalo Δt , a variação em momento será dada por,

$$\Delta\vec{p} = m\Delta\vec{v}, \quad 3.4$$

Considere duas partículas isoladas, ver Figura 1, que interagem apenas durante a colisão que ocorre durante um intervalo de tempo curto, se nenhuma força

externa atua sobre elas podemos aplicar a princípio de conservação do momento linear, logo:

$$\vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i} = \vec{p}_{1f} + \vec{p}_{2f} = \text{constante} \quad 3.5$$

$$\vec{p}_{1f} - \vec{p}_{1i} = \vec{p}_{2i} - \vec{p}_{2f},$$

$$\vec{p}_{1f} - \vec{p}_{1i} = -(\vec{p}_{2f} - \vec{p}_{2i}),$$

$$\Delta\vec{p}_1 = -\Delta\vec{p}_2. \quad 3.6$$

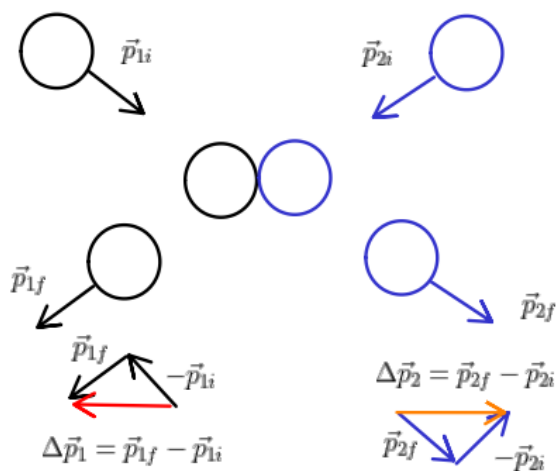


Figura 1: Dois corpos isolados externamente que interagem apenas durante a colisão. Fonte: De autoria própria.

Se dividirmos ambos os lados desta equação por Δt , podemos escrever,

$$\frac{\Delta\vec{p}_1}{\Delta t} = \frac{-\Delta\vec{p}_2}{\Delta t}. \quad 3.7$$

Se fizermos Δt muito pequeno, isto é, se encontrarmos o limite da equação acima obtemos,

$$\frac{d\vec{p}_1}{dt} = \frac{-d\vec{p}_2}{dt}. \quad 3.8$$

Por considerações anteriores, chamaremos a variação temporal do momento linear de um corpo o nome de força resultante, ou seja,

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_R \quad 3.9$$

A variação no momento do corpo é devido à sua interação com outro corpo durante a colisão. Podemos escrever alternativamente a **2ª Lei de Newton em termos do momento linear** como:

A taxa de variação do momento de um corpo é diretamente proporcional à força resultante que atua sobre ele, e a direção da variação do momento ocorre na direção da força resultante.

Essa expressão é uma generalização da 2ª Lei de Newton, válida quando a massa é constante e variável,

$$\vec{F}_R = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d(\vec{v})}{dt} = m\vec{a} \quad 3.10$$

e

$$\vec{F}_R = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d(\vec{v})}{dt} + \vec{v} \frac{dm}{dt}. \quad 3.11$$

Utilizando o conceito de força, podemos escrever a Eq. (3.12) na forma:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

onde,

$\vec{F}_1 = \frac{d\vec{p}_1}{dt}$, é a força na partícula 1 devido à sua interação com a partícula 2,

$\vec{F}_2 = \frac{d\vec{p}_2}{dt}$, é a força na partícula 2, devido à sua interação com a partícula 1.

Portanto, podemos escrever a **3ª Lei de Newton a partir do princípio de conservação do momento linear** como:

Quando duas partículas interagem, a força $\left(\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}\right)$ sobre uma partícula é igual em módulo, e de sentido contrário, à força sobre a outra.

4. CONCLUSÃO

A formulação original de Newton para a segunda lei fala sobre “uma mudança de movimento” que “é proporcional à força motora” quando falamos na mudança de movimento atualmente entendemos que isso pode ser devido à uma variação do momento ou da velocidade, mas, isso não está claro no trabalho de Newton.

A maioria dos livros investigados expressam as leis de Newton sem falar do momento linear e os que tratam associam apenas a segunda lei, não fazendo nenhuma associação entre o momento linear, a primeira e a terceira lei.

A maioria dos livros que expressam a segunda lei como $F = ma$, não especificam que ela é válida apenas quando a massa é constante. Eles também não mostram uma expressão para a segunda lei quando a massa de um objeto varia.

O princípio de conservação aplicado a única partícula isolada resulta na primeira lei. A aplicação de tal princípio a duas partículas isoladas, resultam na segunda e terceira lei.

A vantagem de expressar as leis de Newton em termos do princípio de conservação do momento é que elas surgem naturalmente e além disso a segunda lei em termos do momento é válida tanto para o caso em que a massa é constante quando ela é variável.

5. REFERENCIAS

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica: Mecânica (vol. 1)**. Editora Blucher, 2013.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros**, 6ª edição. 2009.

NEWTON, Isaac. **Philosophiae naturalis principia mathematica** (1687).

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física I: Mecânica**. São Paulo: Person Education do Brasil, 2016.

BALOLA, Raquel. **Princípios matemáticos da filosofia natural: a lei da inércia**. 2011. Tese de Doutorado

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. Vol. I. Grupo Gen-LTC, 2016.

NETO, João B. **Mecânica Newtoniana, Lagrangiana & Hamiltoniana**. São Paulo: Livraria da Física, 2004.