

## O Movimento segundo um Referencial Não-Inercial

Rhodriggo Mendes Virginio

Produto Educacional apresentado em Dissertação de Mestrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) no curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Melquisedec Lourenço da Silva, DSc

Natal, RN  
Setembro de 2017



*O Movimento Segundo um  
Referencial Não-Inercial*

*Rhodriggo M. Virginio  
Melquisedec L. da Silva*

O material apresentado neste documento pode ser reproduzido livremente desde que citada a sua fonte. As imagens apresentadas são de propriedade dos respectivos autores ou produção própria e utilizadas para fins didáticos. Caso sinta que houve violação de seus direitos autorais, por favor, contate os autores para solução imediata do problema. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial a nenhum dos autores, e visa apenas a divulgação do conhecimento científico.

## APRESENTAÇÃO

Este material consiste de um livro digital (*e-Book*) no formato EPUB, intitulado “*O Movimentos segundo um Referencial Não-Inercial*”. A leitura e uso deste material pode ser melhor aproveitada a partir de qualquer aplicativo de leitura de *e-Books* (*testamos e indicamos o eBook Reader*) disponíveis para aparelhos smartphones, tablets e computadores, nos mais diversos sistemas operacionais. O *e-Book* está disponível gratuitamente no endereço eletrônico do professor (SILVA, 2017). Trata-se de um material que visa promover a construção do conhecimento a fim de facilitar o entendimento do conceito de referenciais não-inerciais e de forças inerciais. Ele se constitui num Produto Educacional gerado a partir de nossa Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, dentro do programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Rio Grande do Norte - IFRN, intitulada: “Referenciais não inerciais e forças fictícias: A proposição de um eBook com abordagem para o Ensino Médio”, sob a orientação do Prof. Melquisedec Lourenço da Silva, DSc.

Nosso objetivo é possibilitar, ao usuário deste material, uma compreensão sobre a construção desse livro expondo o seu conteúdo e sequência de partes nas quais ele está dividido.

Esperamos que esse produto possa contribuir para sua prática pedagógica nas aulas de Física, além de propor sugestões para trabalhos futuros que visem contemplar os pressupostos teóricos dos conteúdos abordados e, possivelmente, de outros conteúdos.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Botão “link” e QR code para o vídeo 01.....	5
Figura 2: Botão “link” e QR code para o vídeo 02.....	5
Figura 3: Botão “link” e QR code para o vídeo 03.....	6
Figura 4: Botão “link” e QR code para o vídeo 04.....	6
Figura 5: Pêndulo deslocando-se para a esquerda. ....	7
Figura 6: Botão “link” e QR code para o vídeo 05.....	8
Figura 7: Botão “link” e QR code para o vídeo 06.....	8
Figura 8: Pêndulo deslocando-se para a esquerda. ....	9
Figura 9: Botão “link” e QR code para o vídeo 07.....	10
Figura 10: Colisão de um ônibus para um referencial fora dele.....	11
Figura 11: Colisão de um ônibus para um referencial no interior dele. ....	12
Figura 12: Botão “link” e QR code para o vídeo 08.....	12
Figura 13: Balança "indicando" a massa de um bloco. ....	13
Figura 14: Botão “link” e QR code para o vídeo 09.....	14
Figura 15: Botão “link” e QR code para o vídeo 10.....	14
Figura 16: Botão “link” e QR code para o vídeo 11.....	14
Figura 17: Botão “link” e QR code para o vídeo 12.....	16
Figura 18: Botão “link” e QR code para o vídeo 13.....	17
Figura 19: Botão “link” e QR code para o vídeo 14.....	17
Figura 20: Pêndulo deslocando-se para a esquerda. ....	18
Figura 21: Forças atuantes sobre o pêndulo deslocado do equilíbrio vertical visto pelo observador não-inercial. ....	19
Figura 22: Pêndulo sobre a ação de uma força fictícia para um referencial inercial.....	20
Figura 23: Esfera em queda não vertical. ....	21
Figura 24: Deslocamento horizontal e vertical da esfera em queda livre.....	21
Figura 25: Força fictícia atuando sobre a esfera em queda livre para um observador não inercial. ....	22
Figura 26: Forças atuantes em um bloco sobre uma balança no interior de um sistema acelerado verticalmente. ....	23
Figura 27: Mola relaxada no interior de uma máquina de lavar.....	24
Figura 28: Mola distendida no interior de uma máquina de lavar.....	24

## Sumário

<b>Apresentação .....</b>	<b>1</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>3</b>
<b>Os Referenciais.....</b>	<b>4</b>
<b>As Leis do Movimento .....</b>	<b>6</b>
<b>As Leis do Movimento .....</b>	<b>9</b>
<b>Peso aparente .....</b>	<b>13</b>
<b>Os Movimentos Circulares .....</b>	<b>15</b>
<b>Os Movimentos Circulares .....</b>	<b>18</b>
<b>1. Força Fictícia sobre um pêndulo: .....</b>	<b>18</b>
<b>2. Força Fictícia sobre um corpo em queda livre: .....</b>	<b>20</b>
<b>3. Peso aparente: .....</b>	<b>23</b>
<b>4. Força centrífuga: .....</b>	<b>24</b>
<b>Exercícios .....</b>	<b>25</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>37</b>

***O Movimento Segundo um Referencial Não-Inercial***

Rhodriggo Mendes Virginio  
Melquisedec Lourenço da Silva

2017

Virginio, Rhodriggo Mendes.  
V817m O movimento segundo um referencial não-inercial [recurso eletrônico] /  
Rhodriggo Mendes Virginio, Melquisedec Lourenço da Silva. – Natal:  
Melquisedec Lourenço da Silva. 2017.  
104 MB; ePub.

Requisitos do sistema: Ebook Reader

Modo de acesso:

<http://docente.ifrn.edu.br/rhodriggovirginio/producoes/o-movimento-segundo-um-referencial-nao-inercial>

ISBN 978-85-9236-000-9

1. Ensino de Física. 2. Leis dos Movimentos. I. Silva, Melquisedec Lourenço da. II. Título.

CDU 53:37

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária  
Maria das Dores da Rocha Medeiros CRB-15/0544



## Apresentação

---

Este livro é dirigido a estudantes de Ciências, especialmente de Física, do Ensino Médio e também a professores docentes desse mesmo nível de ensino. No caso de estudantes, consideramos aptos à utilização aqueles que possuem conhecimentos prévios concretos e corretos sobre as aplicações das Leis de Newton em movimentos retilíneos e curvilíneos (esta avaliação deve ser feita pelo professor). Para professores, o texto pode ser um guia de uma sequência didática para se trabalhar o tema utilizando os vídeos aqui publicados.

A ideia de construção desse material surgiu mediante a constatação, ao longo da nossa atividade de docência, de que uma grande quantidade de alunos descreve fenômenos de movimento utilizando as Leis de Newton independentemente do referencial adotado. Portanto, é objetivo dessa obra esclarecer os limites das Leis de Newton e descrever os fenômenos observados a partir de referenciais acelerados utilizando uma metodologia pautada na construção do conhecimento. Optamos por publicar essa obra em uma versão digital no formato de *ePub* visto a necessidade de exibir vídeos que, intercalados com o texto, irão apoiar e promover o aprendizado.

Essa obra está organizada de forma que a abordagem permita desde um apanhado histórico sobre o conceito de movimento até a análise dos movimentos a partir de um referencial não-inercial. No primeiro capítulo temos uma introdução onde discutimos brevemente as concepções sobre movimento dos principais personagens da evolução histórica desse conceito. No segundo capítulo, utilizamos um experimento para embasar a discussão sobre a definição de referenciais. O terceiro capítulo trata das Leis de Newton com o objetivo de reforçar as ideias necessárias ao estudo do capítulo seguinte. Assim, no quarto capítulo, desenvolvemos a descrição dos fenômenos que ocorrem em sistemas acelerados em trajetórias retilíneas e estendemos essa discussão analisando o peso aparente no quinto capítulo. O sexto capítulo se dedica à análise dos movimentos circulares, porém no referencial em que ocorre o movimento. O sétimo capítulo é uma análise matemática dos casos que foram apresentados anteriormente disponibilizando as deduções das equações úteis a cada caso. Por fim, o oitavo capítulo apresenta uma seleção de questões de vestibulares nacionais sobre o tema aqui trabalhado.

Esperamos que a experiência do uso desse produto educacional seja geradora de motivação, de estímulo e inspiração para o estudo de Física e para a produção de outros materiais que possam contribuir para um ensino de ciências cada vez mais efetivo.

*Rhodriggo M. Virginio*

Instituto Federal do Rio Grande do Norte - IFRN

[rhodriggo.virginio@ifrn.edu.br](mailto:rhodriggo.virginio@ifrn.edu.br)

*Melquisedec L. da Silva*

Instituto Federal do Rio Grande do Norte - IFRN

[melquisedec.silva@ifrn.edu.br](mailto:melquisedec.silva@ifrn.edu.br)

## Introdução

---

Dentre os objetivos da Física, há o de nos permitir a compreensão e descrição dos fenômenos que ocorrem ou que constituem o ambiente em que vivemos. Dessa forma, torna-se muito importante que esses fenômenos sejam corretamente descritos a partir de qualquer *ponto de vista*. Ou seja, todos os observadores devem apresentar argumentos convincentes sobre a explicação de fenômenos da natureza como, por exemplo, as descargas elétricas atmosféricas, a formação de um arco-íris, os ventos, dentre outros.

O movimento é um fenômeno cujo conceito evoluiu, no decorrer dos séculos, a partir de um modelo no qual era definido como uma tendência de chegar ao estado natural, que é o repouso. Nas ideias de Aristóteles (*figura 01*), filósofo grego que viveu entre 384 e 322 a.C., o movimento era considerado uma "mudança". Para esse pensador, o movimento tinha sempre um motivador externo, ou seja, não há a possibilidade de um corpo se manter em movimento se um agente externo (uma força) não o fizer permanecer assim. A tendência natural do corpo é o repouso!



Figura 01: Aristóteles (384-322 a.C.)



Figura 02: Galileu Galilei (1564-1642)

Na sequência, foram vários os pensadores que sugeriram e defenderam ideias a respeito do movimento por entre os séculos, dentre elas destacamos as de Galileu Galilei (*Figura 02*) e as de Isaac Newton (*Figura 03*). Para Galileu, o movimento é um estado em que o corpo se mantém caso qualquer possibilidade de anulá-lo seja eliminada, isso significa que um corpo dotado de movimento sobre uma superfície em que possamos desprezar os efeitos de qualquer atrito, seja com o solo ou com o ar, deve permanecer em movimento sobre ela. O equívoco estaria em considerar que esse corpo acompanharia a curvatura da superfície da Terra e, dessa forma, o estado de movimento seria o de movimento circular uniforme. A correção deste equívoco surge nas ideias de Isaac Newton quando o mesmo sugere que, através da lei da Inércia, um corpo tende a permanecer em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme a menos que seja obrigado a mudar a condição em que se encontra.

O estudo introduzido por Isaac Newton é feito com base em um ponto de vista exclusivamente conhecido como **referencial inercial** (considera-se referencial inercial aquele que se apresenta em equilíbrio em relação à Terra, ou seja, em repouso ou em Movimento Retilíneo Uniforme). Então, como descrever os fenômenos que são observados em referenciais que não obedecem a esta condição? Seriam esses, fenômenos sem explicação?



Figura 03: Isaac Newton (1642-1727)

Vamos, em nossa sequência, discutir essas "limitações" das Leis do Movimento de Newton analisando como alguns fenômenos são vistos nesses referenciais e dar a eles os respectivos e apropriados argumentos para a sua compreensão!

## Os Referenciais

---

O referencial é um ponto (posição) em relação ao qual se descreve um determinado fenômeno. É a partir de um referencial que definimos se um corpo encontra-se em movimento ou em repouso e, para isso, basta medir a variação de posição dele em relação a este referencial no decorrer de um intervalo de tempo. Por exemplo, vamos supor que um ônibus se desloca por uma estrada. Para uma pessoa parada esperando no ponto de ônibus, o motorista do veículo muda de posição no decorrer do tempo e, por isso, essa pessoa descreve que o condutor do ônibus encontra-se em movimento. Porém, para os passageiros do ônibus (sentados em suas cadeiras) o motorista encontra-se em repouso. Dessa forma, é fácil perceber que um mesmo fenômeno pode ser descrito por diversos referenciais e as conclusões descritivas sobre as características dele podem não coincidir entre elas. Podemos citar como exemplo a trajetória do corpo, que é o caminho percorrido por ele ao longo do seu movimento, pois ela pode apresentar formas distintas para esses referenciais e isso a define como uma grandeza **relativa**. Para uma melhor compreensão dessa discussão, vamos analisar um experimento que exhibe a queda de um corpo vista em dois referenciais distintos. Tal experimento foi realizado utilizando-se uma plataforma sobre a qual se posicionou um suporte que, em um

momento programado, abandona uma esfera de certa altura. O vídeo a seguir (**vídeo 01**) ilustra o aparato utilizado para realizar o experimento:

Figura 1<sup>1</sup>: Botão “link” e QR code para o vídeo 01.



*Fonte: Produzido pelo autor.*

Esse evento teve registro feito por uma câmera parada em relação ao solo (que simula um referencial fixo no solo), e, em outra ocasião, a bordo da estrutura em movimento com relação ao solo (que simula um referencial em movimento em relação ao solo), estando, dessa forma, em repouso em relação ao suporte. Uma vez compreendido o experimento (queda livre de uma esfera), vamos analisar o registro feito com a câmera a bordo da plataforma móvel que se movimenta com velocidade constante em relação à superfície da Terra (**vídeo 02**). Ou seja, a câmera se encontra em repouso em relação ao suporte do qual a esfera é abandonada.

Figura 2: Botão “link” e QR code para o vídeo 02.



*Fonte: Produzido pelo autor.*

Analisaremos agora a queda da esfera em um referencial onde a câmera se encontra fixa no solo (**vídeo 03**), ou seja, um referencial que encontra-se em repouso em relação ao solo:

---

<sup>1</sup> Inserimos nas figuras dos *links* dos vídeos o *QR code* que dá acesso a cada vídeo.

Figura 3: Botão “link” e QR code para o vídeo 03.



*Fonte: Produzido pelo autor.*

O vídeo a seguir (**vídeo 04**) faz um comparativo das trajetórias realizadas nos dois experimentos exibindo simultaneamente as imagens vistas dos dois referenciais a partir dos quais visualizamos a queda da esfera anteriormente.

Figura 4: Botão “link” e QR code para o vídeo 04.



*Fonte: Produzido pelo autor.*

Os vídeos 02 e 03 registraram o mesmo fenômeno a partir de referenciais diferentes. Nos dois casos a plataforma se movimentava com velocidade constante. E então, caro estudante, a trajetória é uma grandeza realmente relativa? Ela pode ser diferente para observadores distintos?

Com base no que pode ser analisado nos vídeos, a conclusão é de que dois referenciais distintos podem descrever um mesmo fenômeno de formas diferentes. Nos casos apresentados nos vídeos a diferença está na forma da trajetória do corpo em queda, para cada referencial a trajetória teve formato diferente e isso implica definir que a descrição da forma da trajetória de um corpo depende do referencial adotado, ou seja, a trajetória é uma grandeza relativa.

## As Leis do Movimento

---

No ano de 1687 nasce a principal obra de Isaac Newton (1642 - 1727), o *Princípios* (Princípios da Filosofia Natural - *Philosophiae Naturalis Principia*

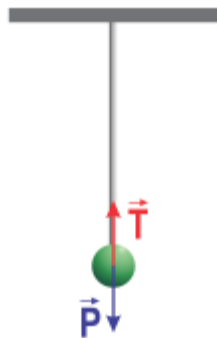
*Mathematica*) onde ele enunciou a Lei da Inércia e concedeu ao movimento o status de estado natural de um corpo. Ou seja, na visão de Newton, para que se mantenha o movimento não há a necessidade de uma agente motor. Ele, então, enunciou:

**"Todo corpo persevera em seu estado de repouso, ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja compelido a modificar esse estado por forças imprimidas sobre ele."**

Em síntese, todo corpo apresenta uma tendência natural de manter-se em seu estado de *repouso* ou de *movimento retilíneo uniforme* (estado de equilíbrio) a menos que uma ação externa o obrigue a sair dessa condição. Sabemos que as Leis de Newton são válidas para qualquer sistema de referência considerado inercial. Porém, em muitos casos, esse detalhe nem sempre é levado em consideração e acaba-se utilizando a Lei da Inércia para descrever um fenômeno em um referencial onde essa lei é inválida.

Por exemplo, vamos considerar uma pequena esfera presa verticalmente ao teto por um fio (pêndulo) e em repouso. Temos, aplicando a lei da inércia, que tal pêndulo deve permanecer nesse estado caso a força resultante sobre ele (que nesse caso é o somatório vetorial da força gravitacional e com a força exercida pelo fio que o prende ao teto) permaneça nula. Ou seja, o pêndulo parado deve permanecer assim. Não há motivos para que esse pêndulo saia do seu estado.

Figura 5: Pêndulo deslocando-se para a esquerda.



Fonte: Produzido pelo autor.

Porém, veja com bastante atenção o vídeo a seguir (**vídeo 05**) analisando-o com base no dito anteriormente:

Figura 6: Botão “link” e QR code para o vídeo 05.



*Fonte: Produzido pelo autor.*

E então, seria, o caso do pêndulo, um fenômeno que viola a lei da Inércia? Seria esse caso uma exceção exclusiva ou simplesmente uma falha das leis do movimento?

Bom, vamos trazer a tona novamente o simples experimento da queda livre e utilizar as leis de Newton para descrevê-lo. Se um corpo é abandonado de uma certa altura ele estará submetido a ação da força gravitacional que, segundo as leis de Newton (mais precisamente o *Princípio Fundamental da Dinâmica - 2ª Lei*), vai propiciar-lhe uma variação de velocidade determinada por uma aceleração da direção vertical. Isso significa que o corpo varia sua velocidade apenas na direção vertical visto que a força resultante sobre o corpo atua nessa direção. Horizontalmente, a força resultante sobre esse corpo permanece com valor nulo e isso garante que o corpo não adquira movimento nessa direção. Porém, vamos analisar o vídeo a seguir (**vídeo 06**) cujo título é "*queda livre não vertical*":

Figura 7: Botão “link” e QR code para o vídeo 06.



*Fonte: Produzido pelo autor.*

Pois é! Nesse experimento a esfera adquiriu, além de um movimento vertical motivado pela força gravitacional, um movimento horizontal. E agora, será esse mais um caso em que as Leis de Newton falham?



As respostas para essas e possíveis outras questões serão dadas no decorrer dos próximos capítulos.

## As Leis do Movimento

---

Como vimos no capítulo anterior, os fenômenos apresentados nos vídeos 5 e 6 aparentam violar as Leis de Newton. Vamos analisar primeiramente o caso do vídeo 05 onde um pêndulo que, para o referencial em que foi apresentado, encontra-se em repouso, mas logo desloca-se para a esquerda.

Figura 8<sup>2</sup>: Pêndulo deslocando-se para a esquerda.



*Fonte: Produzido pelo autor.*

Algumas hipóteses para justificar o comportamento desse pêndulo, baseadas nas Leis de Newton, podem e devem surgir. Por exemplo, você poderia sugerir que a plataforma que sustenta o pêndulo estava parada e de repente começou a se movimentar para a direita. O pêndulo, por sua vez, o qual também estava parado, tenderia a permanecer em seu estado inicial e se "deslocaria" para trás na tentativa de manter-se em repouso em relação à Terra. Mas veja só, como podemos garantir que a plataforma estava em repouso em relação à Terra? Não poderia ela estar em movimento com velocidade constante em relação à superfície do planeta? O fato é que, no referencial exclusivo ao qual você foi apresentado no vídeo 05, não há evidências que indiquem se a plataforma está em repouso ou em movimento em relação à Terra e, portanto, sua sugestão não pode ser feita. O que estamos vendo

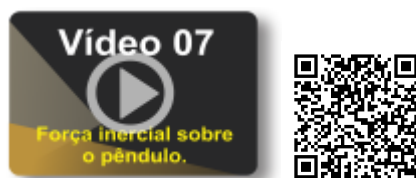
---

<sup>2</sup> Essa imagem, na verdade, é correspondente a uma sequência de imagens (formato gif) do pêndulo se movendo para a esquerda.

é um pêndulo em repouso que inicia um movimento sem a ação aparente de uma força e isso viola o princípio da Inércia.

Veja a seguir, no **vídeo 07**, como é o diagrama de forças atuantes sobre o pêndulo quando ele está se deslocando para a esquerda:

Figura 9: Botão “link” e QR code para o vídeo 07.



Fonte: Produzido pelo autor.

Vimos no vídeo 07 que uma força (*força inercial*) foi inserida sobre o pêndulo para justificar o deslocamento e o posterior equilíbrio dele. Essa força não é resultado de uma interação entre corpos como no caso de duas massas se atraindo ou a força de contato entre duas bolas de bilhar (bolas de sinuca). Ou seja, não há, na vizinhança do pêndulo, um corpo responsável pela origem dessa força inercial. Além disso, não há uma reação para tal força (o que viola a Lei da Ação e Reação). Por essa razão, esta força é também chamada de **força fictícia**.

Diante disso você deve estar se perguntando "o que é, então, essa força fictícia?". Bom, trata-se de um "artifício físico" que permite a conclusão de que o referencial adotado está acelerado. Ou seja, se há a necessidade de inserir uma força fictícia no sistema é porque o referencial é não inercial e ali as leis de Newton não são aplicáveis. Esquematizar a força fictícia permite, ainda, identificar a direção e o sentido em que o sistema foi acelerado, pois tal aceleração tem sentido oposto ao causado pela força fictícia. No caso do pêndulo no vídeo 07, como há uma força fictícia atuando para a esquerda a conclusão é que o observador juntamente com a plataforma acelerara para a direita. Porém, mesmo com o artifício da força fictícia, não é possível identificar se a plataforma se encontrava inicialmente em repouso ou movendo-se com velocidade constante em relação à Terra.

Considerando que o fenômeno apresentado nos vídeos 05 e 07 foram observados por um referencial acelerado em relação à Terra, podemos afirmar que este mesmo fenômeno visto por um observador fixo na Terra seria explicado pela Lei da Inércia de Newton. Então, ressaltamos que a força fictícia, utilizada na explicação, pode ser considerada apenas em referenciais não-inerciais.

Para tornar essa ideia mais clara, vamos utilizar o exemplo do uso do cinto de segurança nos automóveis. Por que motivo recomenda-se o uso do cinto de segurança? Geralmente a resposta está relacionada com o fato de que em caso de acidente um automóvel desacelera bruscamente e as pessoas no interior dele tendem, por inércia, a permanecer em movimento e isso as faria colidir contra o painel do carro ou até mesmo ser arremessadas para fora do automóvel. A figura a seguir ilustra a colisão de um ônibus vista de um referencial fixo na Terra (referencial inercial). Observe como os passageiros tendem a permanecer em movimento de acordo com o que prevê a Lei de Newton:

Figura 10<sup>3</sup>: Colisão de um ônibus para um referencial fora dele.



*Fonte: Produzido pelo autor.<sup>4</sup>*

Porém, essa é a descrição para um observador fora do ônibus. Imagine agora que o referencial é uma câmera fixa no referencial no interior do ônibus. A figura a seguir mostra a colisão do ponto de vista desse observador:

---

<sup>3</sup>As figuras 10 e 11 estão em formato gif (correspondem a uma sequência de imagens) e foram feitas pelo próprio autor, porém utilizou-se imagens de um vídeo do site do youtube disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=iAD9D0f1Z9c>. Acesso em Dez. de 2016.

Figura 11: Colisão de um ônibus para um referencial no interior dele.



*Fonte: Produzido pelo autor.*

Note que o observador fixo no interior do ônibus encontra-se em repouso em relação a ele e assim permanece. Neste referencial, durante a colisão, o observador sugere que uma força inercial "empurra" os passageiros para frente.

Conclui-se que, para um observador fixo em um o referencial fora do ônibus, o fato de um passageiro ser lançado para frente pode ser justificado se utilizando a lei da Inércia. Porém, para um observador fixo num referencial no interior do veículo, a justificativa se dá pela ação de uma força fictícia.

Para efetivar ainda mais a compreensão inicial sobre forças fictícias (inerciais), vamos discutir o caso da queda livre, não vertical, que foi exposta no vídeo 06. Como pudemos observar naquele vídeo, a esfera abandonada sob a ação da força peso adquire também um movimento horizontal como se uma força nessa direção também atuasse sobre ela. O vídeo a seguir (**vídeo 08**) nos dará esclarecimentos sobre aquele fenômeno:

Figura 12: Botão "link" e QR code para o vídeo 08.



*Fonte: Produzido pelo autor.*

Através do vídeo 08 pudemos entender o porquê do deslocamento horizontal que o corpo sofre. Nesse referencial há evidência da ação de uma força fictícia e isso nos permite concluir que o sistema foi acelerado. Vimos também a possibilidade de prever direção e sentido da aceleração do sistema. A aceleração ocorre na mesma direção, mas em sentido contrário ao da força fictícia.

## Peso aparente

---

Você já teve aquela sensação de ser comprimido contra o chão quando o elevador começa o movimento de subida ou a sensação de que vai flutuar quando o elevador vai parando no alto? Este fenômeno é produzido pela ação da Força Fictícia e está associado a ideia de peso aparente.

O peso aparente é aquele que o corpo parece ter quando medido no momento que o mesmo está acelerado na direção vertical. Durante este momento o peso medido do corpo pode ser maior ou menor que o produto da sua massa pela aceleração da gravidade ( $P = m \cdot g$ ).

Para encontrar esse peso aparente vamos fazer o estudo da "ação" de uma força fictícia a partir da análise de um corpo posicionado sobre uma balança no interior de um elevador. Como você já deve saber, uma balança, mede a intensidade da força que um corpo realiza sobre a sua superfície.

É importante ressaltar que, apesar de as balanças medirem a ação da força do corpo sobre elas, as utilizamos para estimar a massa do corpo. Assim, a maioria das balanças indica um valor de massa em seus mostradores. Para isso, na fabricação da balança, desenvolve-se uma graduação que indica a massa do corpo que exerceria determinada força sobre aquela balança. Ou seja, se uma balança indica 500g, por exemplo, é porque o corpo que está sendo "pesado" exerce sobre ela uma força igual a que um corpo com essa massa exerceria.

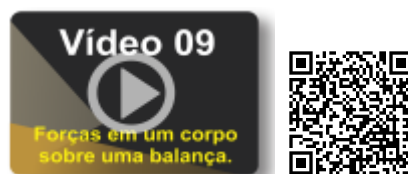
Figura 13: Balança "indicando" a massa de um bloco.



**FONTE:** Produzido pelo autor.

Vamos analisar, no vídeo a seguir (**vídeo 09**), as forças que atuam em um corpo sobre uma balança e como a balança mede a intensidade dessa força.

Figura 14: Botão “link” e QR code para o vídeo 09.

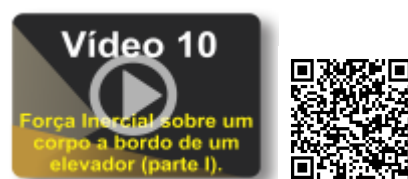


*Fonte: Produzido pelo autor.*

Como pudemos ver no vídeo 09, caso a intensidade da força que um corpo exerce sobre a superfície da balança varie, ela indicará uma massa diferente daquela que corresponde à massa real do corpo. Ou seja, a balança vai indicar uma massa maior ou menor do que a que o corpo realmente apresenta.

Veja, no vídeo a seguir (**vídeo 10**), um caso em que a indicação da balança aumenta:

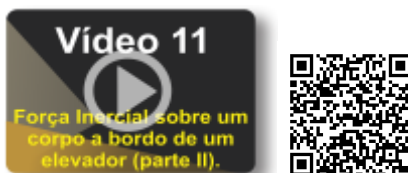
Figura 15: Botão “link” e QR code para o vídeo 10.



*Fonte: Produzido pelo autor.*

O vídeo a seguir (**vídeo 11**) ilustra um caso em que a balança dá uma indicação de um valor menor que o da massa que o corpo apresenta:

Figura 16: Botão “link” e QR code para o vídeo 11.



*Fonte: Produzido pelo autor.*

Temos que, no referencial no qual os vídeos são apresentados, o bloco de madeira encontra-se em repouso sobre a balança. Em algum instante, a indicação da

balança revela um aumento (*vídeo 10*) e isso permite a conclusão de que o corpo a empurra com maior intensidade. A explicação que um observador nesse referencial pode dar para o fenômeno é que houve a ação de uma força inercial (fictícia) sobre o corpo, dirigida para baixo. O surgimento dessa força fictícia evidencia que esse referencial está acelerado durante o intervalo de tempo em que houve essa maior indicação da balança. Se uma força inercial surge em um sistema conclui-se que o sistema está acelerado em sentido contrário ao dessa força fictícia. Ou seja, o referencial em que a balança se encontra está acelerando para cima.

Revelamos aqui, caso você não tenha percebido, que esse experimento foi realizado no interior de um elevador. Assim, um referencial fora dele e fixo na Terra (referencial inercial) descreveria que o aumento na indicação da balança ocorreu devido a tendência de o corpo permanecer com a velocidade que estava (Lei da Inércia) e dessa forma "pressionou" a superfície dela com maior intensidade.

É importante notar que o fenômeno do aumento da indicação da balança poderia acontecer em duas situações: a primeira quando o elevador está iniciando o movimento de subida e a segunda caso o elevador estivesse encerrando o movimento de descida. Nesses dois casos, para um referencial no interior de um elevador, a aceleração do sistema seria para cima.

Já uma indicação menor de massa (*vídeo 11*) ocorre no caso de o elevador estar encerrando o movimento de subida ou iniciando o movimento de descida. Claro que essa é uma descrição para o observador no referencial inercial fora do elevador. O surgimento da força fictícia permite apenas que se conclua sobre a aceleração que o sistema adquiriu. **Não é possível para o observador não-inercial no referencial da balança determinar a velocidade do sistema!** Assim, não dá para saber se o sistema estava parado e iniciou um movimento ou se o sistema estava em movimento e variou a sua velocidade.

## Os Movimentos Circulares

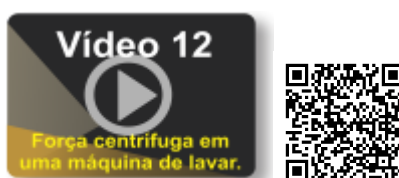
---

Neste capítulo vamos discutir a necessidade de inserir, em um sistema que se movimenta em relação à Terra em uma trajetória circular, uma força fictícia para

justificar os fenômenos descritos por um referencial dentro desse sistema. Para o auxílio da compreensão, vamos utilizar um referencial (câmera) no interior de uma máquina de lavar e descreveremos os fenômenos ocorridos com base nesse referencial.

Dentre as funções da máquina de lavar (deixar de molho, enxaguar e etc.) destacamos a função centrifugar. Nesta função o cesto interno da máquina gira em alta velocidade e, durante esse processo, grande parte da água contida roupa sai através de furos que existem na parede do cesto. A roupa, por sua vez, fica praticamente seca ao fim desse processo. No vídeo a seguir (**vídeo 12**) temos um referencial no interior do cesto de uma máquina de lavar que é programada para operar na função centrifugar e analisaremos o que ocorre com uma peça de roupa durante o funcionamento da máquina.

Figura 17: Botão “link” e QR code para o vídeo 12.



*Fonte: Produzido pelo autor.*

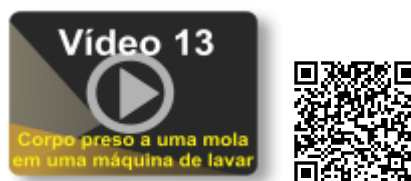
Como pudemos ver no vídeo, para um referencial dentro da máquina de lavar surge uma força fictícia empurrando a roupa contra a parede do cesto interno. Essa força fictícia é chamada de FORÇA CENTRÍFUGA e ela faz parte apenas da descrição neste referencial (referencial não inercial). Para um referencial fixo na Terra (referencial inercial o motivo pelo qual a roupa "cola" na parede do cesto é a velocidade tangencial que ela adquire e tende a manter (lei da Inércia). Ou seja, a roupa tende a movimentar-se naquela direção, porém é abrigada a mudar de por causa do contato com a parede do cesto (que faz o papel de força centrípeta). Ressaltamos, ainda, que a força centrífuga não é uma reação à força centrípeta visto que as duas atuam no mesmo corpo.

Dessa forma podemos compreender que é a ação da força centrífuga (no referencial de dentro do cesto) que faz com que a água seja "lançada" contra a parede do cesto e escoe para fora através dos orifícios distribuídos por toda a parede. Assim, a roupa sai da centrifugação praticamente seca.



No vídeo a seguir (**vídeo 13**), vamos observar como se comporta um corpo dentro da máquina de lavar preso a uma mola:

Figura 18: Botão “link” e QR code para o vídeo 13.



*Fonte: Produzido pelo autor.*

Como se pode observar, o comprimento da mola varia em virtude da aceleração que esse sistema sofre. É notável, também, que em instantes diferentes a mola apresentou deformações distintas e essa observação revela que a força centrífuga varia a sua intensidade. Podemos concluir que essa variação deve-se ao fato de o cesto da máquina de lavar aumentar e, posteriormente, diminuir a sua velocidade de rotação.

Vamos imaginar um determinado corpo que é posto a se movimentar em relação a um referencial girante. Quais seriam os efeitos da aceleração do sistema sobre esse corpo? Por exemplo, quais os efeitos sobre uma bola supostamente lançada na direção do eixo de rotação de um referencial girante?

O vídeo a seguir (**vídeo 14**), que foi produzido pelo Grupo de Serviços Técnicos do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (TSG MIT), demonstra e explica o fenômeno de um corpo em movimento em um sistema girante observado tanto por um referencial inercial quanto por um não inercial.

Figura 19: Botão “link” e QR code para o vídeo 14.



*Fonte: Youtube.*

Então, vimos que nesse experimento uma força fictícia perpendicular ao movimento do corpo surge desviando-o de sua trajetória retilínea. Essa força foi descoberta pelo Gustava-Gaspar Coriolis e por isso recebe o nome de força ou efeito Coriolis.

Enfim, esperamos ter esclarecido não somente os fenômenos vistos por referenciais em sistemas girantes, mas também em sistemas retilineamente acelerados.

## Os Movimentos Circulares

---

Como vimos, as forças fictícias estão presentes apenas para os referenciais não-inerciais. Vamos, nesse capítulo, resgatar os exemplos da ação de força trabalhados nos vídeos e definir uma descrição matemática para eles.

### 1. Força Fictícia sobre um pêndulo:

Vamos considerar o caso em que um pêndulo se encontra em um sistema acelerado para a direita (*sentido  $Ox$* ) e é analisado pelo referencial não-inercial que viaja junto com este pêndulo. Nesse exemplo, é possível determinar a aceleração do sistema com base nas forças que atuam sobre ele. Para isso, podemos utilizar a segunda Lei de Newton, desde que seja considerada a ação da força fictícia.

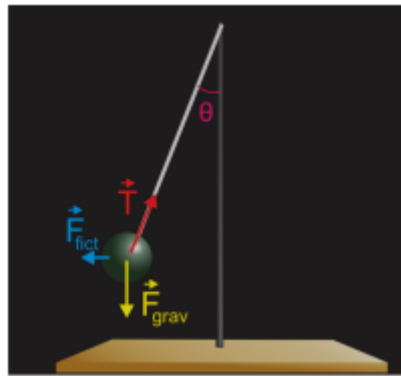
Figura 20: Pêndulo deslocando-se para a esquerda.



Fonte: Produzido pelo autor.

Como já foi discutido anteriormente para esse observador, precisamos considerar atuando sobre a bolinha de massa  $m$  além da força de tração (exercida pela corda), vetor  $\mathbf{T}$ , e da força gravitacional, vetor  $\mathbf{F}_{grav}$ , também a força fictícia, vetor  $\mathbf{F}_{fict}$ , para justificar o equilíbrio do pêndulo na posição mostrada na figura 9. Observe o seguinte diagrama de forças para este caso:

Figura 21: Forças atuantes sobre o pêndulo deslocado do equilíbrio vertical visto pelo observador não-inercial.



Fonte: Produzido pelo autor.

Da figura 9, obtemos que, estando o sistema em equilíbrio ( $a=0$ ) para aquele observador e aplicando a segunda Lei de Newton ( $\mathbf{F}_R = m \cdot \mathbf{a}$ ) em suas componentes x e y, a força gravitacional tem a mesma intensidade da componente vertical (vetor  $\mathbf{T}_y$ ) da força de tração e a força fictícia tem intensidade igual à da componente horizontal (vetor  $\mathbf{T}_x$ ). Assim, podemos escrever para a componente y:

$$\begin{aligned}
 F_{Ry} &= T_y - F_{grav} = 0 \\
 F_{grav} &= T_y \\
 m \cdot g &= T \cdot \cos\theta \\
 T &= \frac{m \cdot g}{\cos\theta}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Para a componente x, temos:

$$\begin{aligned}
 F_{Rx} &= T_x - F_{fict} = 0 \\
 F_{fict} &= T_x \\
 F_{fict} &= T \cdot \sin\theta
 \end{aligned} \tag{2}$$

Substituindo a equação 1 em 2, obtemos que:

$$\begin{aligned}
 F_{fict} &= \frac{m \cdot g}{\cos\theta} \cdot \sin\theta \\
 F_{fict} &= m \cdot g \cdot \operatorname{tg}\theta
 \end{aligned} \tag{3}$$

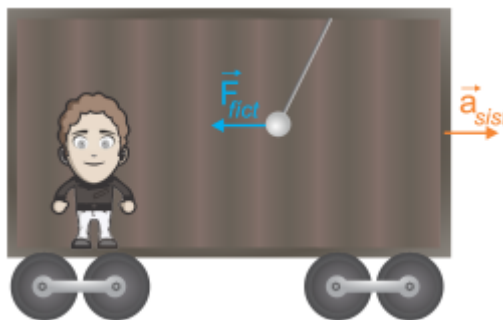
Portanto, este é o módulo da força fictícia que atua sobre a bolinha do pêndulo da figura 9, visto pelo observador não-inercial.

A força fictícia presente apenas no referencial não-inercial pode ser determinada pela aceleração sofrida por ele. Chamaremos de vetor  $\vec{a}_{sist}$  essa aceleração. Dizemos que esta aceleração do sistema de referência é responsável pelo surgimento da força fictícia. Além disso, o sentido da força fictícia será sempre contrário ao sentido da aceleração do sistema de referência não-inercial. De forma que podemos definir:

$$\vec{F}_{fict} = -m \cdot \vec{a}_{sist} \quad (4)$$

Observe a figura abaixo, onde um pêndulo está preso ao teto de um vagão em movimento com aceleração, vetor  $\vec{a}_{sist}$ , ao longo de  $Ox$ . Para o observador no interior do trem (observador não inercial), o pêndulo sofre a ação de uma força fictícia no sentido contrário a vetor  $\vec{a}_{sist}$ .

Figura 22: Pêndulo sobre a ação de uma força fictícia para um referencial inercial.



Fonte: Produzido pelo autor.

É importante esclarecer que essa análise matemática é válida para o caso em que o sistema está acelerando de maneira uniforme.

## 2. Força Fictícia sobre um corpo em queda livre:

Vamos agora analisar matematicamente o caso de um corpo em queda livre cuja queda não é vertical devido a ação de uma força fictícia.

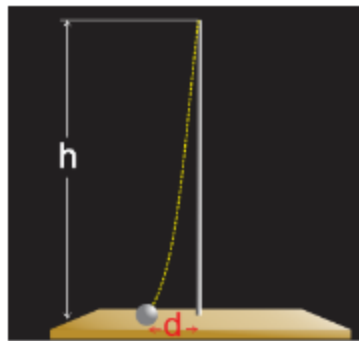
Figura 23: Esfera em queda não vertical.



*Fonte: Produzido pelo autor.*

Para essa análise, vamos também considerar que o sistema no qual o evento ocorre (base + haste vertical + esfera), encontra-se acelerado uniformemente para a direita durante a queda da esfera e, nesse caso, desprezaremos os efeitos da resistência do ar.

Figura 24: Deslocamento horizontal e vertical da esfera em queda livre.



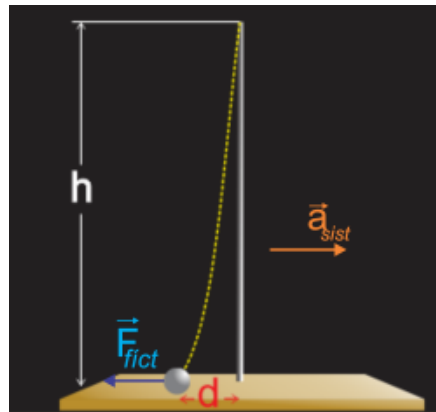
*Fonte: Produzido pelo autor.*

A esfera percorre uma distância horizontal  $d$  ao mesmo tempo que se desloca verticalmente de uma altura  $h$ . Para o observador não-inercial que viaja juntamente com o sistema, a aceleração presente na vertical, corresponde a aceleração da gravidade. Logo, para este observador, temos na vertical:

$$h = \frac{1}{2} g \cdot t^2 \quad (5)$$

Assim, para explicar o deslocamento horizontal sofrido pela bolinha quando observado do ponto de vista do referencial não-inercial, devemos incluir a força fictícia na horizontal, dirigida para a esquerda.

Figura 25: Força fictícia atuando sobre a esfera em queda livre para um observador não inercial.



Fonte: Produzido pelo autor.

Logo, para o observador não-inercial usamos a equação 4 na segunda Lei de Newton ao longo da direção  $Ox$ , como segue:

$$\begin{aligned} F_{R_x} &= m \cdot a_x \\ F_{fict} &= m \cdot a_{sist} \\ -m \cdot a_{sist} &= m \cdot a_x \end{aligned}$$

Assim, a aceleração observada ao longo da direção  $x$  será  $a_x = -a_{sist}$ . Logo, o deslocamento horizontal poderá ser encontrado com a equação cinemática:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + v_{0_x} t + \frac{g \cdot t^2}{2} \\ d &= -\frac{1}{2} a_{sist} \cdot t^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Relacionando-se as equações 5 e 6 e sabendo que a esfera se desloca horizontalmente durante o mesmo intervalo de tempo em que cai, temos:

$$\frac{h}{d} = \frac{\frac{1}{2} g \cdot t^2}{\frac{1}{2} a_{sistema} \cdot t^2}$$

Assim, o módulo da aceleração do sistema será:

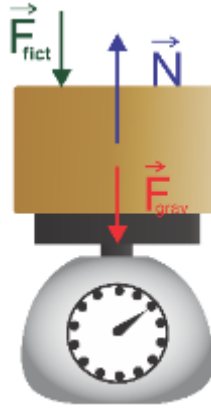
$$a_{sistema} = g \cdot \frac{d}{h} \quad (7)$$

### 3. Peso aparente:

Agora vamos analisar o caso de um corpo sobre uma balança no interior de um sistema acelerado verticalmente. Para esse estudo, vamos representar pelo vetor  $\mathbf{N}$  o peso aparente que também corresponde à força exercida sobre a superfície da balança.

No caso em que a balança indica um peso aparente maior que o peso real (vetor  $\mathbf{F}_{grav}$ ) do corpo, a força fictícia aponta sobre o corpo pressionando a superfície da balança, assim temos que:

Figura 26: Forças atuantes em um bloco sobre uma balança no interior de um sistema acelerado verticalmente.



Fonte: Produzido pelo autor.

$$N = F_{grav} + F_{fict}$$

$$F_{fict} = N - F_{grav}$$

Considerando a força normal como sendo o produto entre a massa indicada pela balança e a gravidade, assim:

$$\begin{aligned} m \cdot a_{sist} &= m_{indicada} \cdot g - m \cdot g \\ a_{sist} &= \left( \frac{m_{indicada} - m}{m} \right) \cdot g \\ a_{sist} &= \left( \frac{m_{indicada}}{m} - 1 \right) \cdot g \end{aligned} \quad (8)$$

Neste caso, o sistema está sendo acelerado verticalmente para cima pois a aceleração do sistema (também do observador não-inercial) é contrária ao sentido da força fictícia.

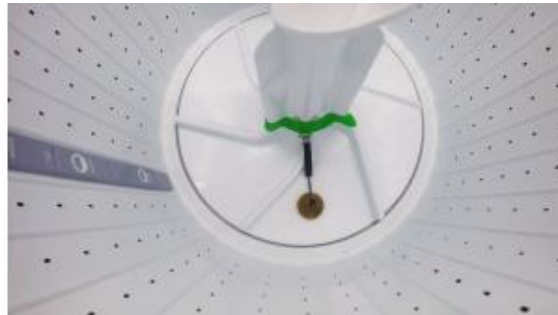
Para o caso em que a balança indica um peso aparente menor que o peso do corpo, a força fictícia sobre o corpo aponta verticalmente contrária ao caso anterior (para cima). Neste caso teremos:

$$\begin{aligned}
 F_{grav} &= N + F_{fict} \\
 F_{fict} &= F_{grav} - N \\
 m \cdot a_{sist} &= m \cdot g - m_{indicada} \cdot g \\
 a_{sistema} &= \left( \frac{m - m_{indicada}}{m} \right) \cdot g \\
 a_{sistema} &= \left( 1 - \frac{m_{indicada}}{m} \right) \cdot g \quad (9)
 \end{aligned}$$

#### 4. Força centrífuga:

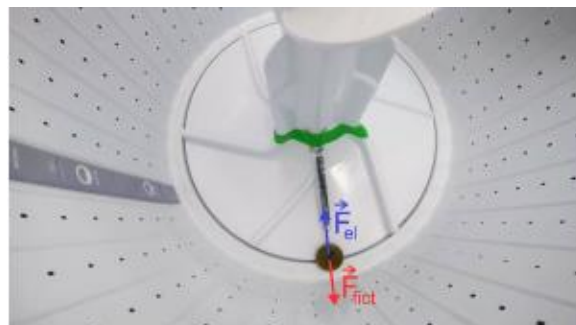
Vamos analisar o caso em que uma força centrífuga está atuando sobre um corpo utilizando como exemplo uma massa presa a uma mola no interior de uma máquina de lavar.

Figura 27: Mola relaxada no interior de uma máquina de lavar.



Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 28: Mola distendida no interior de uma máquina de lavar.



Fonte: Produzido pelo autor.

A partir das figuras, podemos observar que a mola sofreu uma deformação. Tal variação de comprimento ocorre devido a ação da força centrífuga, observada



do ponto de vista do observador não-inercial, girando juntamente com a máquina. Sem a inclusão desta força fictícia, não seria possível explicar o porquê de a mola ter se distendido. Dessa forma, estando a situação exposta na figura 15 em equilíbrio, temos que  $F_{fict} = F_{el}$ . Onde o vetor  $F_{el}$  corresponde à força elástica da mola e o vetor  $F_{fict}$  é a força centrífuga sobre a massa  $m$ . Assim,

$$\begin{aligned} F_{centrifuga} &= F_{el} \\ m \cdot a_{sist} &= K \cdot x \\ a_{sist} &= K \cdot \frac{x}{m} \end{aligned} \quad (10)$$

Nesse caso, a aceleração do sistema seria a aceleração centrípeta uma vez que se trata de um cesto de máquina de lavar em rotação.

Podemos ainda determinar a velocidade de rotação  $\omega$  do cesto. Sabendo que  $a_{centrípeta} = \omega^2 \cdot R$ , onde  $R$  é equivalente ao raio da trajetória, que nesse caso é a medida que vai do centro do disco preso a mola até o centro do cesto da máquina de lavar. Portanto, temos:

$$\begin{aligned} \omega^2 \cdot R &= K \cdot \frac{x}{m} \\ \omega^2 &= K \cdot \frac{x}{m \cdot R} \\ \omega &= \sqrt{K \cdot \frac{x}{m \cdot R}} \end{aligned} \quad (11)$$

## Exercícios

---

**1 - (UNICEMP PR)** Aristóteles de Estagira (364-322), grande filósofo grego, escreveu três livros para tratar de Física. Sua obra foi de grande influência até o século XVII. Para éster grande sábio, todo movimento deve ser fruto de uma força, ou seja, sem força não há movimento. René Descartes (1596-1650), filósofo francês, tinha a seguinte opinião: “toda alteração do estado de movimento de um corpo pressupõe uma causa”. Em outras palavras, para ele, a força provoca alterações nos movimentos dos corpos. Sem força não há alteração no movimento.

**A)** A primeira Lei de Newton afirma que, quando a resultante das forças sobre um objeto for nula, ele poderá estar em Movimento Retilíneo e Uniforme. Esta

concepção é perfeitamente compatível com as ideias de Aristóteles e contrária às de Descartes.

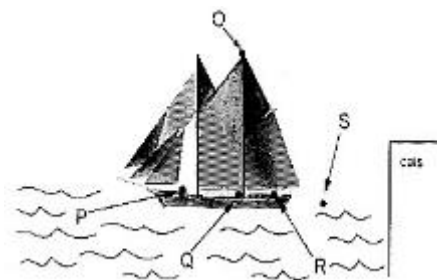
**B)** A primeira Lei de Newton afirma que, quando a resultante das forças sobre um objeto for nula, ele poderá estar em Movimento Retilíneo e Uniforme. Esta concepção é perfeitamente compatível com as ideias de Descartes e contrária às de Aristóteles.

**C)** As ideias dos dois filósofos são complementares, ou seja, uma é consequência da outra.

**D)** A ideia de Aristóteles explica somente o repouso e a de Descartes, somente o movimento.

**E)** A ideia de Descartes explica somente o repouso e a de Aristóteles, somente o movimento.

**2 - (UERJ)** A figura abaixo representa uma escuna atracada ao cais.



Deixa-se cair uma bola de chumbo do alto do mastro-ponto O. Nesse caso, ela cairá ao pé do mastro - ponto Q. Quando a escuna estiver se afastando do cais, com velocidade constante, se a mesma bola for abandonada do mesmo ponto O, ela cairá no seguinte ponto da figura:

- A)** P
- B)** Q
- C)** R
- D)** S

**3 - (UFJF MG)** Uma menina está sentada dentro de um ônibus que se encontra em movimento retilíneo e uniforme. O ônibus começa a fazer uma curva, mantendo o módulo de sua velocidade constante. Ela começa a ter a sensação de estar sendo jogada "para fora" da curva. Com base nas Leis de Newton, uma pessoa parada na calçada explica este fato da seguinte forma:

**A)** de acordo com a Primeira lei de Newton, todo corpo tende a permanecer em repouso ou em movimento retilíneo uniforme a não ser que as forças que atuem sobre ele não se cancelem;

**B)** de acordo com a Segunda Lei de Newton, estando o ônibus acelerado, a força normal não consegue cancelar a força peso, surgindo então a força centrífuga como resultante;

**C)** de acordo com a Terceira Lei de Newton as forças centrípeta e centrífuga formam um par ação-reação. Isso mostra que deve existir uma terceira força na direção horizontal que é a causadora desta sensação;

**D)** este problema não pode ser resolvido pelas Leis de Newton, pois elas não se aplicam no referencial inercial da pessoa na calçada.

**4 - (EFEI)** Você está de pé num ônibus em movimento e subitamente sente que está sendo impelido para trás. Baseando-se na Segunda Lei de Newton, você pode afirmar que:

**A)** O motorista do ônibus pisou firmemente no freio e o ônibus é desacelerado.

**B)** O ônibus deve ter sofrido uma colisão frontal.

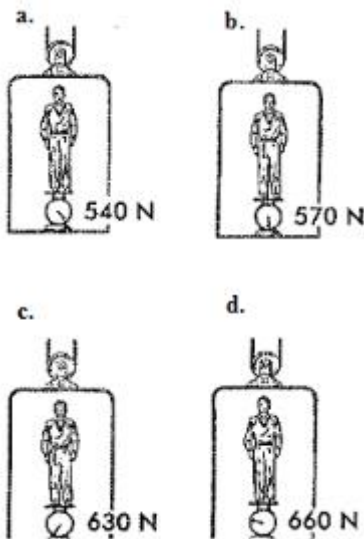
**C)** O motorista pisou fundo no acelerador.

**D)** O ônibus iniciou uma curva fechada à direita ou à esquerda.

**5 - (UFOP MG)** Um homem de pé no interior de um elevador retira do bolso uma esfera e, então, solta-a à altura da cintura. Ele percebe que a esfera permanece em repouso em relação a seu corpo. Das relações abaixo relacionadas, assinale aquela que estiver fisicamente correta.

- A) O elevador está descendo com aceleração igual à aceleração da gravidade.
- B) O elevador está descendo com aceleração ligeiramente maior que a aceleração da gravidade.
- C) O elevador está descendo com aceleração ligeiramente menor que a aceleração da gravidade.
- D) O elevador está subindo com aceleração igual à aceleração da gravidade.
- E) O elevador está descendo com velocidade constante.

6 - (UERJ) Uma balança na portaria de um prédio indica que o peso de Chiquinho é de 600 Newtons. A seguir, outra pesagem é feita na mesma balança, no interior de um elevador, que sobe com aceleração de sentido contrário ao da aceleração da gravidade e módulo  $a = g/10$ , em que  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Nessa nova situação, o ponteiro da balança aponta para o valor que está indicado corretamente na seguinte figura:



7 - (UECE) Uma balança de mola instalada no piso de um elevador tem uma leitura com valor acima do real quando o elevador:

- A) sobe com velocidade constante;
- B) desce com velocidade constante;
- C) desce com velocidade de módulo crescente;

**D)** sobe com velocidade de módulo crescente.

**8 - (UESPI)** Com relação às leis de Newton da mecânica clássica, assinale a alternativa correta.

**A)** As leis de Newton não são válidas para sistemas físicos que envolvam fenômenos termodinâmicos ou elétricos.

**B)** As leis de Newton só são verdadeiras quando verificadas em referenciais cuja aceleração é constante e diferente de zero.

**C)** A primeira lei de Newton afirma que não é necessária a aplicação de uma força para manter um corpo em movimento retilíneo e uniforme.

**D)** A segunda lei de Newton afirma que a força resultante que atua num dado corpo é igual ao produto da massa do corpo multiplicada por sua velocidade.

**E)** A terceira lei de Newton afirma que, na interação entre dois corpos, a força de ação é de mesmo módulo e sentido oposto à força de reação, resultando numa força total nula em cada um destes corpos.

**9 - (UNIRIO RJ)** Num episódio dos Simpsons, Lisa explica a Bart que: “No hemisfério norte a água sempre gira no sentido antihorário! É o chamado Efeito de Coriolis”. O Efeito de Coriolis para fluxos de ar na atmosfera está ilustrado nas figuras I e II, onde o ponto P representa o ponto de onde sai uma corrente de ar que segue para o Equador. Na figura I não está sendo considerado o movimento de rotação da Terra em torno do próprio eixo, enquanto que, na figura II, este movimento é considerado.

Podemos então perceber o Efeito Coriolis, pois o fluxo de ar desvia-se em relação a sua direção original, em função da rotação da Terra.

Apesar deste desvio, a crença de que a água da pia gira em sentidos contrários em hemisférios diferentes, conforme afirmou Lisa, não é verdadeira. De fato, as forças geradas pela turbulência da água que escoar e as relacionadas à forma assimétrica do vaso, bem como, o próprio peso da água, são muito maiores que a força de Coriolis que atua sobre a água.

A expressão para a força de Coriolis é dada por  $F = 2m V W$ , onde  $m$  é a massa de água,  $V$  é a velocidade de deslocamento da água e  $W$  é a velocidade de rotação da Terra em torno do próprio eixo. Considerando a velocidade de deslocamento da água igual a 1,0 cm/s, a ordem de grandeza da razão entre a força de Coriolis e o peso da água, num local onde a aceleração da gravidade é  $10\text{m/s}^2$ , é dada por:

- A)  $10^{-9}$
- B)  $10^{-7}$
- C)  $10^{-5}$
- D)  $10^{-3}$
- E)  $10^{-2}$

**10 - (UFCG PB)** Um livro didático de 1957 ensinava aos alunos e às alunas do Curso Normal o conceito força centrífuga. Leia parte do texto:

*Quando rodo um objeto preso por um cordão, dou o impulso (força tangencial) e o cordão puxa para o centro (força centrípeta). Se soltar o cordão desaparecerá a força centrípeta e o corpo sairá pela tangente e não na direção do raio. Quando o cordão puxa o corpo, este, pela reação, puxa a mão para fora (reação centrífuga ou força centrífuga). É fácil sentir que a força centrípeta e, portanto a sua reação centrífuga aumenta com a massa do corpo, com o tamanho do cordão e com a velocidade da rotação.*

*[...] Se a Terra desse mais de dezessete rotações em 24 horas, a força centrífuga superaria a atração e nós voaríamos pelo espaço.*

CASTRO, Correggio de. Física e Química. 4<sup>a</sup> ed. São Paulo: CEN, 1957, p.42-3.

Considerando o texto, pode-se afirmar que,

- A) o autor erra, pois a força centrífuga não é reação à força centrípeta, pois elas não coexistem em um mesmo referencial.
- B) em hipótese alguma a força centrípeta aplicada ao objeto aumenta com o tamanho (comprimento) do cordão.

**C)** o autor, em nenhum momento, considera que as forças ação e reação atuam em corpos diferentes.

**D)** o autor está correto em atribuir à força centrípeta e à força centrífuga as mesmas variações, pois constituem um par ação-reação.

**E)** o autor, em nenhum momento, considera que as forças centrípeta e centrífuga atuam no mesmo corpo.

**11 - (PUC MG)** A figura representa um vagão, que se move em trilhos retos horizontais, com um pêndulo simples pendurado em seu teto, estando o pêndulo em repouso em relação ao vagão.



- I. O vagão 1 está em movimento uniformemente variado.
- II. O vagão 2 está em movimento uniformemente variado.
- III. O vagão 2 move-se para a direita em movimento retardado.
- IV. O vagão 3 move para a esquerda em movimento acelerado.
- V. O vagão 3 move-se para a direita em movimento retardado.

São CORRETAS as afirmações:

- A) I, II, III e V estão corretas.
- B) II, IV e V apenas.
- C) III, IV e V apenas.
- D) I, II, III e IV.

**12 - (UFOP MG)** Um ônibus caminha com velocidade constante em uma estrada horizontal quando, subitamente, o motorista acelera o veículo, fazendo com que os

passageiros experimentem uma força que os impele para trás. Assinale a alternativa correta:

**A)** A força que os passageiros experimentam é de natureza fictícia ou inercial e proporcional ao peso de cada passageiro.

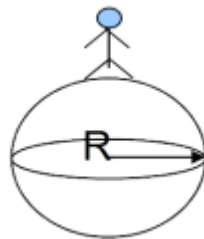
**B)** A força que os passageiros experimentam é de natureza fictícia ou inercial, mas independe do peso de cada passageiro.

**C)** A força que os passageiros experimentam é real, mas depende do campo gravitacional da Terra.

**D)** A força que os passageiros experimentam é real, mas independe do campo gravitacional da Terra.

### 13- (PUC MG)

#### FORÇA ESTRANHA



Com a Terra girando a quase 1700 km/h no equador, seria de se esperar que todos ficassemos enjoados, certo? Errado. Não é a velocidade que nos afeta, é a aceleração, como qualquer piloto de corridas pode confirmar. O giro “vagaroso” da Terra produz uma aceleração 100 vezes menor do que a experimentada num carrossel de um parque de diversões. Ainda assim, a rotação da Terra pode se fazer notar por seus habitantes, por meio do fenômeno chamado Força de Coriolis, que ganhou esse nome em homenagem ao físico e matemático Gaspard-Gustave Coriolis. Coriolis determinou que qualquer coisa que se mova em conjunto com um objeto em rotação vai perceber a realidade como se tivesse sido retirada do seu curso natural por uma força vinda sabe-se-lá de onde. Por exemplo, uma pessoa num carrossel girando que tente jogar uma bola numa cesta fixa do outro lado do carrossel, vai achar que a bola sempre é desviada do alvo por alguma “força estranha”. Essa tal “força estranha” não



existe de fato. Qualquer um que olhe a cena de fora do carrossel vai perceber que o fenômeno é simplesmente o resultado do movimento da cesta, que se moveu em sua rotação enquanto a bola está no ar. Mas, para os que estão no carrossel, a força é bem real. Por isso, ela precisa ser levada em conta quando calculamos os percursos de objetos tão distintos como mísseis e furacões.

*Adaptado do texto Robert Matthews. Revista Conhecer – Nº 33, março de 2012.*

Considerando-se a velocidade de rotação da Terra informada no texto, uma pessoa na superfície não sente o efeito:

- A) porque a velocidade relativa é praticamente zero, devido à inércia.
- B) porque a força centrípeta é igual à força centrífuga.
- C) porque não há força centrípeta.
- D) devido à força da gravidade.

**14 - (UFPB)** Um avião é autorizado a decolar, mas a aeromoça esquece de travar as rodas do carrinho de alimentos que se encontra no corredor, na parte da frente do avião. Admita que as rodas desse carrinho estão bem polidas, de modo que o atrito entre elas e o piso do avião é desprezível.

Três observadores, localizados nos pontos especificados abaixo, fazem considerações acerca do movimento do carrinho enquanto o avião acelera para decolar.

\* O primeiro observador está parado na pista, ao lado do avião.

\* O segundo observador está sentado em uma poltrona, no interior do avião, com o cinto de segurança afivelado.

\* O terceiro observador está na pista, deslocando-se em linha reta e paralelamente ao avião, com velocidade constante em relação ao primeiro observador.

Nesse contexto, identifique as afirmativas corretas:

**I.** O primeiro observador, fundamentado pela Lei da Inércia, deduz que o carrinho não entra em movimento.

**II.** O segundo observador constata que o carrinho adquire um movimento, entretanto ele não pode aplicar as leis de Newton para explicar esse movimento.

**III.** O terceiro observador afirma que esse carrinho está se deslocando com velocidade constante.

**IV.** O primeiro observador pode ser considerado como um sistema de referência inercial, para descrever o movimento do carrinho.

**V.** O segundo e terceiro observadores não podem ser considerados como sistemas de referência inerciais.

**15 - (UEM PR)** Na Física Clássica, costuma-se classificar os referenciais em dois tipos: os inerciais e os não inerciais. Em relação aos referenciais não inerciais, considerando a análise a partir de um referencial inercial, é correto afirmar que

**01.** incluem-se entre eles aqueles que se encontram com aceleração constante.

**02.** um referencial em movimento circular uniforme é um referencial não inercial.

**04.** o princípio da inércia, ou primeira lei de Newton da mecânica, não é válido em referenciais não inerciais devido à presença de forças fictícias.

**08.** a força centrífuga só aparece em referenciais em movimento circular não uniforme.

**16.** um corpo movimentando-se em relação a um referencial em rotação uniforme fica sujeito à força centrífuga e à força de Coriolis.

**16 - (UFPR)** Suponha uma máquina de lavar e centrifugar roupa com cuba interna cilíndrica que gira em torno de um eixo vertical.

Um observador externo à máquina, cujo referencial está fixo ao solo, acompanha o processo pelo visor da tampa e vê a roupa “grudada” em um ponto da cuba interna, que gira com velocidade angular constante. Se estivesse no interior da máquina, situado sobre a peça de roupa sendo centrifugada, o observador veria essa peça em repouso.

De acordo com a mecânica, para aplicar a segunda Lei de Newton ao movimento da roupa no processo de centrifugação, cada observador deve inicialmente identificar o conjunto de forças que atua sobre ela. Com base no texto acima e nos conceitos da Física, considere as seguintes afirmativas:

1. O observador externo à máquina deverá considerar a força peso da roupa, apontada verticalmente para baixo, a força de atrito entre a roupa e a cuba, apontada verticalmente para cima, e a força normal exercida pela cuba sobre a roupa, apontada para o eixo da cuba, denominada de força centrípeta.
2. Um observador que estivesse situado sobre a peça de roupa sendo centrifugada deveria considerar a força peso da roupa, apontada verticalmente para baixo, a força de atrito entre a roupa e a cuba, apontada verticalmente para cima, a força normal exercida pela cuba sobre a roupa, apontada para o eixo da cuba, e também uma outra força exercida pela roupa sobre a cuba, apontada para fora desta, denominada de força centrífuga, necessária para explicar o repouso da roupa.
3. O referencial fixo ao solo, utilizado pelo observador externo à máquina, é chamado de não-inercial, e o referencial utilizado pelo observador postado sobre a roupa sendo centrifugada é denominado de inercial.

Assinale a alternativa correta.

- A) Somente a afirmativa 1 é verdadeira.
- B) Somente a afirmativa 2 é verdadeira.
- C) Somente a afirmativa 3 é verdadeira.
- D) Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.
- E) As afirmativas 1, 2 e 3 são verdadeiras.

**17 - (UNIFOR CE)** João Philipe, ao entrar num ônibus para viajar a Martinópolis, coloca sua mala no bagageiro sobre sua poltrona. Ele nota que o ônibus está bem limpo, tendo percebido ainda que haviam passado silicone no bagageiro. Quando o ônibus parte, sua mala desliza para trás, deixando-o intrigado. Como Philipe poderia explicar o deslizamento de sua mala, sendo ele um referencial não-inercial?

- A)** Pela inércia da mala.
- B)** Pela ação da força peso sobre a mala.
- C)** Pela ação de uma força normal sobre a mala.
- D)** Pela ação de uma força de atrito sobre a mala.
- E)** Pela ação de uma força fictícia sobre a mala.

## Referências Bibliográficas

- BARCELOS NETO, João. Mecânicas newtoniana, lagrangiana e hamiltoniana. 2. Ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.
- CALÇADA, Caio Sérgio; SAMPAIO, José Luiz. Física Clássica – Mecânica. 1ª Ed. São Paulo. Editora: Atual, 2012.
- PSSC, Guia do Professor de Física– Parte I, Parte II, Parte III, Parte IV, EDART, SP, traduzido e adaptado pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências e pelo Centro de Treinamento de Professores de Ciências de São Paulo(CECISP).
- TAYLOR, John R. Mecânica Clássica; Tradução: Waldir Leite Roque - Porto Alegre: Bookman, 2013.
- SILVA, Melquisedec Lourenço da; VIRGINIO, Rhodriggo Mendes. O Movimento segundo um referencial não-inercial. IFRN. 2017. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/rhodriggovirginio/producoes/o-movimento-segundo-um-referencial-nao-inercial>>. Acesso em: 16 outubro. 2017.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-923600-0-9

