

PRODUTO PEDAGÓGICO

AS LEIS DE NEWTON NA CATAPULTA



Produzido por: Prof. M.Sc. Marilene Almeida Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Carlos Manuel Sánchez Tasayco

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	03
CAPÍTULO 1 - Primeira aula	04
CAPÍTULO 2 - Segunda aula	13
CAPÍTULO 3 - Terceira aula	20
CAPÍTULO 4 - Quarta aula	29
CAPÍTULO 5 - Quinta aula	34
CAPÍTULO 6 - Sexta aula	42
REFERÊNCIAS	46

AS LEIS DE NEWTON NA CATAPULTA

1 INTRODUÇÃO

Neste Produto Pedagógico de ensino de Física, estudam-se as Leis de Newton na catapulta (arma medieval) através de uma Sequência Didática (SD), composta de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) para subsidiar o professor da Educação Básica no ensino do conteúdo da primeira, segunda e terceira leis de Newton em 6 aulas de 50 minutos cada.

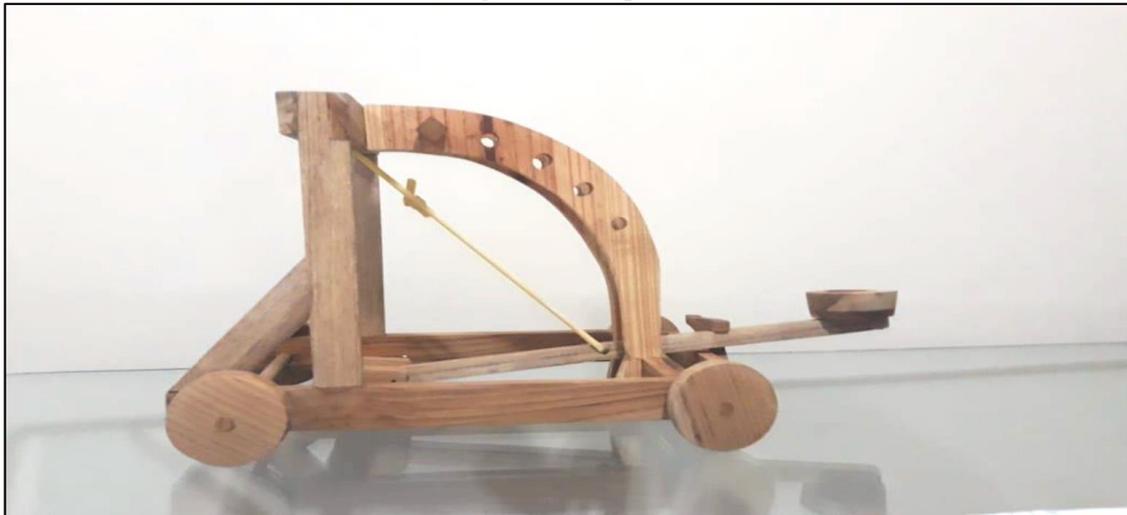
CAPÍTULO 1

PRIMEIRA AULA

1ª ETAPA (UEPS): (Tempo estimado: 15min.).

Apresentação de um protótipo de catapulta confeccionado em madeira e um texto sobre a história e a função da arma medieval para detectar o conhecimento prévio do aluno sobre as Leis de Newton.

Figura 1 - Catapulta



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2019).

Após o professor apresentar o protótipo da catapulta confeccionada em madeira, com o objetivo inicial de os alunos conhecerem de maneira superficial a arma medieval, organiza-se a turma em pequenos grupos para a leitura dinâmica do texto *Catapulta: a história da invenção que mudou a história das guerras* (ONÇA, 2007). Em seguida, o professor realiza questionamentos sobre o histórico e os tipos de catapultas com as seguintes questões: o que é uma catapulta? Quais os tipos mais conhecidos?

Texto lido na etapa:

Catapulta: a história da invenção que mudou a história das guerras

Ela foi uma das revolucionárias armas inventadas pela humanidade. Da catapulta em diante, foram as máquinas – e não o homem – que decidiam as batalhas.



(Alberto Guglielmi/Getty Images)

Em 1304, o rei Eduardo 1º da Inglaterra cercou o castelo de Stirling, na Escócia. Lá resistiam os últimos guerreiros que, anos antes, haviam apoiado a rebelião anti-inglesa promovida pelo escocês William Wallace. Sem conseguir demolir as sólidas muralhas, Eduardo 1º apelou. Ergueu um engenho conhecido como *trebuchet* – uma máquina de atirar pedras, parente gigante da catapulta.

Por dez semanas, um batalhão de 50 operários cortou 20 grandes carvalhos para construir o monstro, ali mesmo, no local do cerco. O colosso intimidou de tal modo os defensores que, antes mesmo de ser concluído, fez com eles tentassem se render. Mas Eduardo queria testar o brinquedão. Com pedras de 150 quilos, o rei inglês devastou as muralhas e tomou o castelo. Só aí aceitou a rendição.

O terror vivido pelos defensores do castelo de Stirling não era algo novo. O sentimento havia sido experimentado há pelo menos 2,4 mil anos, com a invenção das pioneiras armas de sítio ou de cerco – categoria que tem na catapulta sua representante mais célebre, mas inclui ainda *onagros*, *oxibeles*, *trebuchets* e outras engenhocas construídas de acordo com a criatividade de inúmeros povos da Antiguidade e da Idade Média. No terreno militar, o impacto dessa novidade literalmente não deixou pedra sobre pedra.

Até então, os exércitos eram formados apenas pela infantaria (tropas que avançam a pé) e a cavalaria (tropas que avançavam a cavalo e, hoje, em veículos blindados). A partir das catapultas, eles passaram a contar também com uma terceira arma: a artilharia, especializada no lançamento de projéteis a grande distância.

Simplesmente não havia mais cidade – não importava o tamanho do muro – que pudesse resistir a um ataque persistente. E, quanto maior, melhor: engenhos gigantescos como

os *trebuchets* fizeram com que o pânico tomasse conta dos defensores como nenhuma outra arma. Afinal, tomar uma pedrada enorme ou ser atravessado por uma superflecha destruía a moral de qualquer um.



Prazer: trebuchet. ChrisO/CC BY-SA 3.0/Wikimedia Commons

Pai desconhecido

Em termos técnicos, as armas de cerco aproveitavam os princípios de funcionamento de duas armas muito antigas, mas também muito eficientes: o arco e a funda, espécie de corda para atirar pedras. Em diferentes momentos históricos, foi o aprimoramento e a junção das duas invenções que permitiu o surgimento da artilharia. A partir delas dá para estabelecer duas linhas evolutivas para contar essa história.

A primeira, que aconteceu no Ocidente, foi a que originou a catapulta propriamente dita. Com significado em grego indicando algo como “jogar contra”, a catapulta foi uma das poucas armas da Antiguidade com local e data de nascimento registrados: a cidade-Estado grega de Siracusa, na ilha da Sicília (atual Itália), por volta de 399 a.C. Mas há um mistério. O artesão que bolou a catapulta permanece desconhecido. Uma das explicações é que, provavelmente, o engenheiro que concebeu a peça era um escravo. E escravos não podiam levar a fama.

O motivo da inovação, como sempre, era a mais pura e simples das necessidades: grana. Alguns anos antes, Dionísio 1º, rei que governava Siracusa, havia negociado muito a contragosto o pagamento de terras e dinheiro para evitar que os inimigos cartagineses invadissem a cidade. Por debaixo dos panos, o tirano resolveu tomar de volta o que julgava ser seu. Para isso, transformou seus domínios em um dos maiores centros de tecnologia militar.

Graças ao lucro com o comércio de trigo e azeite, em pouco tempo Dionísio conseguiu arrebatar os melhores artesãos militares do Mediterrâneo.

“O rei circulava diariamente entre os inventores, conversava em tom ameno com eles e recompensava os mais esforçados com presentes e convites para banquetes”, relatou o historiador grego Diodorus Siculus, ele próprio um siciliano. Da comilança e dos agradinhos resultaram numerosas máquinas de guerra. A catapulta estava entre elas e fez sua estréia no bem-sucedido cerco à cidade cartaginesa de Motya, que caiu em 398 a.C.

Do sucesso veio a multiplicação do espanto. Em sua obra *Moralia*, o filósofo grego Plutarco descreve o terror do rei espartano Arquidamos 3º (360 a.C.–338 a.C.) quando viu a catapulta demonstrada pela primeira vez. “Ó, Hércules! A bravura em batalha foi destruída!”, teria dito o rei, referindo-se ao fato de que uma arma daquelas poderia acabar com o mais valoroso dos guerreiros, sem que ele tivesse chance de fazer nada.

Não era pouca coisa o momento histórico que Arquidamos presenciava: pela primeira vez, o homem podia usar algo que ia muito além da própria força física para guerrear. Quem vencida a guerra, a partir de então, era a máquina, não mais o homem.

Os gregos curtiram a brincadeira. Por volta de 330 a.C., ou seja, apenas 70 anos após a invenção da catapulta, o arsenal de Atenas já incluía uma variedade de requintados modelos impulsionados por sistemas de torção que ampliavam o alcance do projétil. Armas como o *oxibele* nasceram a partir do mesmo mecanismo. Capitalizado pelos romanos, o surto inventivo grego foi copiado e melhorado. Mudanças nos materiais, no design e no próprio uso tornaram a artilharia mais do que uma arma selvagem.

O passo definitivo para transformar o uso das catapultas em uma ciência foi o desenvolvimento da balística – a arte por meio da qual os artilheiros conseguiam, graças a cálculos matemáticos, direcionar com razoável precisão os projéteis que saíam de suas máquinas.

Catapultas e similares continuaram a ser utilizados até o início da Idade Média. Isso até os europeus tomarem contato com a segunda linha evolutiva das armas de cerco, desenvolvida no Oriente, mais precisamente dentro da tradição chinesa. Utilizando o mesmo princípio da alavanca, os chineses, desde 400 a.C. (a mesma época do desenvolvimento da catapulta na Grécia), faziam uso de uma espécie de gangorra gigante com uma funda na ponta para atirar pedras. O invento, chamado de *hseun fang* (“furacão”), utilizava a força de cerca de 10 homens, que puxavam um dos braços da alavanca com cordas.

Com o tempo, os chineses se ligaram que não era necessário ter pessoas puxando um dos lados da gangorra. Bastava colocar um contrapeso para que o efeito fosse o mesmo. Ao

longo dos séculos, o poderoso engenho atravessou a Ásia. No ano de 1169, o estudioso islâmico al-Tarsusi descreveu em um manual militar uma máquina que usava o mecanismo do contrapeso, chamada entre os árabes de *manjaniq*.

GIF ilustrando o funcionamento de um *trebuchet* </em (NathanStodola/CC BY-SA 2.5/Wikimedia Commons)

Queridinhos do rei

Na mesma época, o invento, que ficaria conhecido no Ocidente com o nome de *trebuchet*, foi construído por forças cristãs que combatiam na Palestina durante a 3ª Cruzada (1189-1192). O comandante da expedição, o rei inglês Ricardo Coração de Leão, tinha uma adoração especial por dois enormes *trebuchets* apelidados por ele de “Catapulta de Deus” e “Vizinho Mau”, que abriram enormes brechas na fortaleza da cidade (veja bem, não é estado) de Acre.

A partir das Cruzadas, o *trebuchet* cresceu e apareceu por toda a Europa, onde participou de alguns dos momentos mais criativos da Idade Média. Utilizando as enormes máquinas de cerco, os atacantes jogavam animais e cadáveres infectados com peste para dentro das muralhas, uma guerra biológica primitiva. Há também relatos de negociadores sendo enviados vivos – via *trebuchet* – de volta às cidades sitiadas, numa demonstração de que as negociações haviam falhado.

O domínio do engenho só seria ameaçado com a chegada do canhão. O primeiro surgiu em 1325. Por cerca de 100 anos, eles foram secundários em relação ao *trebuchet*. Não era fácil carregá-los, e seu grau de imprecisão era alto. Conforme a tecnologia foi se aprimorando, a relação se inverteu. “O marco foi o ano de 1449, data de criação de um canhão gigantesco chamado Mons Meg, que enviava uma bola de 150 quilos a 266 metros de distância.

A partir de então, o poder de fogo do canhão e do *trebuchet* se equipararam”, afirma o especialista em catapultas Michael Farnworth, autor do ensaio *Inventive Steps in Trebuchet Evolution* (“Passos Inovadores na Evolução do Trebuchet”).

Daquele ponto em diante, a importância do *trebuchet* foi gradualmente diminuindo. Em 1550, gravuras medievais ainda mostravam o engenho operando ao lado de canhões. O último uso documentado é bem posterior, de 1779, durante uma batalha em Gibraltar. Na ocasião, o Exército inglês aproveitou a trajetória de parábola dos projéteis lançados do *trebuchet* para atingir alvos inacessíveis aos canhões.

A evolução das armas de fogo aposentou as catapultas. Isso não impediu sua última glória. Durante a 1ª Guerra Mundial (1914-1918), em meio à batalha de trincheiras, os homens que arriscavam suas vidas atirando granadas rumo às posições inimigas reinventaram a roda. Utilizando molas e madeira, construíram pequenas catapultas, capazes de lançar as granadas sem que fosse preciso se expor ao fogo inimigo. Uma demonstração de que a simplicidade e eficiência das armas de cerco ainda podiam causar o que sempre causaram: terror nos inimigos.

2ª ETAPA (UEPS): (Tempo estimado: 10 min.)

A partir da leitura do texto sobre a catapulta, faz-se um questionamento para os alunos com a finalidade de problematizar a situação abaixo:

Existe alguma relação entre o funcionamento da catapulta e as Leis de Newton?

A partir das respostas dos alunos sobre este questionamento, abre-se um debate para verificar se há relação entre o funcionamento da catapulta e a Física. Em seguida, inicia-se a próxima etapa da UEPS.

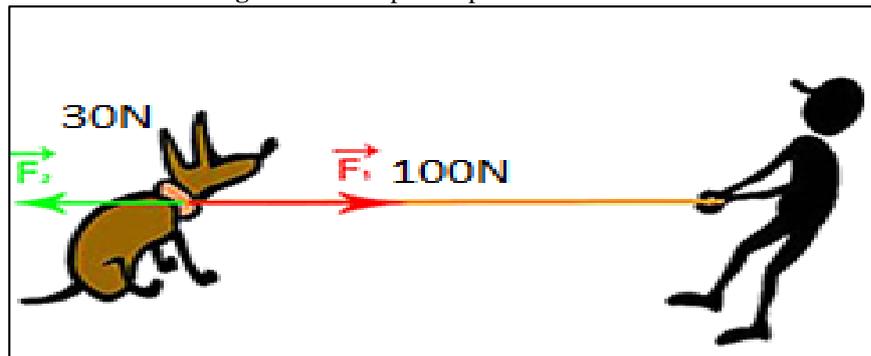
3ª ETAPA (UEPS): (Tempo estimado 25 min.). PRÉ-TESTE

Aplicar uma avaliação escrita objetivando o levantamento do conhecimento prévio dos alunos para identificar os subsunçores necessários para a aprendizagem significativa das Leis de Newton, seguindo as questões abaixo:

TESTE DE FÍSICA

1. Conforme a figura abaixo, a pessoa conseguirá movimentar o animal? Justifique.

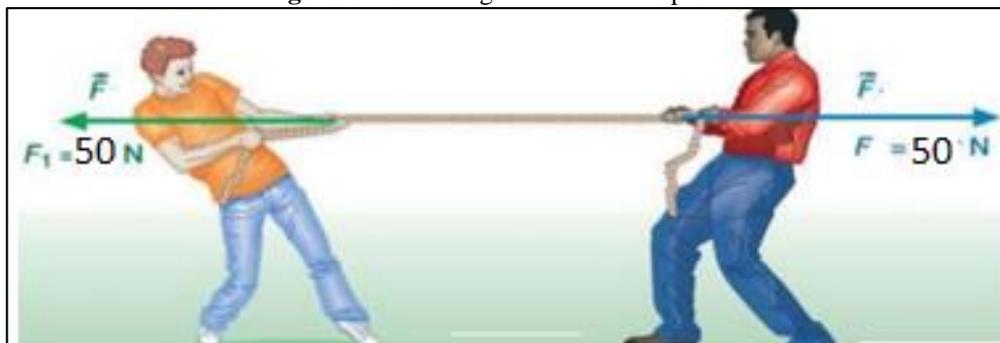
Figura 2 - Uma pessoa puxando um animal



Fonte: http://www.aulas-fisica-quimica.com/9f_14.html

2. Analise a situação abaixo e responda: quem será o vencedor?

Figura 3 - Cabo de guerra entre duas pessoas



Fonte: <http://matildecosta23.blogspot.com/2014/03/forca-resultante.html>

3. Explique, sem usar equações matemáticas, qual a diferença entre o conceito de velocidade e o conceito de aceleração.

4. Uma pessoa fez a seguinte experiência: Ela pegou duas folhas iguais de papel, sendo uma delas aberta e a outra amassada na forma de uma bola, e as deixou cair da mesma altura. A folha de papel amassada chegou primeiro ao chão. Por quê?

Figura 4 - Uma folha de papel aberta e outra amassada na mesma altura.



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2019).

- a) a massa da folha fechada é maior que a massa da folha aberta.
- b) o peso da folha aberta é menor que o peso da folha amassada.
- c) a folha amassada tem peso menor que a folha aberta.
- d) o ar atua mais intensamente na folha aberta que na folha amassada.
- e) a folha aberta tem massa maior que a folha amassada.

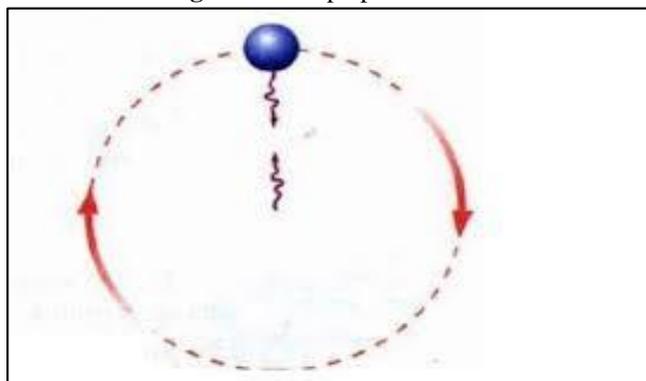
5. Um paraquedista salta de um avião e cai em queda livre até sua velocidade de queda se tornar constante. Podemos afirmar que a força total atuando sobre o paraquedista após sua velocidade se tornar constante é:

- a) vertical e para baixo.
- b) vertical e para cima.
- c) nula.
- d) horizontal e para a direita

6. Ao aplicar a mesma força por um tempo em uma mesa e em uma cadeira, percebemos que a cadeira tem uma variação bem maior em sua velocidade. Por qual motivo isso acontece? (Considere que a mesa tem massa maior que a cadeira).

7. Um corpo preso a um barbante está em movimento circular sobre uma mesa lisa. Quando ele passa pela posição mostrada na figura vista de cima, o barbante se rompe. Represente na figura a trajetória que o corpo passa a descrever sobre a mesa.

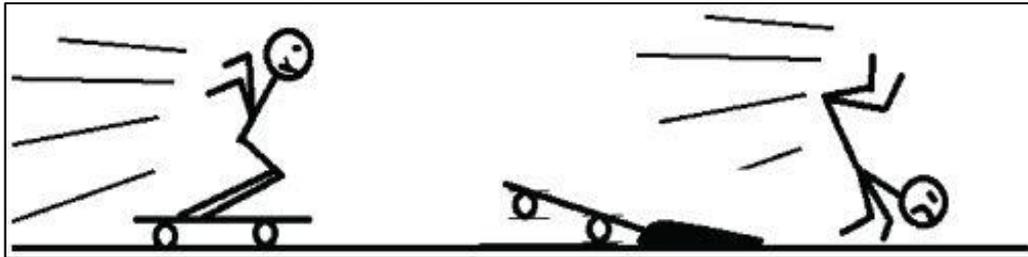
Figura 5 - Corpo preso a um barbante.



Fonte: <https://brainanswers.br.com/fisica/um-corpo-presos-a-um-barbante-est-em-11646545>.

8. A imagem mostra um garoto sobre um skate em movimento com velocidade constante que, em seguida, choca-se com um obstáculo e cai. Explique por que isso acontece.

Figura 6 - Representação do garoto no skate



Fonte: <http://cienciascefet.blogspot.com/2014/12/questao-36-as-afirmativas-seguir.html>.

9. Se você empurrar um objeto sobre um plano horizontal tão polido que não ofereça nenhuma oposição ao movimento, você faz com que ele se movimente com uma certa velocidade. O que acontece com o objeto caso em determinado momento você deixe de aplicar a força que o empurra?

- a) ele para imediatamente.
- b) diminui a sua velocidade até parar.
- c) continua se movimentando, mantendo constante a sua velocidade.
- d) para após uma repentina diminuição de sua velocidade.

10. Observe a tirinha a seguir:

Figura 7 - Tirinha da turma da Mônica.



Fonte: <http://cainaocai.pbworks.com/w/page/8722075/Terceira%20Lei%20de%20Newton>.

Ao analisarmos a tirinha acima, vemos que o Sansão (coelho da Mônica) também se machuca após Mônica bater com ele no Cebolinha. Explique por que isso acontece.

5ª ETAPA (UEPS): (tempo estimado 20 min.). AULA EXPOSITIVA

Apresentar os conceitos de: força, força resultante, força peso nas seguintes formulações:

5.1 Considere as seguintes situações:

- ✓ Quando uma pessoa **puxa** um objeto

Figura 8 - Uma pessoa puxando um carro.



Fonte: Alvarenga e Máximo (1997).

- ✓ Quando uma pessoa **empurra** um objeto

Figura 9 - Uma pessoa empurrando um carrinho de mão



Fonte: Alvarenga e Máximo (1997).

Resultado das formulações

Podemos dizer que o conceito de força é intuitivo. Quando uma pessoa exerce um esforço muscular para puxar ou empurrar um objeto, no sentido mais simples, ela está exercendo uma força sobre ele (Figuras 8 e 9). Portanto, força é uma ação que pode mudar o estado de movimento de um corpo, ou seja, pode pará-lo ou colocá-lo em movimento. Isso pode ser observado no início do lançamento da bola de borracha pela catapulta (Fig. 10).

Figura 10 - Lançamento da bola de borracha.



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2019).

5.2 Conceito de força - escalar

A força escalar é uma ação que muda o estado de movimento de um corpo, ou seja, pode parar ou movimentar o corpo, assim como provocar sua deformação.

5.3 Caráter vetorial da força

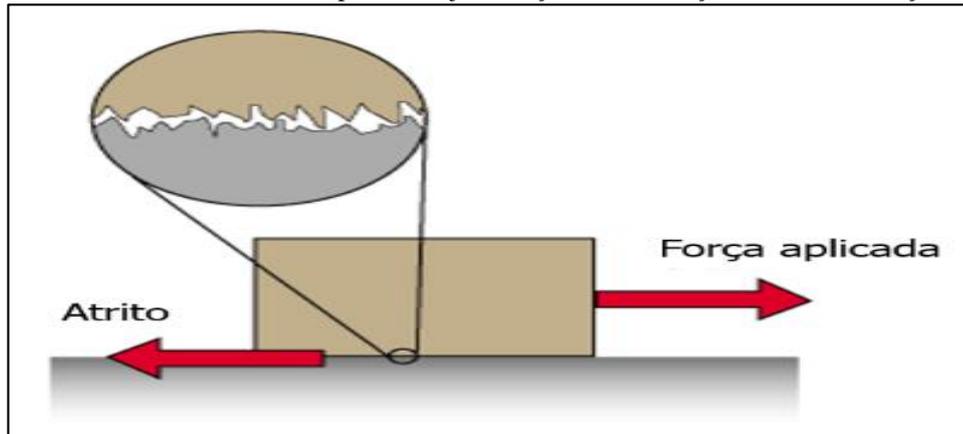
Ao analisar os exemplos das Figuras 8 e 9, podemos observar que os reais efeitos de uma força aplicada em um corpo fiquem bem definidos. Além de saber sua intensidade, é necessário informar a direção e o sentido, ou seja, a força é uma grandeza vetorial representada por uma reta orientada, como mostram as Figuras 8 e 9.

5.4 Tipos de força

5.4.1 Forças de Contato

São aquelas que aparecem quando existe o contato físico entre dois ou mais corpos. Um exemplo de força de contato que temos no nosso dia a dia é força de atrito, a qual sempre se opõe ao movimento do corpo sobre a superfície, devido à existência de pequenas irregularidades das superfícies em contato, como mostra a Figura 11.

Figura 11- Um bloco sobre uma superfície sujeito à ação de uma força resultante e à força de atrito



Fonte: <http://www.fq.pt/forcas/forcas-de-atrito>.

5.4.2 Forças de Campo

São aquelas que aparecem como resultado da interação entre dois ou mais corpos, sem a necessidade de haver contato entre eles. Um exemplo de força de campo que vivenciamos frequentemente é a força de atração da Terra sobre os corpos situados próximo à sua superfície. Entretanto, a intensidade da força de atração depende da distância em que o corpo se encontra em relação à Terra. Essa força de atração é denominada **peso do corpo**. Normalmente, as pessoas confundem os conceitos de massa e peso, referindo-se ao peso como unidade de medida de massa (kg). Porém, a massa está relacionada à quantidade de matéria do corpo, enquanto o peso é uma força de interação entre a massa e a força gravitacional que a Terra exerce sobre ele. A força peso é representada pela seguinte equação:

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g} \quad (1)$$

Sendo: \vec{P} = peso, m = massa e g = aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m/s}^2$)

Ao analisar a equação 1, observamos que o peso é diretamente proporcional à força gravitacional. Portanto, o peso de um corpo pode variar sua intensidade conforme o valor da força gravitacional do meio onde está inserido. Podemos observar isso na tirinha abaixo (Figura 12):

Figura 12 - Tirinha de Garfield

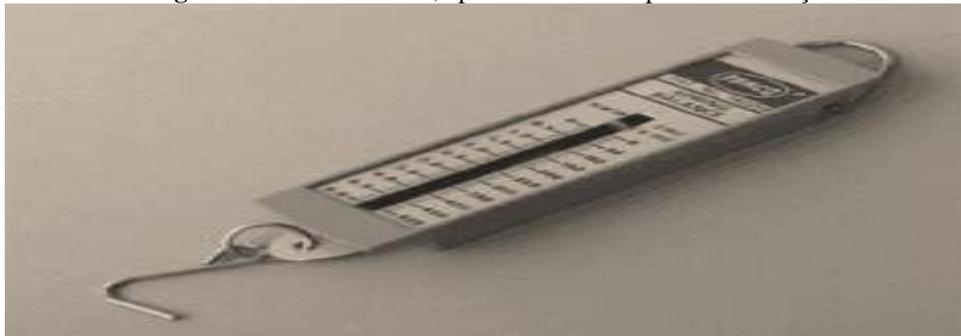


Fonte: <http://clubes.obmep.org.br/blog/probleminha-peso-x-massa/>.

5.5 Unidades de medida de força

Dinamômetro é um instrumento utilizado para medir a intensidade de uma força. Ele é composto por uma mola presa na vertical por sua extremidade superior; possui uma escala de medida e um gancho em sua outra extremidade. Ao aplicar uma força, a mola se distende e o indicador permite a leitura da sua intensidade através da escala estabelecida, conforme indica a Figura 13 abaixo:

Figura 13 - Dinamômetro, aparelho utilizado para medir força



Fonte: <https://educador.brasilescola.uol.com.br/estrategiasensino/construindo-um-dinamometro.htm>.

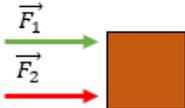
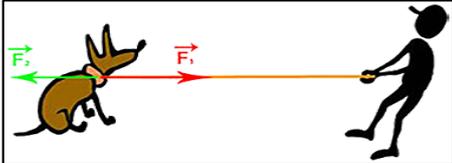
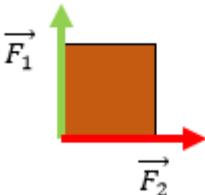
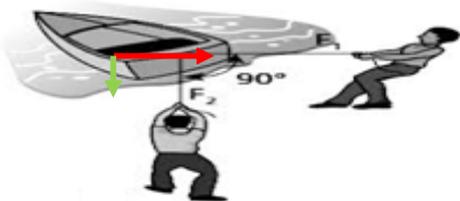
O quilograma-força (kgf) é uma das unidades de medidas de força, que corresponde ao peso do quilograma-padrão. Portanto, quando uma pessoa sobe em uma balança, o que está sendo medido é o seu peso. Por exemplo, se a balança indicar 60kg, isto significa que seu peso é de 60 kgf, isto é, a pessoa é atraída pela Terra com a força de 60 kgf. Outra unidade utilizada na medida de força é o Newton = 1N.

1 kgf corresponde a 9,8N.

5.6 Força resultante

As variações nos estados de movimento ou repouso do corpo estão sujeitas à ação de uma força ou combinações de forças. Quando uma força ou mais forças atuam no corpo, podemos analisar seu comportamento determinando a resultante das forças que nele atuam. Portanto, a força resultante é a soma vetorial de todas as forças aplicadas no corpo. Por exemplo, quando as forças tiverem os mesmo sentido, é possível combiná-las para produzir uma força resultante de maior intensidade por meio da soma algébrica dos seus valores, ou uma força resultante de menor intensidade, subtraindo os seus valores quando essas forças tiverem sentidos opostos. Caso as forças não possuam sentidos iguais ou opostos, utiliza-se a regra do paralelograma para determinar a força resultante, conforme observa-se na tabela abaixo:

Tabela 1 - Força resultante

Diagrama	Sentença	Exemplo
	$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$	 <p>Fonte : https://brainly.com.br/tarefa/8489358.</p>
	$\vec{R} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$	 <p>Fonte: http://www.aulas-fisica-quimica.com/9f_14.html.</p>
	$\vec{R}^2 = \vec{F}_1^2 + \vec{F}_2^2$	 <p>Fonte: https://docs.google.com/document/d/1EqwAg2wnM3I1uYMhhvDS9bNWsLUeFRZ7lfy1ysAen0o/edit.</p>

Fonte: ALMEIDA, Marilene (2019).

CAPÍTULO 3

TERCEIRA AULA

7ª ETAPA (UEPS): (Tempo estimado: 25 min.). AULA EXPOSITIVA

Estudo de lançamento de projéteis: problematização e conceito

7.1 Para pesquisar o aprendizado do conceito de força dos alunos, eles devem responder ao seguinte questionamento:

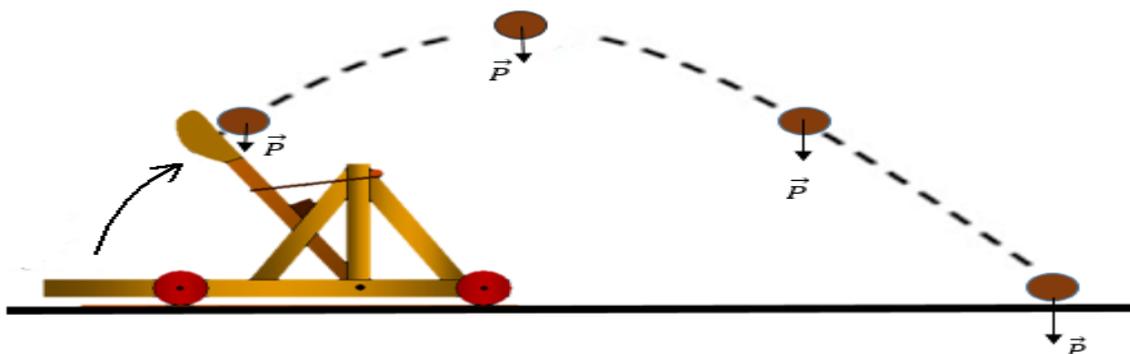
Qual ou quais forças atuam no objeto após o lançamento? (Considere desprezível a resistência do ar).

7.2 Funcionamento da catapulta

Vamos agora entender o funcionamento da catapulta como arma de cerco utilizada na Idade Média. Esta arma consiste em lançar objetos (projéteis) com grande força à longa distância. As catapultas eram usadas para destruir ou ultrapassar as muralhas dos castelos e arremessar lanças contra um exército inimigo quando este avançava. Entretanto, para entender o funcionamento da catapulta, faz-se necessário o estudo do movimento de projéteis.

7.3 Movimento de projétil

Figura 14 - Representação da trajetória do projétil lançado pela catapulta.



Fonte: <https://sites.google.com/site/physicsofcatapults/home/how-a-catapult-works-the-physics/mangonel> <https://translate.google.com.br/#en/pt/> e também minha autoria no complemento da figura.

Na Figura 14, temos a representação da trajetória do projétil lançado pela catapulta. Observa-se que, após o lançamento, o projétil estará sujeito à ação de seu peso e da força de resistência do ar. Entretanto, para o estudo do movimento do projétil, vamos desprezar a resistência do ar em relação ao peso do objeto. Nessas condições, o corpo descreve uma trajetória curvilínea em um plano vertical sujeito a uma aceleração constante (aceleração da gravidade), orientada para baixo, apenas ao longo do eixo vertical. Nessa dada situação, observamos o movimento em um plano com aceleração constante, como uma superposição do movimento horizontal com o movimento vertical, que ocorrem simultaneamente.

A seguir, notamos que a componente horizontal da velocidade do projétil é independente da componente vertical da velocidade quando a resistência aerodinâmica for pequena para ser ignorada. Consequentemente, a componente horizontal da velocidade, que é constante, não sofre interferência da força vertical da gravidade. Portanto, as combinações dos movimentos produzem a trajetória curvilínea do projétil.

7.4 Análise do movimento de um projétil

Quando a bola de borracha é lançada com um certo ângulo θ_0 , sua velocidade (\vec{v}) ao longo do percurso terá componentes tanto no eixo x como no eixo y. Portanto, sua velocidade inicial pode ser escrita na forma:

$$\vec{v}_0 = v_{0x}\hat{i} + v_{0y}\hat{j}. \quad (2)$$

As componentes v_{0x} e v_{0y} podem ser calculadas se conhecermos o ângulo θ_0 entre \vec{v}_0 e o semi-eixo x positivo.

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta_0 \quad \text{e} \quad v_{0y} = v_0 \sin \theta_0. \quad (3)$$

7.5 Movimento horizontal

Como a componente horizontal da aceleração é nula, a componente horizontal da velocidade será constante, isto é, o valor da velocidade permanece inalterado e igual a seu valor inicial v_{0x} durante toda a trajetória. Em qualquer instante t , o deslocamento horizontal do projétil em relação à posição inicial $x - x_0$, é dado por:

$$x - x_0 = v_{0x}t.$$

Como $v_{0x} = v_0 \cos \theta_0$, temos:

$$x - x_0 = (v_0 \cos \theta_0)t. \quad (4)$$

7.6 Movimento vertical

O movimento vertical será descrito pelas equações relacionadas na Tabela 2 referente ao movimento com aceleração constante. Desse modo, as equações da Tabela 2 podem ser utilizadas substituindo a aceleração (a) por aceleração da gravidade ($-g$) e o eixo x substituído pelo eixo y .

Tabela 2 - Equações do Movimento com Aceleração Constante

Número da Equação	Equação	Grandeza que Falta
2-11	$v = v_0 + at$	$x - x_0$
2-15	$x - x_0 = v_0t + \frac{1}{2}at^2$	v
2-16	$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$	t
2-17	$x - x_0 = \frac{1}{2}(v_0 + v)t$	a
2-18	$x - x_0 = vt - \frac{1}{2}at^2$	v_0

*Certifique-se de que a aceleração é constante antes de usar as equações desta tabela.

Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2008, p. 25).

Por exemplo, a Eq.2-15 se torna:

$$y - y_0 = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (5)$$

Substituindo $v_{0y} = v_0 \sin \theta_0$.

Temos:

$$y - y_0 = (v_0 \sin \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (6)$$

Da mesma forma, as Eqs 2-11 e 2-16 se tornam:

$$v_y = v_0 \sin \theta_0 - gt \quad (7)$$

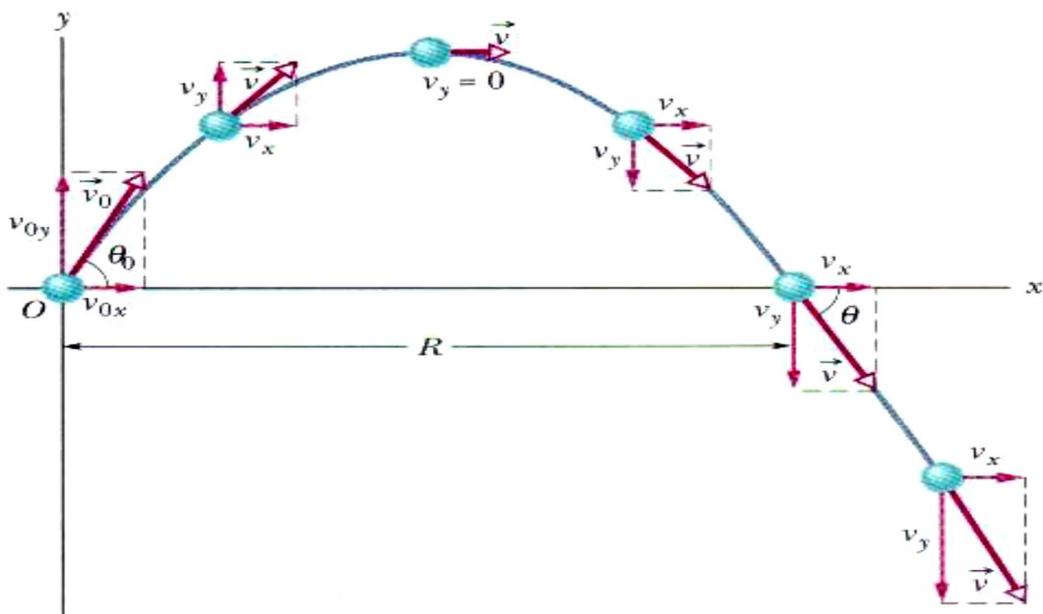
$$v_y^2 = (v_0 \sin \theta_0)^2 - 2g(y - y_0). \quad (8)$$

Como podemos observar na representação abaixo (Figura 15), inicialmente a componente vertical da velocidade está dirigida para cima e seu módulo diminui continuamente até anular. Em seguida, a componente vertical muda de sentido e seu módulo passa a aumentar

com o tempo. Todavia, a componente horizontal da velocidade permanece constante, assim como a distância horizontal (R) percorrida pela bola de borracha retorna à altura do lançamento.

Nesse sentido, a representação a seguir compara-se ao movimento realizado pelo projétil lançado pela catapulta. Conforme estudo feito por Halliday, Resnick e Walker (2008, p. 71): “Trajetória de um projétil que é lançado em $x_0 = 0$ e $y_0 = 0$ com uma velocidade inicial \vec{v}_0 .”.

Figura 15 - Trajetória de um projétil lançado em X_0 e Y_0 com velocidade inicial \vec{V}_0



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2008, p. 71).

7.7 Equação da Trajetória da Catapulta

A referida equação descreve a trajetória do projétil como uma parábola. Combinando as equações (2-15), (5), teremos a seguinte fórmula:

$$y = (tg\theta_0)x - \frac{gx^2}{2(v_0 \cos \theta_0)^2} \quad (9)$$

Considerando que v_0 , θ_0 e g são constantes, esta equação é da forma: $y = bx - cx^2$, que é a equação de uma parábola. Portanto, a trajetória de um projétil na catapulta é uma parabólica.

7.8 Alcance horizontal

O alcance horizontal (R) de um projétil lançado pela catapulta é a distância horizontal percorrida pela bola de borracha, conforme indica a Figura 15. Para determinar o alcance, fazemos $x = x_0 = R$ na equação do movimento na coordenada do eixo x , e teremos: $R = (v_0 \cos \theta_0)t$, e fazendo $y = y_0 = 0$ na equação do movimento na coordenada do eixo y , teremos a equação: $0 = (v \sin \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2$. Em seguida, eliminando o tempo nas duas equações, temos: $R = \frac{2v_0^2}{g} \sin \theta_0 \cos \theta_0$. Utilizando a identidade $2\theta_0 = 2 \sin \theta_0 \cos \theta_0$, temos a equação para determinar o alcance da bola de borracha:

$$R = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta_0. \quad (10)$$

Observe que R na equação (10) atinge o valor máximo para $2\theta_0 = 1$, que corresponde a $2\theta_0 = 90^\circ$ ou $\theta_0 = 45^\circ$.

8ª ETAPA (UEPS): (Tempo estimado: 25 min.).

8.1 Nesta etapa, os alunos escrevem suas suposições a respeito da continuidade do movimento da bola de borracha após o lançamento na catapulta, mediante a indicação da problemática sobre a Primeira Lei de Newton, trabalhada pelo professor em aula expositiva.

Por que há continuidade de movimento da bola de borracha após ser lançado pela catapulta?

8.2 Aula expositiva

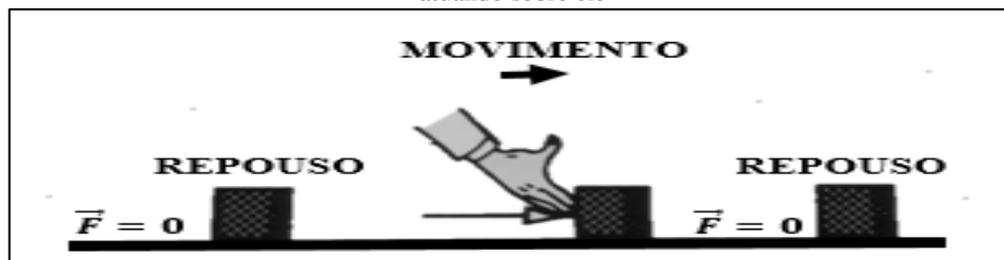
Objetiva-se apresentar o histórico do conceito de movimento, desde a ideia de Aristóteles na Antiguidade até os estudos de Newton na Idade Moderna.

8.2.1 Estudo do Movimento

O filósofo grego da Antiguidade Aristóteles formulou a teoria sobre o movimento, segundo a qual se acreditava que os corpos se movem conforme as combinações dos quatro elementos da natureza: terra, ar, fogo e água, isto é, cada corpo ocupava o lugar apropriado. Dessa forma, Aristóteles considerava a existência de dois tipos de movimento: o natural e o violento. No movimento natural, o corpo era conduzido ao seu lugar apropriado, enquanto no movimento violento o corpo se esforçava para alcançar o seu devido lugar. Por exemplo, quando uma pedra era lançada para cima, o movimento de subida era do tipo violento, uma vez que a pedra por si mesma não se movimentava. Ao passo que, no movimento de descida, era do tipo natural, visto que a pedra se deslocava para o seu lugar apropriado. O filósofo afirmava que a rapidez com a qual o corpo caía era proporcional ao seu peso.

Segundo o filósofo, quanto mais pesado fosse o corpo, mais rápido deveria cair. Portanto, o movimento do corpo dependia da sua natureza ou das ações realizadas no corpo por meio de puxões ou empurrões constantes. Sendo assim, ele acreditava que o estado natural de um objeto era de repouso, a não ser que fosse obrigado a mover-se por ação de uma força contínua. Abaixo, temos uma representação que exemplifica a ideia de Aristóteles:

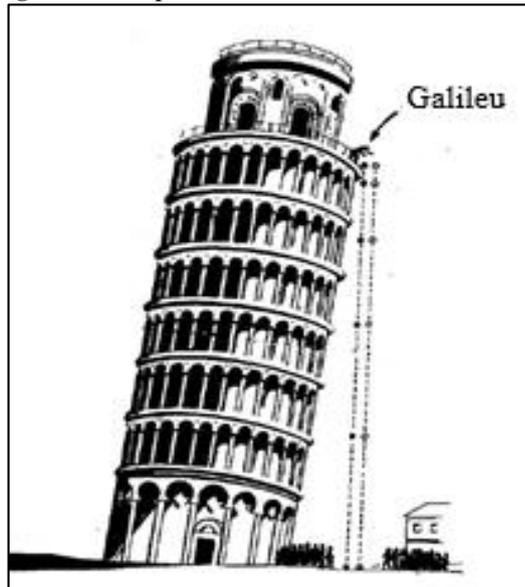
Figura 16 - Segundo Aristóteles, um corpo só poderia estar em movimento enquanto houvesse uma força atuando sobre ele



Fonte: Alvarenga e Máximo (1997, p. 177).

As ideias de Aristóteles sobre movimento dos corpos foram contestadas por Galileu, que se fundamentava em observações e experimentos. Esse cientista comprovou, com o experimento de lançamento de dois corpos com pesos diferentes na torre inclinada de Pisa, que se os corpos fossem soltos de uma mesma altura, atingiriam o chão ao mesmo tempo (Figura 17). Esse experimento contrariava a ideia de Aristóteles, que afirmava que quanto mais pesados fossem os corpos, mais rápido cairiam. É o que se verifica na figura abaixo:

Figura 17 - Experiência de Galileu na Torre de Pisa



Fonte: http://penta3.ufrgs.br/fisica/QuedaCorpos/experincia_de_galileu.html.

No experimento do plano inclinado, Galileu investigava a hipótese de movimento contínuo de um corpo, pois, se não houvesse interferência sobre um corpo móvel, este deveria mover-se em linha reta infinitamente. O experimento consistia na observação do movimento das esferas em planos inclinados com diferentes ângulos. O cientista percebeu que a esfera aumentava sua rapidez quando rolava para baixo sobre um plano inclinado, e diminuía a rapidez quando a esfera rolava para cima no plano inclinado. Todavia, concluiu que, em um plano horizontal, as esferas não deveriam aumentar nem diminuir sua rapidez. Consequentemente, atingiria o repouso não por conta da sua natureza, como afirmava Aristóteles, mas por conta do atrito entre as superfícies. Galileu considerou que, em uma superfície sem atrito ou de forças opostas, um corpo se movimentaria infinitamente.

A propriedade de um corpo em se manter em movimento foi denominada por Galileu de inércia. Posteriormente, Isaac Newton desenvolveu as ideias de Galileu apresentando três leis que regem o movimento, na obra *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*, em 1686, usualmente denominada *Principia*.

8.2.2 Primeira Lei de Newton

A Primeira Lei de Newton é conhecida com a Lei de Inércia, segundo a qual: “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” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1984, p. 79).

Considere as seguintes situações:

Situação 1

Uma moeda se encontra sobre uma folha de papel que está apoiada sobre um copo. Ao puxar a folha de papel rapidamente, a moeda cai dentro do copo, pois, pela propriedade da inércia, a moeda se mantém em repouso (Figura 18).

Figura 18 - Aluno puxando a folha de papel rapidamente



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2019).

Ao puxar a folha de papel rapidamente, a moeda cai dentro do copo, pois, pela propriedade da inércia, a moeda se mantém em repouso.

Situação 2

Os passageiros estão viajando dentro do ônibus. Ao frear o ônibus, os passageiros tendem a permanecer em movimento.

Figura 19 – Representação da Primeira lei de Newton



Fonte: <http://professoralexandrefisio.blogspot.com.br/2012/04/as-leis-de-newton-e-o-movimento.html>.

Conforme vimos nas situações 1 e 2, podemos dizer que a inércia é a propriedade da matéria que tem relação com a massa. Em outras palavras, inércia é a tendência dos corpos de

permanecer em seu estado de equilíbrio, ou seja, se está em repouso, o corpo tende a permanecer em repouso e, se está em movimento, ele tende a permanecer em movimento, em linha reta e com a mesma velocidade.

CAPÍTULO 4

QUARTA AULA

9ª ETAPA (UEPS): (Tempo estimado: 25 min.).

9.1 Nesta etapa, os alunos escrevem suas suposições a respeito do início do movimento da bola de borracha lançada pela catapulta, mediante a indicação da problemática sobre a Segunda Lei de Newton trabalhada pelo professor em aula expositiva.

Por que a bola de borracha, que estava inicialmente em repouso na catapulta, entrou em movimento?

9.2 Aula expositiva – Segunda Lei de Newton

Acerca da Segunda Lei de Newton, conhecida como Princípio Fundamental da Dinâmica, segundo afirma Pereira (2016, p. 46), “Se a soma de forças que atuam em um corpo de massa **m** for não nula, seu movimento será acelerado, cujo valor poderá ser calculado pela expressão”:

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \quad (11)$$

Sendo: $\sum \vec{F}_{ext}$ = somatório das forças externas; m = massa; \vec{a} = aceleração.

Em unidade do Sistema Internacional de Medidas (SI), a Eq. 11 nos diz que:

$$1\text{N} = (1\text{kg}) (1\text{m/s}^2) = 1\text{kg}\cdot\text{m/s}^2.$$

De acordo com a Segunda Lei de Newton, a aceleração adquirida pelo corpo é diretamente proporcional à força resultante aplicada sobre ele, tem a mesma direção e o mesmo sentido da força resultante e é inversamente proporcional à sua massa. Entretanto, podemos observar na Figura 20 que, quanto maior a massa do corpo, maior é a força para obter uma aceleração.

Figura 20 - Os garotos puxam as pedras com diferentes forças de acordo com a massa de cada uma.



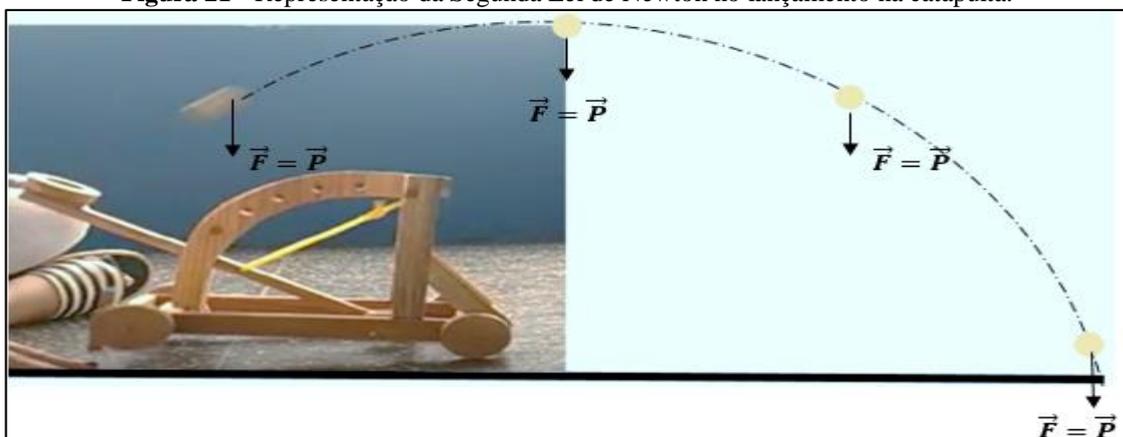
Fonte: <http://fisicaessencial.blogspot.com/2012/03/segunda-lei-de-newton.html>.

No nosso estudo, a Segunda Lei de Newton foi observada durante o lançamento da bola de borracha pela catapulta. Desconsiderando a resistência do ar em relação ao peso da bola de borracha, observa-se que, após o seu lançamento, a bola de borracha descreve uma trajetória curvilínea em um plano vertical sujeito a uma aceleração constante (aceleração da gravidade), orientada para baixo, apenas ao longo do eixo vertical, como mostra a Figura 21. Assim, podemos escrever a Segunda Lei de Newton referente ao lançamento de bola de borracha da seguinte forma:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{g} \quad (12)$$

Sendo: \vec{g} = aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m/s}^2$)

Figura 21 - Representação da Segunda Lei de Newton no lançamento na catapulta.



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2019).

10ª ETAPA (UEPS): (Tempo estimado: 25 min.). Terceira de Newton

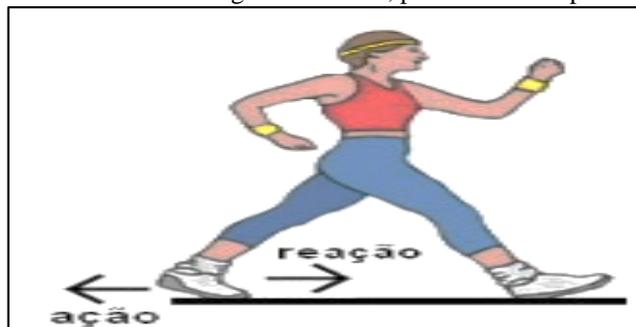
Nesta etapa, os alunos são orientados pelo professor por meio de aula expositiva sobre a Terceira Lei de Newton. Objetiva-se conduzir os alunos a reconhecer a Terceira Lei de Newton na catapulta.

10.1 Terceira Lei de Newton

No estudo da Terceira Lei, Newton verificou que as forças aparecem como resultado da interação entre dois corpos. Sempre que um corpo exercer uma força sobre outro corpo, este exercerá uma força igual e oposta sobre o primeiro. Podemos chamar uma das forças de ação e a outra de força de reação. A Terceira Lei de Newton denota que: “A cada ação sempre se opõe uma reação igual, ou seja, as ações mútuas de dois corpos, um sobre outro, são sempre iguais e dirigidas para partes contrárias” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1984, p. 83).

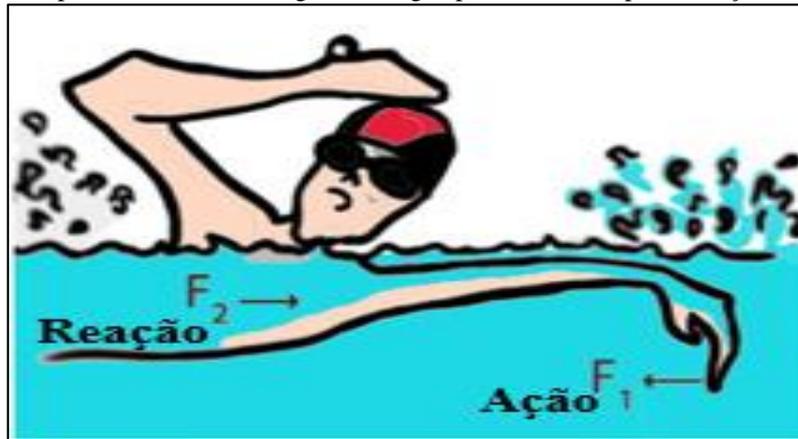
Podemos perceber a ação dessa lei todas as vezes que interagimos com o ambiente que nos rodeia. Quando caminhamos, interagimos com o chão, empurrando-o para trás, ao passo que o chão nos empurra para a frente (Figura 22). Analogamente, quando nadamos, interagimos com água e a empurramos para trás, enquanto ela nos empurra para a frente (Figura 23). Em cada caso, existe um par de forças, uma de ação e outra de reação, agindo simultaneamente.

Figura 22 - Uma pessoa ao caminhar interage com o chão, produzindo um par de forças de ação e reação



Fonte: <https://fisicalegal.forumeiros.com/t25-discutindo-a-3-lei-de-newton>.

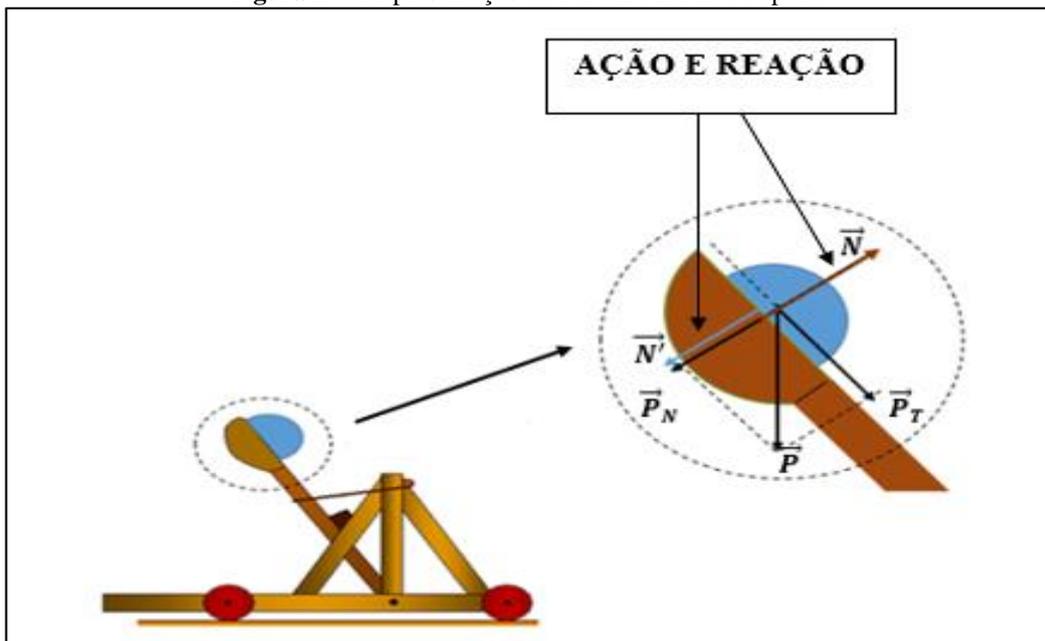
Figura 23 - Uma pessoa ao nadar interage com a água produzindo um par de forças de ação e reação



Fonte: <https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/exercicios-fisica/exercicios-sobre-as-leis-newton.htm>.

Para observarmos a Terceira Lei de Newton na catapulta, temos que considerar a seguinte situação: a necessidade de adicionar um segundo corpo (bola de borracha) para interagir com a catapulta. Dessa forma, o organizador prévio representado como um plano inclinado resulta na interação entre dois corpos: bola de borracha e a catapulta, conforme ilustra a figura abaixo:

Figura 24 - Representação da Terceira Lei na catapulta



Fonte: <https://sites.google.com/site/physicsofcatapults/home/how-a-catapult-works-the-physics/mangonel> <https://translate.google.com.br/#en/pt/> e também minha autoria no complemento da figura.

Observando a Figura, podemos perceber que a interação da catapulta com a bola de borracha é similar à de um objeto, apoiado em um plano inclinado. Para facilitar a análise da situação, substituímos o peso (\vec{P}) da bola de borracha por suas componentes \vec{P}_N (normal ao

plano inclinado) e \vec{P}_T (paralela ao plano inclinado). Dessa forma a componente \vec{P}_T tende a deslocar a bola de borracha paralelamente ao plano, enquanto a componente \vec{P}_N faz com que a bola de borracha exerça sobre o plano inclinado (catapulta) uma compressão normal \vec{N}' . Portanto, quando a bola de borracha comprime a catapulta com a normal \vec{N}' , esta reage sobre a bola de borracha, exercendo uma reação normal \vec{N} .

CAPÍTULO 5

QUINTA AULA

11ª ETAPA (UEPS): (Tempo estimado: 50 min.). Pesquisa e avaliação sobre supostos aprendizados ocorridos no processo.

11.1 Nesta etapa, os alunos, em grupos, os alunos reconstróem o mapa conceitual a partir do conceito de lançamento de projétil. Essa atividade tem o objetivo de avaliar a compreensão dos conceitos referentes às Leis de Newton.

Construa um mapa conceitual sobre seu entendimento de lançamento de projétil utilizando alguns conceitos relacionados no quadro abaixo:

<p>Conceitos: movimento, repouso, referencial, força, grandeza vetorial, módulo, direção, sentido, intensidade, trajetória parabólica, lançamento oblíquo, MRU, MUV, velocidade constante, aceleração, $FR=0$, Primeira Lei de Newton, inércia, aceleração, Segunda Lei de Newton, $F= m.a$, positiva, negativa, força peso, $P=m.g$, contato, campo, Terceira Lei de Newton, ação, reação, corpos diferentes.</p>
--

No espaço abaixo, descreva detalhadamente o mapa conceitual que você construiu.

11.2 Neste momento, os alunos, em grupo, constroem uma catapulta com palitos de picolé, com o objetivo de identificar e relacionar o funcionamento do lançamento realizado pela catapulta com as Leis de Newton.

CATAPULTA DE PALITO DE PICOLÉ

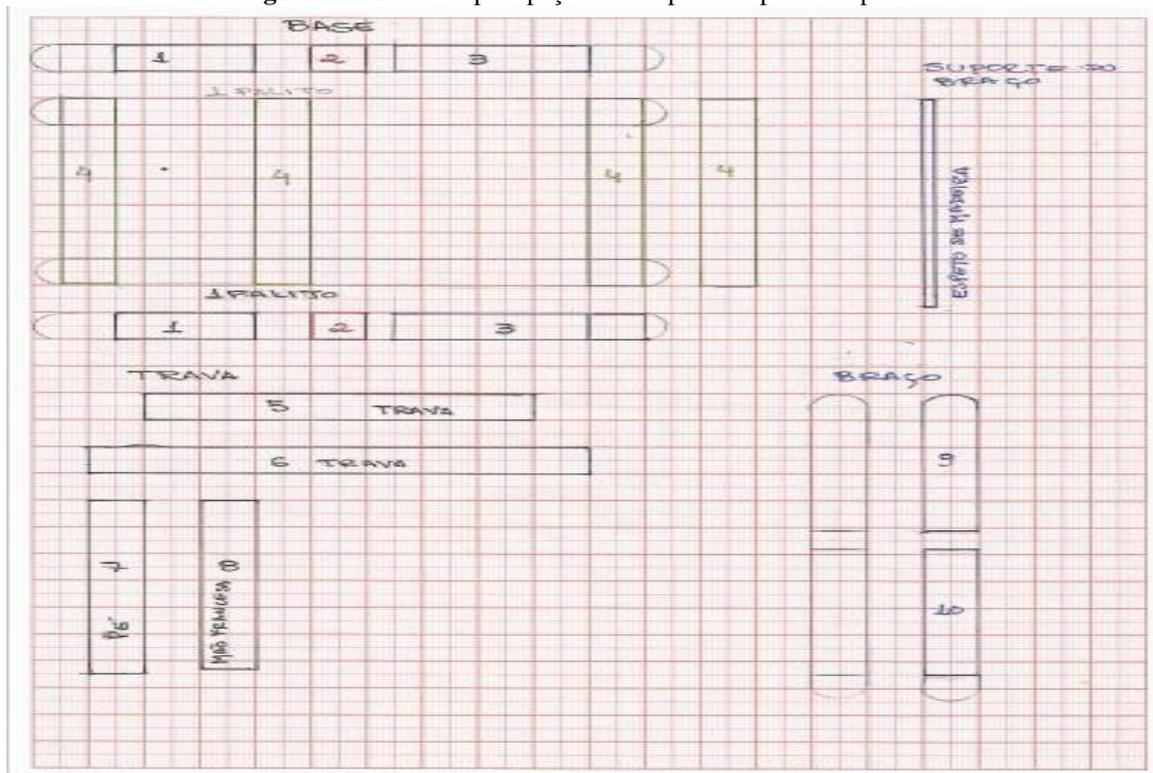
Tabela 3 - Materiais para construção da catapulta de palito de picolé

Materiais	Quantidade
Palito de picolé	19
Bastão de cola quente	1
Tampa de garra pet	1
Espeto de madeira	1
Borrachinha elástico	1
Pistola cola quente	1
Arco de serra	1
Lixa fina	1

Fonte: ALMEIDA, Marilene (2019).

Gabarito para corte das peças

Figura 25 - Gabarito para peças da catapulta de palito de picolé



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2019).

ROTEIRO DO GABARITO

Passo 1. Conforme o gabarito, corte as peças com arco de serra para a construção da base.

Foto 1 - Corte das peças 1, 2, 3 e 4



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).

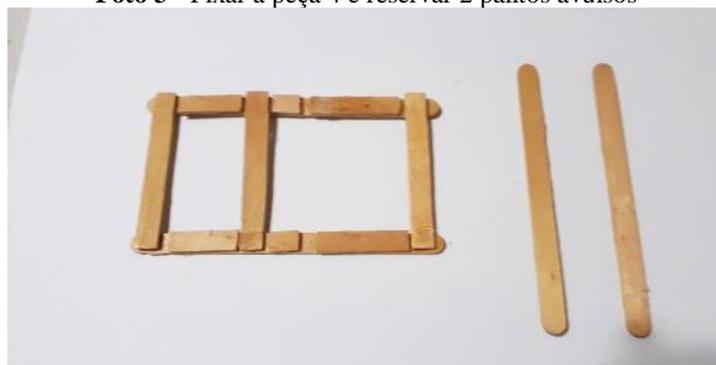
Passo 2. Fixar as peças da base com cola quente, conforme indicam as imagens:

Foto 2 - Fixar as peças 1, 2 e 3



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).

Foto 3 - Fixar a peça 4 e reservar 2 palitos avulsos



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).

Foto 4 - Fixar na peça 4, os 2 palitos avulsos



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020). .

Passo 3. Conforme o gabarito, corte as peças com arco de serra para a construção da trava.

Foto 5 - Corte das peças 5, 6 e 7



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).

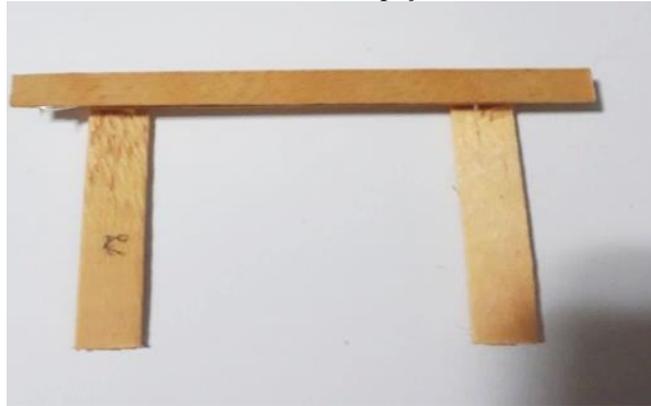
Passo 4. Fixe as peças da trava com cola quente, conforme indicam as imagens:

Foto 6 - Fixar as peças 5 e 7



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).

Foto 7 - Fixar a peça 6



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).

Passo 5. Fixe a trava na base com cola quente, conforme indicam as imagens:

Foto 8 - Vista frontal da trava fixada na base



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).

Foto 9 - Vista lateral da trava fixada na base



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).

Passo 6. Reforçar a trava com mão francesa, conforme indicam as imagens:

Foto 10 - Fixar as peças 8 e 4, para reforçar a trava



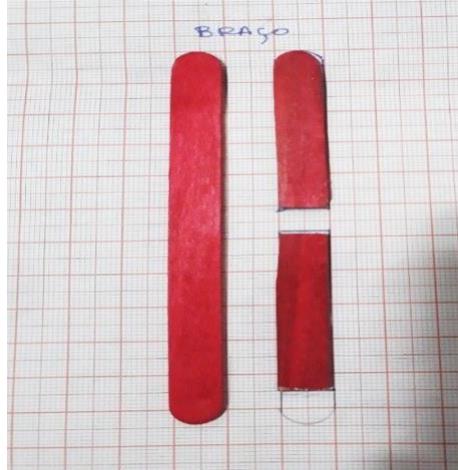
Foto 11 - Vista frontal do conjunto base e trava



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).

Passo 7. Conforme gabarito, corte as peças com arco de serra para a construção do braço da catapulta.

Foto 12 - Corte das peças 9 e 10. Reservar 1 palito avulso



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).

Passo 8. Fixar as peças do braço. Em seguida, colar a tampa de garrafa pet, conforme indicam as imagens:

Foto 14 - Fixar as peças 9 e 10 em um palito, reservar 1 palito avulso



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).

Foto 15 - Vista de cima do braço da catapulta



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).

Passo 9. Fixar o braço da catapulta com cola quente, conforme indica a imagem:

Foto 16 - O braço é fixado no suporte de espeto de madeira localizado na base da catapulta



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).

Passo 10. Fixar a borrachinha elástica no braço da catapulta, conforme indicam as imagens:

Foto 17 - Fixar a borrachinha elástico



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).

Foto 18 - Vista lateral da catapulta



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2020).

CAPÍTULO 6

SEXTA AULA

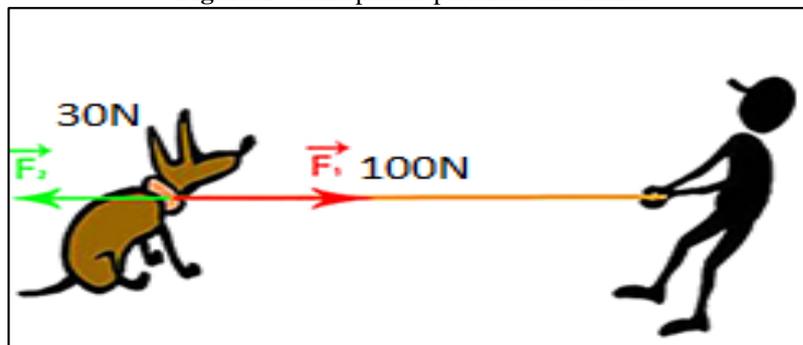
12ª ETAPA (UEPS): (Tempo estimado: 25 min.) PÓS-TESTE

Trata-se de avaliar o pré-teste aplicado aos alunos por meio das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, no intuito de favorecer a identificação de supostos aprendizados ocorridos no pós-teste, conforme as atividades a seguir:

TESTE DE FÍSICA

1. Conforme a figura abaixo, a pessoa conseguirá movimentar o animal? Justifique.

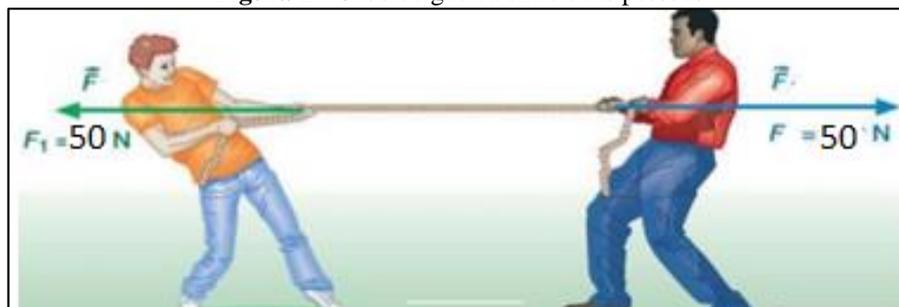
Figura 1 - Uma pessoa puxando um animal



Fonte: http://www.aulas-fisica-quimica.com/9f_14.html.

2. Analise a situação abaixo e responda: quem será o vencedor?

Figura 2 - Cabo de guerra entre duas pessoas



Fonte: <http://matildecosta23.blogspot.com/2014/03/forca-resultante.html>.

3. Explique, sem usar equações matemáticas, qual a diferença entre o conceito de velocidade e o conceito de aceleração.

4. Uma pessoa fez a seguinte experiência: Ela pegou duas folhas iguais de papel, sendo uma delas aberta e a outra amassada na forma de uma bola, e as deixou cair da mesma altura. A folha de papel amassada chegou primeiro ao chão. Por quê?

Figura 3 - Uma folha de papel aberta e outra amassada na mesma altura



Fonte: ALMEIDA, Marilene (2019).

- a) a massa da folha fechada é maior que a massa da folha aberta.
- b) o peso da folha aberta é menor que o peso da folha amassada.
- c) a folha amassada tem peso menor que a folha aberta.
- d) o ar atua mais intensamente na folha aberta que na folha amassada.
- e) a folha aberta tem massa maior que a folha amassada.

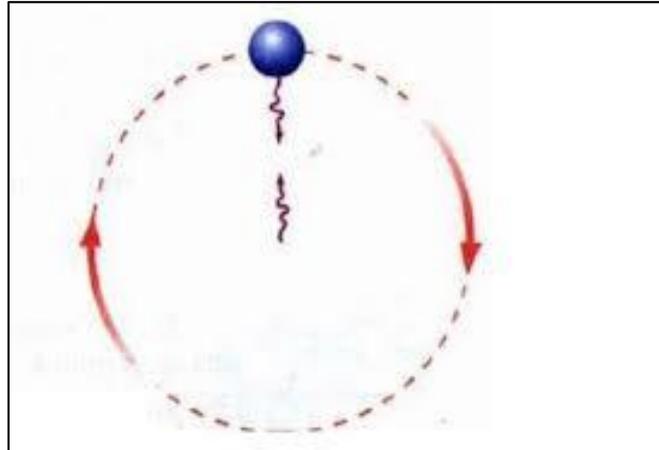
5. Um paraquedista salta de um avião e cai em queda livre até sua velocidade de queda se tornar constante. Podemos afirmar que a força total atuando sobre o paraquedista após sua velocidade se tornar constante é:

- a) vertical e para baixo.
- b) vertical e para cima.
- c) nula.
- d) horizontal e para a direita

6. Ao aplicar a mesma força por um tempo em uma mesa e em uma cadeira, percebemos que a cadeira tem uma variação bem maior em sua velocidade. Por qual motivo isso acontece? (Considere que a mesa tem massa maior que a cadeira).

7. Um corpo preso a um barbante está em movimento circular sobre uma mesa lisa. Quando ele passa pela posição mostrada na figura vista de cima, o barbante se rompe. Represente na figura a trajetória que o corpo passa a descrever sobre a mesa.

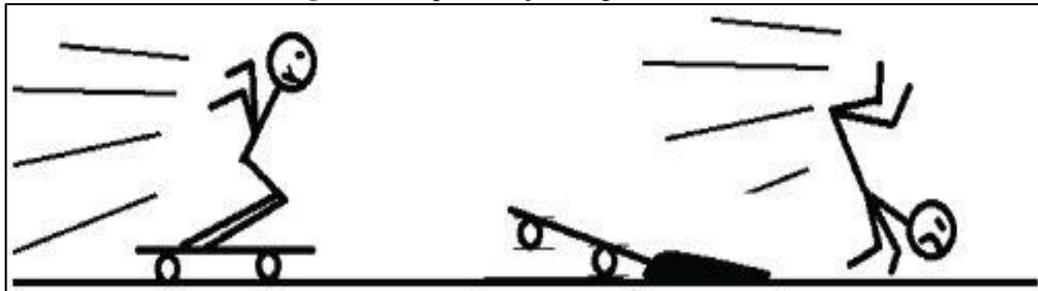
Figura 4 - Corpo preso a um barbante



Fonte: <https://brainanswers.br.com/fisica/um-corpo-presos-a-um-barbante-est-em-11646545>.

8. A imagem mostra um garoto sobre um skate em movimento com velocidade constante que, em seguida, choca-se com um obstáculo e cai. Explique por que isso acontece.

Figura 5 - Representação do garoto no skate



Fonte: <http://cienciascefet.blogspot.com/2014/12/questao-36-as-afirmativas-seguir.html>.

9. Se você empurrar um objeto sobre um plano horizontal tão polido que não ofereça nenhuma oposição ao movimento, você faz com que ele se movimente com uma certa velocidade. O que acontece com o objeto caso em determinado momento você deixe de aplicar a força que o empurra?

- ele para imediatamente.
- diminui a sua velocidade até parar.
- continua se movimentando, mantendo constante a sua velocidade.
- para após uma repentina diminuição de sua velocidade.

10. Observe a tirinha a seguir:

Figura 6 - Tirinha da turma da Mônica



Fonte: <http://cainaocai.pbworks.com/w/page/8722075/Terceira%20Lei%20de%20Newton>.

Ao analisar a tirinha acima, vemos que o Sansão (coelhinho da Mônica) também se machuca após Mônica bater com ele no Cebolinha. Explique por que isso acontece.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, B; MÁXIMO, A. **Curso de Física**: volume 1. São Paulo: Scipione, 1997.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Física**. 4. ed. Tradução de Antonio Máximo R. Luiz *et al.* Revisão técnica de Adir Moyses Luiz. Rio de Janeiro: LTC, 1984.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. Volume 1: mecânica. 8. ed. Tradução e revisão técnica de Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

ONÇA, Fabiano. Catapulta: a história da invenção que mudou a história das guerras. **Revista Super Interessante**, São Paulo, 2007. Disponível em: <https://super.abril.com.br/historia/a-mae-de-todas-as-guerras/>. Acesso em: 1 dez. 2020.

PEREIRA, Vanessa. **Elaboração e avaliação de um Material Instrucional baseado na Teoria da Aprendizagem Significativa para o ensino das Leis de Newton e de tópicos de Cinemática no ensino médio**. 2016. 162 f. Dissertação (Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física) - Sociedade Brasileira de Física; Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória, 2016.