

APÊNDICE A – PRODUTO DIDÁTICO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Vinicius Andre Guckert Marquez

UMA ABORDAGEM MICROSCÓPICA DA TENSÃO E FORÇA ELÁSTICA
POR MEIO DO HOMEM-ARANHA

BLUMENAU – SC

2020

VINICIUS ANDRE GUCKERT MARQUEZ

**UMA ABORDAGEM MICROSCÓPICA DA TENSÃO E FORÇA ELÁSTICA
POR MEIO DO HOMEM-ARANHA**

BLUMENAU – SC

2020

SUMÁRIO

<u>APRESENTAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO</u>	Erro! Indicador não definido.
<u>1. SEQUÊNCIA DIDÁTICA</u>	Erro! Indicador não definido.
<u>2. TEXTO DE APOIO</u>	Erro! Indicador não definido.
<u>2.1 FORÇA ELÁSTICA</u>	Erro! Indicador não definido.
<u>2.2 TRAÇÃO</u>	Erro! Indicador não definido.
<u>REFERÊNCIAS</u>	Erro! Indicador não definido.
<u>APÊNDICE A – ROTEIRO EXPERIMENTAL</u>	Erro! Indicador não definido.

APRESENTAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO

Caro(a) professor(a), por meio de uma revisão bibliográfica, fica evidente que o método tradicional de lecionar Física traz pouca relação com o cotidiano dos estudantes, sendo engessado, extremamente matemático e, inúmeras vezes, monótono, gerando uma falta de interesse do aluno e se tornando uma barreira no processo de ensino-aprendizagem.

Então, faz-se necessária a utilização de estratégias que aproximem o conteúdo com a realidade do aluno, deixando assim, as aulas mais interessantes e divertidas, fazendo florescer um interesse pela Física no estudante, quebrando essa barreira epistemológica.

O presente produto didático busca alcançar tal conquista, aproximando os conceitos de Física ao cotidiano dos alunos, através da utilização do Homem-Aranha como pano de fundo para fazer uma abordagem microscópica dos conceitos de tração e força elástica.

Além de possuir uma roupagem diferente para abordar os conceitos citados a cima, esse produto didático possui uma recomendação de metodologia ativa para sua aplicação. Dessa maneira, podemos alcançar um dinamismo diferente das aulas tradicionais, fazendo com que o aluno interaja diretamente com os conceitos Físicos e o professor(a) deixe o protagonismo de lado, se tornando um mediador.

Como descrito por Carvalho Neto (2019), a teoria pedagógica escolhida para a aplicação do produto é Educação 4.0, uma teoria de ensino-aprendizagem que se baseia em 4 pilares centrais: a Contextualização; a Problematização; a Interação; e a Socialização.

Resumidamente, a Contextualização é onde os conceitos são apresentados ao aluno, mas essa apresentação deve estar vinculada a emoção do aluno. O Homem-Aranha vem para suprir essa necessidade de relacionar emotivamente os conceitos com o sujeito.

A problematização na premissa que a “produção de conhecimento está diretamente relacionada à resolução de problemas” (CARVALHO NETO, 2019), então, durante a sequência didática, os alunos serão colocados para resolver problemas durante experimentos práticos e exercícios teóricos.

Já a interação e a socialização estão intimamente interligadas. A interação refere aos alunos interagirem entre si, trabalhando em grupos/equipes. Já a socialização é o momento onde os alunos podem expor o que aprenderam e o que construíram. Esses dois pilares do aprendizado são de extrema importância pois, segundo Carvalho Neto (2019), “a produção do conhecimento e sua socialização pressupõe a interatividade entre sujeito e objeto e sujeito-sujeito e, por essa razão, deve ser considerada na perspectiva de um processo construtivo na visão epistemológica que o sustenta”.

Este produto didático é dividido conforme descrito a seguir. Na seção 1 é proposta uma sequência didática para auxiliar o(a) professor(a) na abordagem microscópica dos temas tensão e força elástica no contexto do personagem Homem-Aranha. Como esta sequência didática propõe abordagens que não são usualmente realizadas no ensino médio, a seção 2 constitui-se de um texto de apoio ao professor para auxiliá-lo nesta tarefa. Com isto, o(a) professor(a) terá segurança para discutir cada etapa da sequência didática com seus alunos. Um roteiro para atividade experimental virtual é disponibilizado no Apêndice.

1. SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Com base nessa teoria e em revisões bibliográficas sobre metodologias ativas se elaborou a seguinte sequência didática:

MOMENTO	ETAPA	TEMPO
1	Apresentação da proposta didática aos alunos. ¹	1 h/a
2	Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica.	-
3	<i>feedback</i> dos conceitos apresentados na Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica.	1 h/a
4	Videoaula 02 – Matemática da força elástica.	-
5	<i>feedback</i> dos conceitos apresentados na Videoaula 02 – Matemática da força elástica.	1 h/a
6	Experimento.	1 h/a
7	Videoaula 03 – Tensão.	-
8	<i>feedback</i> dos conceitos apresentados Videoaula 03 – Tensão.	1 h/a
9	Socialização.	2 h/a

¹ caso houver tempo, o professor pode iniciar o momento 2 da sequência didática.

O **primeiro momento** é a apresentação da proposta didática aos alunos: No primeiro momento da aula, o professor deve expor aos alunos que as próximas 5 aulas serão feitas por meio de uma metodologia ativa chamada sala de aula invertida, onde os estudantes irão assistir videoaulas antes de ir para a aula e que o período da aula será reservado para tirar dúvidas e para a aplicação dos conceitos trabalhados nas videoaulas. Deve se incentivar e expor a importância de se assistir as videoaulas aos alunos, explicando que esses vídeos são fundamentais para o funcionamento da metodologia. Por fim, o professor pode expor que no decorrer das videoaulas será trabalhando os conceitos de força de elástica e tensão por meio de uma abordagem microscópica.

O **segundo momento** é a indicação da [Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica](#), onde os alunos irão assistir a aula em casa, como tarefa.

O **terceiro momento** consiste em fazer um feedback dos conceitos apresentados na [Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica](#) utilizando o texto de apoio. É importante que esse feedback se de inicie pelas dúvidas dos estudantes e, a partir dos questionamentos, o professor percorra todos os conceitos. Após o feedback, o professor irá separar os alunos em grupos de 4 ou 5 alunos e irá aplicar as atividades do “VAMOS PRATICAR I” que se encontra na página 16 do texto de apoio.

O **quarto momento** é a indicação da [Videoaula 02 – Matemática da força elástica](#), onde os alunos irão assistir a aula em casa, como tarefa.

Já o **quinto momento** é o feedback dos conceitos apresentados na [Videoaula 02 – Matemática da força elástica](#) utilizando o texto de apoio. É importante que esse feedback se de inicie pelas dúvidas dos estudantes e, a partir dos questionamentos, o professor percorra todos os conceitos. Após o feedback, o professor irá separar os alunos em grupos de 4 ou 5 alunos e irá aplicar as atividades do “VAMOS PRATICAR II” que se encontra nas páginas 22 e 23 do texto de apoio.

O **sexto momento** consiste em uma atividade experimental virtual (APÊNDICE I), onde os alunos receberão um relatório estruturado para experimentar e visualizar os conceitos aprendidos durante as duas primeiras aulas.

O **sétimo momento** consistem em indicar a [Videoaula 03 – Tensão](#), onde os alunos irão assistir a aula em casa, como tarefa.

No **oitavo momento** será feito o último feedback dos conceitos apresentados na [Videoaula 03 – Tensão](#) utilizando o texto de apoio. É importante que esse feedback se de inicie pelas dúvidas dos estudantes e, a partir dos questionamentos, o professor percorra todos os conceitos. Após o feedback, o professor irá separar os alunos em grupos de 4 ou 5 alunos e irá aplicar as atividades do “VAMOS PRATICAR III” que se encontra nas páginas 28 e 29 do texto de apoio.

Por fim, o **nono momento** é a socialização, que será realizada por meio de slides, vídeos ou apresentação oral, as equipes deverão expor os resultados, dificuldades e aprendizados que tiveram durante as atividades “VAMOS PRATICAR” I, II e III e do relatório experimental.

2. TEXTO DE APOIO

Caro(a) professor(a), esta seção traz um texto de apoio para ser trabalhado com os estudantes nas diversas etapas da sequência didática.

Sendo narrado pelo super-herói Homem Aranha, esse material trabalha conceitos de **força elástica e tensão, que são posteriormente problematizados no contexto do próprio personagem.**

Além de trazer o Homem-Aranha como contextualização para os conceitos, se decidiu optar por uma abordagem microscópica na hora de apresentar os conceitos de força elástica e tensão. Então, iremos construir o conhecimento juntamente com o aluno, partindo da interação molecular para compreender o comportamento das molas e objetos que são tracionados.

Para um melhor entendimento dos conceitos abordados durante esse texto de apoio recomenda-se que o estudante já tenha estudando as Leis de Newton Força Peso, além de ter noção da atração e repulsão elétrica, pois será partido desses conceitos para definição de outros. Embora eletricidade é estudado no 3º ano do Ensino Médio, alguns conceitos básicos são introduzidos já no 9º ano.

Por fim, é necessário expor que esse material NÃO deve ser comercializado e nem busca monetização, pois é utilizado como um meio de divulgação científica, sem fins lucrativos.

2.1 FORÇA ELÁSTICA

Oi, eu sou o Peter Parker, mais conhecido como Homem-Aranha. Hoje eu vim te explicar um pouco sobre como funcionam as minhas teias.



Figura 29 - Homem-Aranha (1).

Fonte: print screen do jogo MARVEL SPIDER-MAN, INSOMNIAC GAMES.

Até hoje, os cientistas estão tentando descobrir o funcionamento exato das minhas teias. Mas, para simplificar as coisas, vamos imaginar que elas funcionam de forma muito parecida às molas como essa representada na figura 2. Fique tranquilo quanto a essa aproximação, pois aproximar o comportamento das minhas teias com o comportamento de uma mola é algo muito válido.

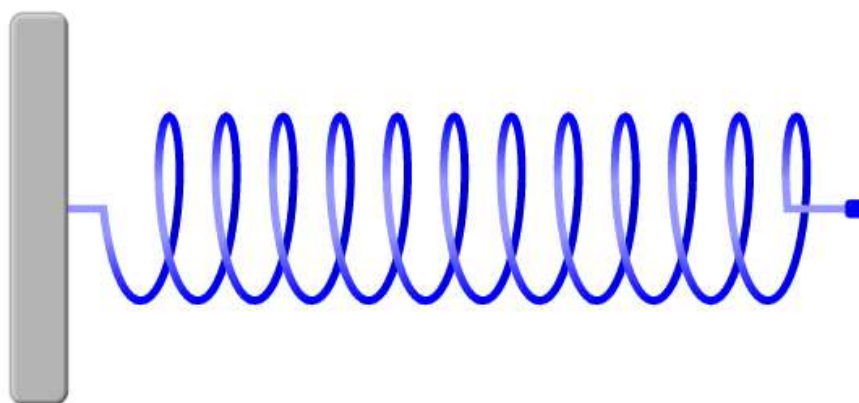


Figura 2 - Mola.

Fonte: print screen PhET – Lei de Hooke.

Com isso em mente, podemos começar a falar sobre forças fundamentais. Existem apenas quatro forças fundamentais no Universo: força eletromagnética, força gravitacional, força nuclear forte e nuclear fraca. Todas as outras forças são derivadas dessas quatro.

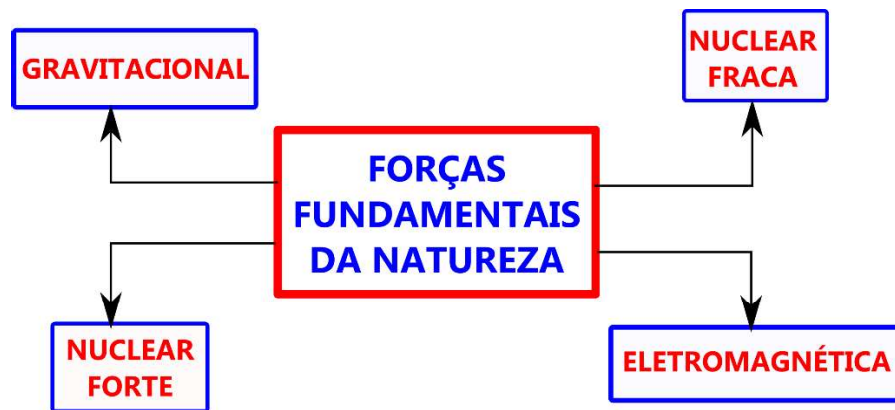


Figura 3 – Diagrama das forças fundamentais.

Fonte: print screen do Filme Homem-Aranha: De Volta ao Lar.

Uma pergunta rápida do Homem-Aranha: de qual dessas 4 forças fundamentais são derivadas as forças que explicam o funcionamento das minhas teias?

Se você escolheu força nuclear fraca você está errado!!! A força elástica e a tensão, forças que explicam o funcionamento das minhas teias, são derivadas da força eletromagnética.



Figura 4 – Homem-Aranha (2).

Fonte: print screen do Filme Homem-Aranha: De Volta ao Lar.

Mas como isso é possível?

A força elástica e a tensão são provenientes da força eletromagnética que há entre as moléculas que constituem a teia ou qualquer outro corpo existente no Universo. Vamos a um exemplo: o sal de cozinha ($NaCl$) é composto átomos de sódio (Na^+), que é um íon positivo e de cloreto (Cl^-) que é um íon negativo. Isso gera uma força de atração eletromagnética entre esses os dois elementos químicos (NUSSENZVEIG, 2002), como representa a figura abaixo:

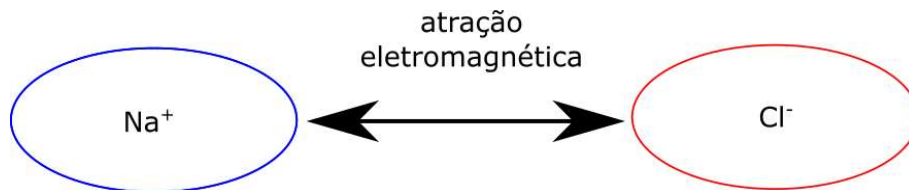


Figura 5 - Atração eletromagnética entre dois íons de cargas opostas.

Fonte: O autor.

Mas você deve estar se questionando: a teia que eu uso é feita de sal? Não, a minha teia é formada por vários elementos (hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e carbono), mas o princípio é o mesmo!

Cada molécula é eletricamente neutra, mas, mesmo assim, ao aproximarmos duas moléculas haverá uma atração eletromagnética devido a distribuição de suas (NUSSENZVEIG, 2002), como é representada pela figura 6.



Figura 6 - Atração eletromagnética entre duas moléculas neutras.

Fonte: O autor.

Vou ressaltar que a mesma ideia é válida para os átomos, já que as moléculas são formadas por um aglomerado de $6 \cdot 10^{23}$ átomos (número de Avogadro).



Figura 7 - Vídeo complementar sobre a teia.

Fonte: print screen do canal Nerdologia.

Então, quando esticamos a teia, assim como quando esticamos uma mola, ela retorna para a sua forma original, pois as moléculas que constituem esse corpo se atraem.

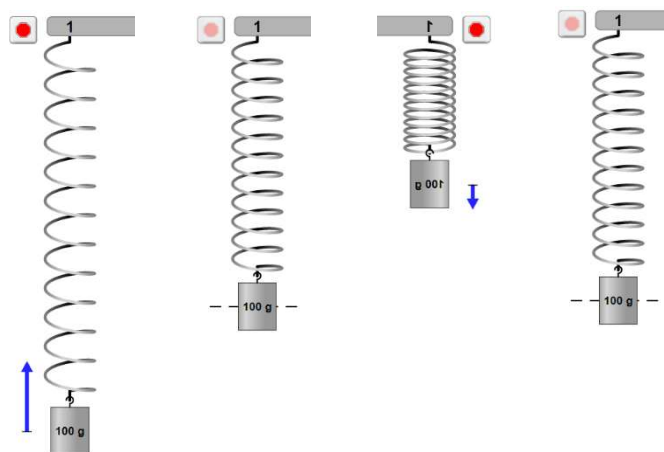


Figura 8 - Molas.

Fonte: print screen PhET – Massas e Molas.

Mas e o movimento que a teia faz quando ela é contraída?



Figura 9 – Homem-Aranha (3).

Fonte: print screen do Filme Homem-Aranha no Aranhaverso

Se contrairmos a teia ela também vai voltar a sua posição de equilíbrio, algo que não faz sentido se pensarmos só na atração eletromagnética descrita antes. Pois, se eu comprimir minha teia a atração eletromagnética deveria fazer com a teia permanecesse nesse estado, mas existe uma outra força atuando nesse problema...

Nem a teia nem uma mola ficam comprimidas, pois se diminuirmos a distância entre duas moléculas, chegando uma distância com a ordem de grandeza de um raio atômico (r_0), a atração eletromagnética se torna uma repulsão, pois temos o Princípio de Exclusão de Pauli, que nos diz que dois férmions idênticos não podem ocupar o mesmo estado quântico simultaneamente, fazendo então, que quando duas nuvens eletrônicas de dois átomos começam a se sobrepor, uma interação repulsiva surge. Vou deixar um gráfico para exemplificar o que acabei de falar:

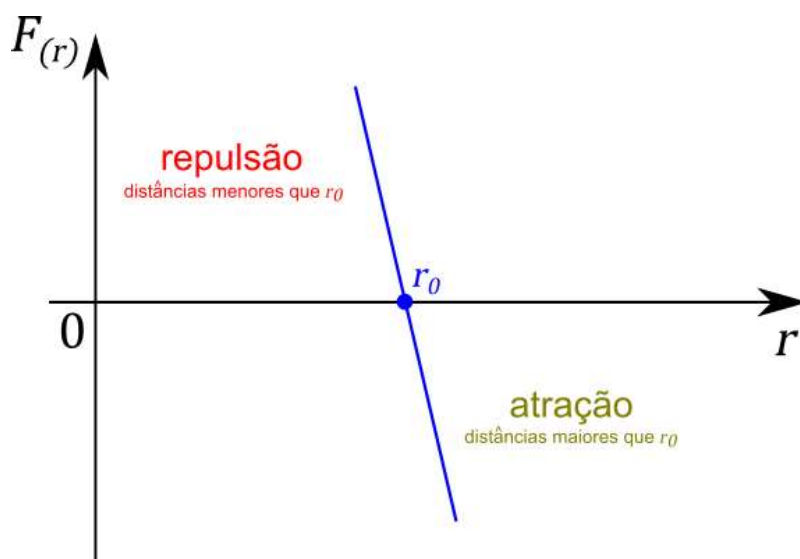


Figura 10 - Gráfico da interação eletromagnética em função da distância (r) entre duas moléculas.

Fonte: O autor.

Então, quando duas moléculas estão afastadas por uma distância maior que r_0 , pontos a direita do gráfico, existe uma atração eletromagnética entre as moléculas (Figura 11), fazendo com que quando a teia for esticada ela retorne à posição de equilíbrio, que é o r_0 . Note que o gráfico da força em função da distância é linear, pois voltaremos a essa informação mais adiante.

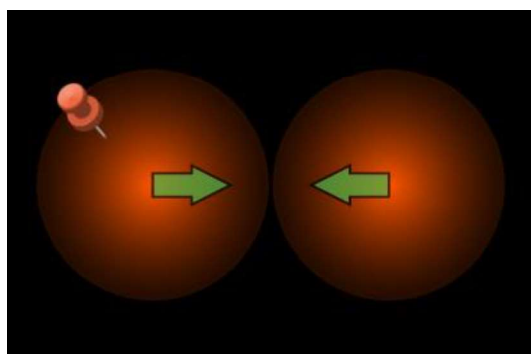


Figura 11 – Atração eletromagnética (Átomos separados por uma distância maior que r_0).

Fonte: print screen PhET – Interações Atômicas.

Agora quando as moléculas estão muito próximas, com distâncias menores que o tamanho de um raio atômico, as moléculas sofrem uma repulsão eletromagnética, fazendo com que quando a teia, que está comprimida, retorne ao tamanho inicial (Figura 12).

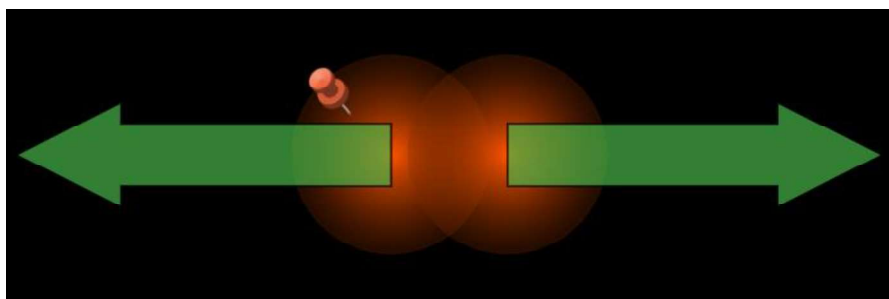


Figura 12 – Repulsão eletromagnética (Átomos separados por uma distância menor que r_0).

Fonte: print screen PhET – Interações Atômicas.

Dessa maneira, o r_0 é a distância na qual as forças se anulam, não havendo nem atração ou repulsão eletromagnética. Por isso que chamamos r_0 de ponto de equilíbrio.

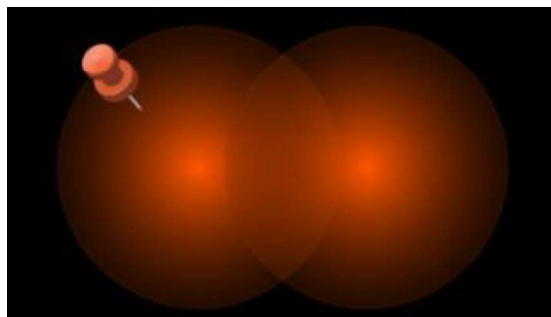


Figura 13 – Ponto de equilíbrio (Átomos separados por uma distância igual a r_0).

Fonte: print screen PhET – Interações Atômicas.

É essa variação entre atração e repulsão eletromagnética que faz com que a minha teia tenda a voltar para seu estado inicial (posição de equilíbrio) sempre que for esticada ou comprimida. Isso permite que eu me balance de prédio em prédio, consiga lutar com meus inimigos e salvar pessoas.

Algo muito importante que eu não posso deixar de lembrar é que essa força que faz a minha teia sempre retornar a sua posição inicial é proporcional, de maneira linear, ao quanto esticada ou comprimida a teia está. Dessa maneira, quanto mais esticada, maior é o módulo da força que “puxa” a teia para a sua posição de equilíbrio; E quanto mais comprimida a teia estiver, maior é a força que “empurra” a teia de volta para a sua posição de equilíbrio. Já que essa força pode descrever o comportamento de uma mola, ela recebe o nome de força elástica ($\vec{F}_{el}$).

Por fim, perceba que a força elástica que atua na minha teia é sempre de sentido contrário ao movimento sofrido pela própria teia, então se o deslocamento é para a direita, a força aponta para a esquerda. Já se o deslocamento for para a esquerda, a força aponta para a direita.

VAMOS PRATICAR I

1. Existem apenas quatro forças fundamentais no Universo: força eletromagnética, força gravitacional, força nuclear forte e nuclear fraca. Todas as outras forças são derivadas dessas quatro. Até mesmo a força elástica, que é a força que explica o comportamento das teias do Homem-Aranha, é derivada de uma dessas quatro forças fundamentais. Faça um

pequeno texto explicando como é possível que a força eletromagnética seja a força fundamental que de origem a força que explica o funcionamento das teias do Homem-Aranha, sabendo que a teia se comporta como uma mola ideal, podendo ser comprimida ou esticada, mas sempre tende a retornar a sua posição de equilíbrio. Ps: você pode incluir desenhos para complementar seu texto.

2. Quando duas moléculas que formam a teia do Homem-Aranha estão afastadas por distâncias maiores que a de um raio atômico, existe uma atração eletromagnética entre as moléculas, fazendo com que quando a teia for esticada ela retorne à posição de equilíbrio. Agora quando as moléculas da teia estão muito próximas, com distâncias menores que o tamanho de um raio atômico, as moléculas sofrem uma repulsão eletromagnética, fazendo com que quando a teia, que está comprimida, retorne ao tamanho inicial. Explique, através de desenhos, texto ou gráficos porquê esse fenômeno ocorre com as molas e com a teia do Homem-Aranha.

Bem, agora que você já sabe como funciona a minha teia, precisamos aprender a matematizar essa força, pois assim podemos prever seus comportamentos e evitar tragédias como a que acabou com a morte da minha ex-namorada Gwen Stacy – nif sniff – mas, como isso ocorreu em 1973 e atualmente ela está viva (isso é muito comum no Universo dos quadrinhos), usei essa tragédia como aprendizado para melhorar minha teia sem ficar triste.



Figura 14 – Homem-Aranha (4).

Fonte: print screen do Filme Homem-Aranha: De Volta ao Lar.

Então, nas proximidades de r_0 , região em destaque no gráfico, a curva que descreve a força de atração e repulsão pode ser aproximada a uma reta – viu!? Na página 9 eu falei que a gente voltaria a esse assunto.

Você se lembra como é descrita a equação da reta?

Vamos relembrar aqui rapidinho: $y = ax + b$

A equação da reta, $y = ax + b$, descreve o fenômeno, mas na Física o pessoal traz um sentido específico para cada elemento de uma equação. Se você olhar para o gráfico da figura 8 vai perceber que o eixo y é a força de atração ou repulsão, que chamaremos de força elástica. O coeficiente de inclinação da reta a é negativo e a sua inclinação depende dos elementos químicos que formam as moléculas que estão atraindo ou repelindo, que chamaremos de constante elástica. O eixo x representa a distância entre as moléculas. Dessa maneira o um Físico chamado de Robert Hooke (esse não era verde e irritado) conseguiu reescrever a equação da reta, como:

$$\vec{F}_{el} = -k\vec{x}$$

Onde $\vec{F}_{el}$ é a força elástica, dada em N no SI; k é a constante elástica, dada em N/m no SI; $\vec{x}$ é a deformação da mola em relação a posição de equilíbrio, medida em metros no SI.

Como dito antes, algo muito importante a ser destacado é que a força elástica sempre tem mesma direção que o deslocamento, mas o sentido é sempre o contrário, como mostra a imagem a seguir:

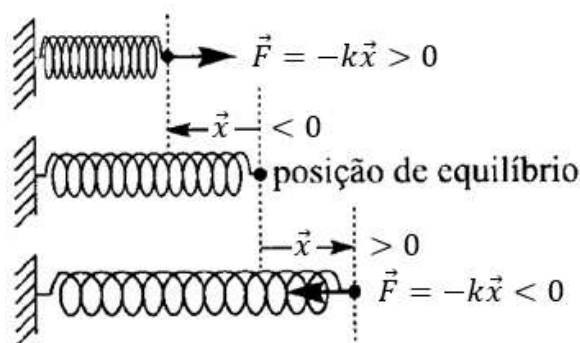


Figura 15 – Lei de Hooke.

Fonte: (NUSSENZVEIG, 2002, p. 86), Adaptado pelo autor.

Então, se a mola é esticada para a direita, a força elástica terá o sentido da esquerda. Agora se a mola for esticada para a esquerda, a força elástica terá o sentido da direita (*Figura 14*). Sempre com sentido oposto ao deslocamento, pois essa é uma força restauradora.

Agora que discutimos a parte conceitual e a parte matemática da força elástica, podemos analisar o acidente que levou a morte da minha ex-namorada:

Durante uma das minhas aventuras, o Duende Verde sequestrou a Gwen Stacy e a jogou de cima do alto da torre da ponte George Washington, como mostra essa tirinha:



Figura 16 – Morte da Gwen Stacy.

Fonte: A Noite em que Gwen Stacy Morreu, The Amazing Spider-Man #121-122

Mesmo conseguindo salvá-la da queda, Gwen Stacy acaba falecendo.... Não foi a queda que a matou, mas a forte aceleração imprimida pela teia acabou causando a morte da minha ex-namorada.... Não se esqueça que atualmente ela está viva.

Na época a minha teia era confeccionada com um material de constante elástica igual 550 N/m , o que fez ela esticar cerca de 10 m após grudar na Gwen o que gerou uma forte aceleração.

Para que isso nunca mais se repetisse, tive que calcular qual a desaceleração que a matou. Vou demonstrar os cálculos para vocês, mas antes de ir para a desaceleração, temos que calcular a força elástica exercida pela teia:

Vamos partir da equação da força elástica:

$$\vec{F}_{el} = -k\vec{x}$$

Agora vamos substituir a constante elástica k por 550 N/m e a deformação da mola $\vec{x}$ por 10 m , pois foi deslocamento que a mola sofreu após prender na Gwen:

$$F_{el} = -550 \text{ N/m} \cdot 10 \text{ m}$$

Multiplicando:

$$F_{el} = -5500 \text{ N}$$

O resultado da força elástica é negativo, pois isso representa que a força aponta para o sentido contrário do movimento, como foi mostrado na *Figura 11*.

Pronto, agora podemos calcular a aceleração sofrida pela Gwen através da força resultante.

Mas, para calcular a força resultante temos que partir do diagrama de forças que atuam na Gwen Stacy durante a sua queda (*Figura 16*). Por sorte eu sempre carrego papel e caneta comigo, mas peço desculpas por não ser um bom desenhista...

Para saber mais acesse ao vídeo do Khan Academy sobre [Introdução às e a Lei de Hooke](#).

A boneca em preto representa a minha ex-namorada, o vetor $\vec{F}_{el}$ em azul representa a força elástica causada pela teia e o vetor $\vec{g}$ em amarelo representa a aceleração da gravidade que atuava nela durante a queda.

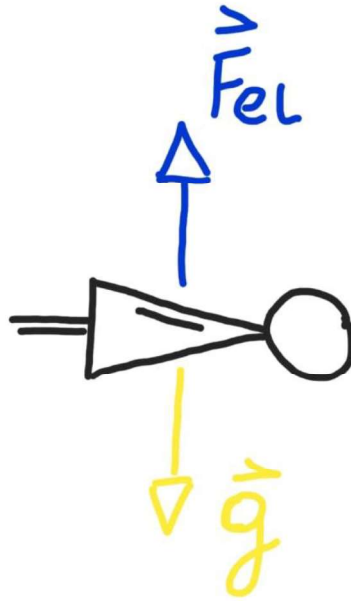


Figura 17 – Diagrama de forças na morte da Gwen Stacy.

Fonte: O autor.

Analisando o diagrama de forças temos que:

$$\vec{F}_R = m\vec{a}$$

Onde a força resultante ($\vec{F}_R$) é a soma de todas as forças que atuam no sistema, então como atuam a força elástica ($\vec{F}_{el}$) e a força peso ($\vec{P}$) temos que:

$$\vec{F}_{el} + \vec{P} = m\vec{a}$$

Onde P é a força peso que é gerada pelo produto da massa e da aceleração da gravidade.

$$\vec{F}_{el} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

Sabendo que a força elástica foi de -5500 N , que a massa da Gwen é aproximadamente 50 kg e, como estamos na Terra, $\vec{g}$ é aproximadamente de 10 m/s^2 , temos que:

$$-5500 \text{ N} + 50 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 50 \text{ kg} \cdot a$$

$$-5500 \text{ N} + 500 \text{ N} = 50 \text{ kg} \cdot a$$

$$-5000 \text{ N} = 50 \text{ kg} \cdot a$$

$$\frac{-5000 \text{ N}}{50 \text{ kg}} = a$$

$$a = -100 \text{ m/s}^2$$

Isso significa que a Gwen Stacy sofreu uma aceleração de 100 m/s^2 no sentido contrário ao do seu movimento. Essa aceleração é equivalente a, aproximadamente, 10 g's , o que seria mais que o suficiente para quebrar o pescoço dela.

Percebam que se a constante elástica da teia fosse diferente eu poderia ter salvo minha ex-namorada.... Que tal você utilizar os conceitos que aprendeu até aqui para salvar a Gwen? Calcule o valor ideal de k para que, nos mesmos 10 metros de deformação, ela fica sã e salva. Não se esqueça de pesquisar qual é a aceleração máxima que um ser humano pode sofrer.

Para aprender um pouco mais sobre os meus outros poderes você pode assistir ao excelente vídeo abaixo.



Figura 18 – Os poderes do Homem-Aranha.

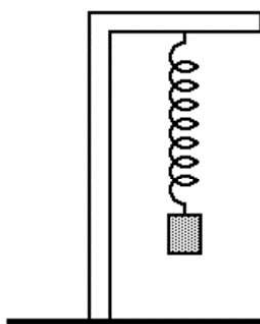
Fonte: print screen do Nerdologia.

VAMOS PRATICAR II

3. A teia que o Homem-Aranha utiliza para se balançar de um lado para o outro ou para lutar contra vilões precisa esticar e comprimir, tendo o seu comportamento aproximado ao de uma mola ideal. Dessa maneira, o amigo da vizinhança pode utilizar a Lei de Hooke ($\vec{F}_{el} = -k\vec{x}$) para fazer algumas previsões e melhorar a sua teia, diminuindo o risco de se pendurar em um prédio e acabar batendo no chão ou de não conseguir prender um inimigo que colocou sua namorada em perigo. Sabendo que $\vec{F}_{el}$ é a força elástica, dada em N no SI; k é a constante elástica, dada em N/m no SI; $\vec{x}$ é a deformação da mola em relação a posição de equilíbrio, medida em metros (m) no SI, escreva um pequeno texto para o Homem-Aranha explicando quais são as relações entre força e deslocamento que a Lei de Hooke nos fornece?
4. O Homem-Aranha está no topo do Empire State Building (prédio de 102 andares que se encontra no centro de Nova York), mas precisa ir para a Torre dos Vingadores (quartel general dos heróis que possui 202 andares) para receber as informações da sua próxima missão. Os prédios são separados por uma distância de 20 m. Qual é a constante elástica da teia do Aranha se ele se pendurou, diretamente, do Empire State Building para a Torre dos Vingadores e, quando se encontrou em equilíbrio estático, com a teia esticada de maneira paralela ao prédio, ficou a uma distância 15 metros do chão? Considere a massa do Homem-Aranha igual a 65 kg e a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 .
5. (G1 - ifsul 2018) Se você esticar uma mangueira de borracha e soltá-la, poderá observar um pulso movendo-se para cima e para baixo da mangueira.
- O que acontecerá com a velocidade desse pulso se você esticar a mangueira com mais força?
- a) Aumentará. c) Permanecerá constante.
b) Diminuirá.

d) Mudará de forma imprevisível.

6. (Uel) Certa mola helicoidal, presa num suporte vertical, tem comprimento de 12 cm. Quando se prende à mola um corpo de 200 g ela passa a medir 16 cm.



Dado:
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

A constante elástica da mola vale, em N/m,

- a) 5,0
- b) $5,0 \cdot 10$
- c) $5,0 \cdot 10^2$
- d) $5,0 \cdot 10^3$
- e) $5,0 \cdot 10^4$

2.2 TRAÇÃO

Em algumas situações eu posso precisar que a minha teia não estique, pois isso pode gerar uma consequência muito ruim, como, por exemplo, acabar comigo me arrastando no chão.

Para criar uma teia ou um corpo inextensível (palavra que a Física usa para dizer que algo não estica, nem contrai) temos que imaginar que as moléculas que constituem a teia permaneçam fixas em r_0 . Dessa maneira não haverá uma elasticidade da teia e, por consequência, não haverá uma força restauradora. Na situação que acabei de descrever, a força aplicada na teia inextensiva é denominada de tração.

Algo que preciso avisar é que corpos inextensíveis são apenas um modelo, pois nada na natureza é realmente inextensível. Todos os corpos possuem propriedades elásticas, mesmo que muito pequenas.

Agora, para entendermos melhor o conceito de tração, vamos analisar uma foto minha onde estou pendurado por uma teia inextensível:



Figura 19 – Homem-Aranha Pendurado.

Fonte: print screen do jogo MARVEL SPIDER-MAN, INSOMNIAC GAMES.

Como eu estou em um planeta onde há a ação da força gravitacional, vamos desenhar a força peso atuando em mim nessa foto:



Figura 20 – Homem-Aranha Pendurado + Força Peso.

Fonte: print screen do jogo MARVEL SPIDER-MAN, INSOMNIAC GAMES.

Como eu me encontro em equilíbrio estático (“nem caindo, nem voando”), há a necessidade de se ter uma força atuando no sentido contrário ao da força peso. Essa força, que é exercida pela teia inextensível, é denominada de tração:



Figura 21 – Homem-Aranha Pendurado + Força Peso + Tensão.

Fonte: print screen do jogo MARVEL SPIDER-MAN, INSOMNIAC GAMES.

Como eu estou em repouso em relação a superfície da Terra, a força resultante ($\vec{F}_R$) que atua sobre mim é nula, pois eu estou em equilíbrio estático. Dessa maneira, temos que a tração é numericamente igual a força peso:

$$\vec{F}_R = \vec{0}$$

$$T - P = 0$$

$$T = P$$

É importante deixar claro que não há uma equação que defina a tração. Cada caso deve ser analisado a partir do diagrama de forças e da segunda lei de Newton.

Vou demonstrar analisando uma cena do meu filme “*de volta ao lar*” onde o vilão Abutre corta um navio ao meio e, para que os civis que estavam dentro do navio não sofressem qualquer acidente, eu tentei segurar a balsa utilizando minhas teias inextensíveis, pois não queria que elas esticassem. Supondo que nessa situação eu tivesse uma massa 55 kg , e estava fazendo uma força (F) igual a 30.000 N em um dos braços para que as partes do navio não se dividam ainda mais e, assim, salvar todos os passageiros. Vamos calcular a tração (T) na sofrida pela teia para que o navio permaneça em equilíbrio.



Figura 22 – Homem-Aranha Pendurado + Força + Tensão.

Fonte: print screen do vídeo Homem-Aranha: De Volta ao Lar | Trailer Dublado | 6 de julho nos cinemas. ¹

Para que as partes da balsa não se dividam ainda mais e fiquem em equilíbrio estático, a somatória das forças deve ser zero:

$$\vec{F}_r = \vec{0}$$

$$F - T = 0$$

$$T = F$$

Nesse caso, a tração é numericamente igual a força que realizei, pois não pode haver força resultante e, conseqüentemente, aceleração para que se atinja o equilíbrio estático.

Então, temos que:

$$T = 30.000 \text{ N}$$

Para saber mais sobre a tensão acesse ao vídeo do Khan Academy sobre a [Trações média e suave](#).

Assim demonstramos como a tensão é calculada. E aprender o conceito e a matemática relacionada a tensão é muito importante, pois além de explicar como eu posso ficar pendurado no teto, esse conceito aborda qualquer situação que envolva um fio inextensível, como em pêndulos ideais, corpos sendo puxados através de cabos, molas, polias fixas e móveis, tendo inúmeras aplicações, principalmente nas engenharias.

VAMOS PRATICAR III

7. Em uma cena do filme Homem-Aranha de 2002, o herói para um trem de 11 vagões que viajava a 80 km/h. Nessa situação em específico, o “miranha” utilizou as teias inextensíveis e para parar o trem por completamente, como apresenta a *Figura 23*.

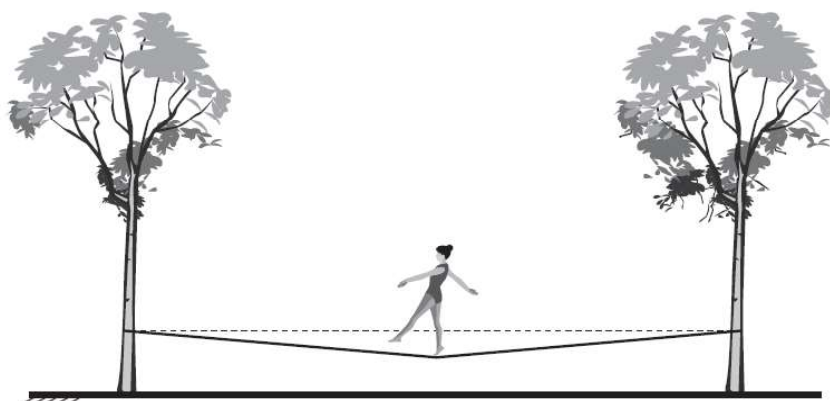


Figura 23 – Homem-Aranha parando o trem.

Fonte: print screen do filme Homem-Aranha 2002.

Sabendo que no momento em que esse sistema entra equilíbrio estático o trem faz uma força de 18.000 N no herói, qual é a tensão em cada uma das duas teia inextensíveis, se ela possuem um ângulo de 60° entre elas?

8. (ENEM) *Slackline* é um esporte no qual o atleta deve se equilibrar e executar manobras estando sobre uma fita esticada. Para a prática do esporte, as duas extremidades da fita são fixadas de forma que ela fique a alguns centímetros do solo. Quando uma atleta de massa igual a 80 kg está exatamente no meio da fita, essa se desloca verticalmente, formando um ângulo de 10° com a horizontal, como esquematizado na figura. Sabe-se que a aceleração da gravidade é igual a 10 m/s^2 , $\cos(10^\circ) = 0,98$ e $\sin(10^\circ) = 0,17$.



Qual é a força que a fita exerce em cada uma das árvores por causa da presença da atleta?

A) $4,0 \times 10^2 \text{ N}$

C) $8,0 \times 10^2 \text{ N}$

E) $4,7 \times 10^3 \text{ N}$

B) $4,1 \times 10^2 \text{ N}$

D) $2,4 \times 10^3 \text{ N}$

Bem, eu vou ficando por aqui, mas feliz por termos conversado sobre como funciona algumas de minhas teias. Foi muito interessante discutir com você sobre como a força elástica tem origem eletromagnética, pois quando os átomos estão afastados por distâncias maiores que o tamanho de seus raios atômicos eles se atraem, mas quando estão separados por distâncias menores que seus raios atômicos eles se repelem.

Eu não posso deixar de falar do gráfico! Nossa, só de lembrar que partimos do gráfico da interação eletromagnética e matematizamos a força elástica com a equação $\vec{F}_{el} = -k\vec{x}$ e destrinchando cada parte dela e relacionando o sinal negativo com o fato da força elástica ser uma força restauradora é de arrepiar o meu sentido aranha. Por fim, aplicamos a Segunda Lei de Newton e exploramos a força que atua em corpos inextensíveis, matematizando e analisando os meus filmes... Nossa, você foi um ótimo interlocutor! Espero que você tenha gostado de mim, pois eu adorei estar estudando esses conceitos com você.

Ps: lembre-se de não contar para ninguém a minha identidade secreta, e que eu sou o Vingador mais legal, mesmo o Thor tendo um martelo mágico e o Homem de Ferro todo o dinheiro do mundo.

REFERÊNCIAS

ARTUSO, Alysson Ramos; SAAVEDRA FILHO, Nestor Cortez. **Física 1**. 2ª. ed. Brasília: Edebê Brasil, 2017. 296 p. v. 1.

BOLLELA, Valdes R. et al. **Aprendizagem baseada em equipes: da teoria à prática** In: Simpósio: Tópicos Fundamentais Para a Formação e o Desenvolvimento Docente para Professores dos Cursos da Área da Saúde, VII. São Paulo. 2014.

FERRARO, Nicolau Gilberto; RAMALHO JUNIOR, Francisco; SOARES, Paulo Toledo. **Os Fundamentos da Física**. 10ª. ed. São Paulo: Moderna, 2009. 504 p. v. 1.

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. **Lições de física de Feynman**. Edição definitiva. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 552 p. v. 1.

HALLIDAY, David; RESNICK, Roberto; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Mecânica**. 9ª. ed. [S.l.]: LTC, 2012. 356 p. v. 1.

KRUG, Rodrigo de Rosso et al. O “Bê-Á-Bá” da Aprendizagem Baseada em Equipe. **Revista Brasileira de Educação Médica**, [s.l.], v. 40, n. 4, p.602-610, dez. 2016. UNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1981-52712015v40n4e00452015>. Acesso em: 20 jun. 2020.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica: Mecânica**. 4. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2002. 336 p. v. 1.

OLIVEIRA, Tobias Espinosa de; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Aprendizagem Baseada em Equipes (Team-Based Learning): um método ativo para o Ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s.l.], v. 33, n. 3, p.962-986, 15 dez. 2016. Universidade Federal de

Santa Catarina (UFSC). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p962>. Acesso em: 20 jun. 2020.

PhET. INTERACTIVE SIMULATION. **Interações Atômicas**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/atomic-interactions/latest/atomic-interactions_pt_BR.html. Acesso em: 20 jun. 2020.

PhET. INTERACTIVE SIMULATION. **Molas e Massas**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/masses-and-springs. Acesso em: 20 jun. 2020.

PhET. INTERACTIVE SIMULATION. **Lei de Hooke**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/hookes-law/latest/hookes-law_pt_BR.html. Acesso em: 20 jun. 2020.

APÊNDICE A – ROTEIRO EXPERIMENTAL

Disciplina: Física

Professor(a): Vinicius Marquez

Turma: 1 EM

ATENÇÃO: Leia atentamente toda atividade experimental antes de realizar qualquer procedimento e siga as instruções descritas nessa atividade.

ROTEIRO EXPERIMENTAL

OBJETIVO

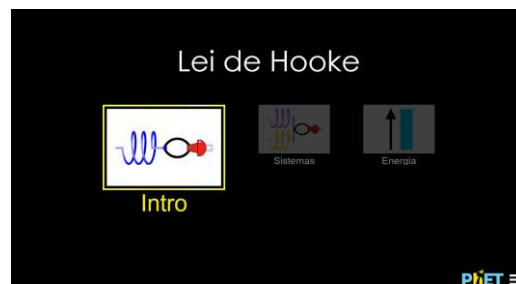
Experimentar, de maneira remota, os conceitos aprendidos nas videoaulas.

MATERIAIS NECESSÁRIOS

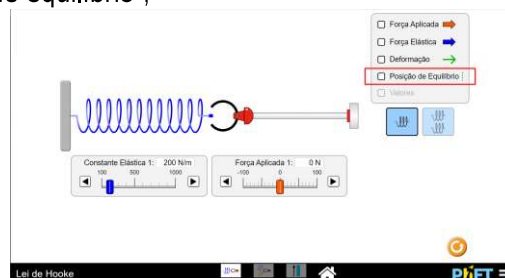
- Dispositivo eletrônico (Computador, notebook ou smartphone);
- Acesso à internet;
- Editor de texto.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E DISCUSSÃO

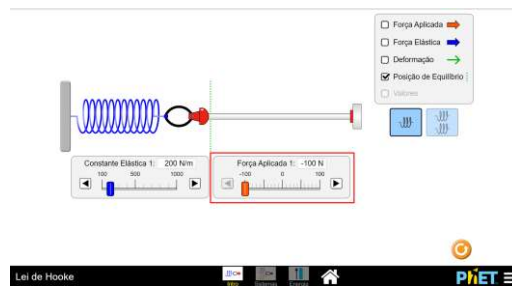
1. Acesse o link: https://phet.colorado.edu/sims/html/hookes-law/latest/hookes-law_pt_BR.html e clique no retângulo “Intro”;



2. Clique na marcação “posição de equilíbrio”;

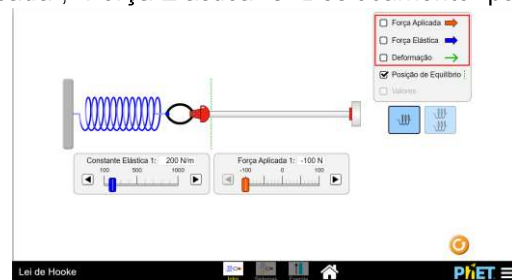


3. Mova a barrinha “força aplicada” para -100 N ;

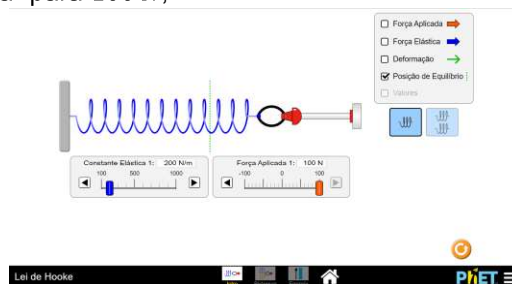


4. Para qual lado sentido (esquerda, direita) aponta a força aplicada pelo braço robótico? E a deformação da mola ocorreu para qual sentido? E qual o sentido da força elástica?

5. Marque as opções “Força Aplicada”, “Força Elástica” e “Deslocamento” para conferir suas respostas.



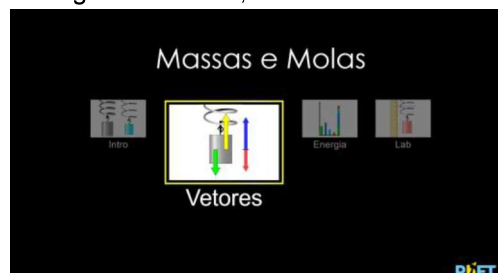
6. Mova a barrinha “força aplicada” para 100 N;



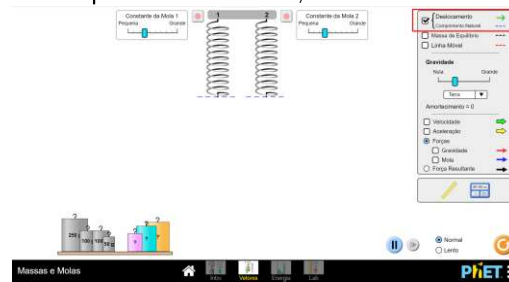
7. Para qual lado sentido (esquerda, direita) aponta a força aplicada pelo braço robótico? E a deformação da mola ocorreu para qual sentido? E qual o sentido da força elástica?

8. A partir do experimento e das respostas dos tópicos “4” e “7”, faça uma pequena explicação que relacione os sentidos da força aplicada com a deformação e com a força elástica.

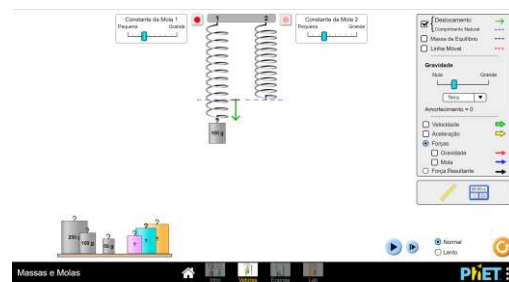
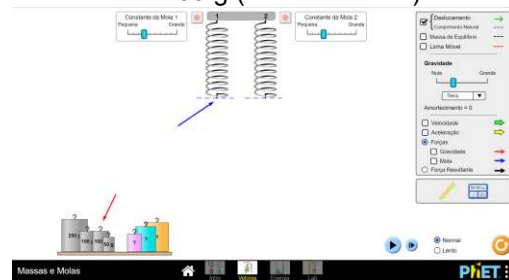
9. Acesse o link: https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs/latest/masses-and-springs_pt_BR.html e clique no retângulo “Vetores”;



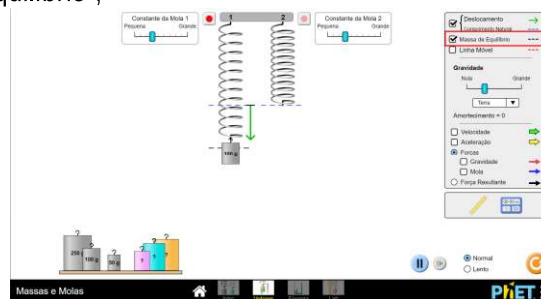
10. Ative a opção “Deslocamento” “Comprimento Natural”;



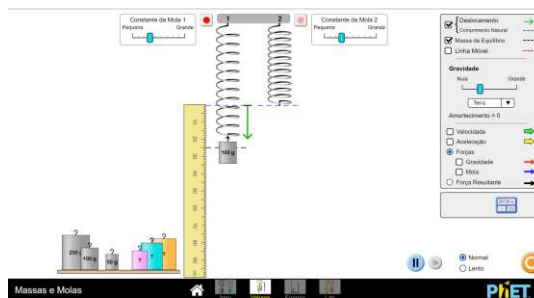
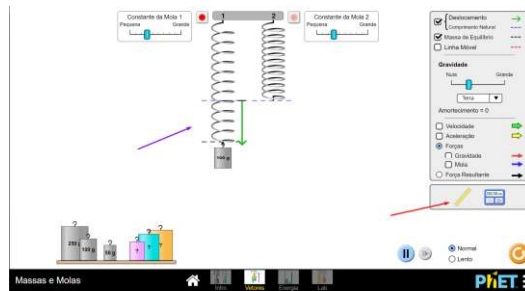
11. Com o cursor do mouse, leve a massa de 100 g (seta vermelha) até a mola (seta azul);



12. Ative a opção “Massa de equilíbrio”;



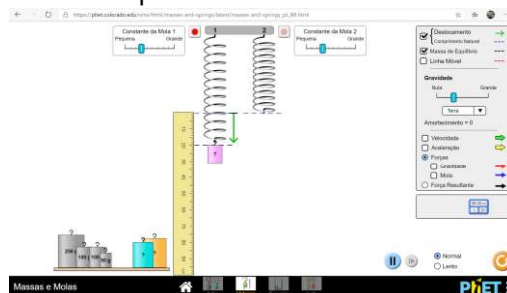
13. Com o cursor do mouse, use a régua (seta vermelha) para medir a deformação (seta azul) sofrida pela mola;



14. O que significa essa linha “Massa de Equilíbrio”?

15. Qual é a constante elástica da mola?

16. Retire a massa de 100 g da mola e coloque o menor das massas misteriosas no lugar;



17. Qual o módulo da massa dessa massa misteriosa?

18. Repita o procedimento 16 para a massa misteriosa do meio;

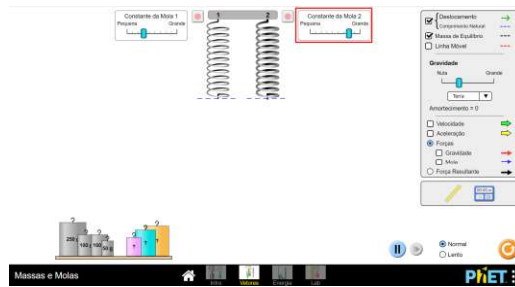
19. Qual o módulo da massa dessa massa misteriosa?

20. Repita o procedimento 16 para a maior massa misteriosa;

21. Qual o módulo da massa dessa massa misteriosa?

22. Por que a mola fica oscilando e não para na sua posição de equilíbrio?

23. Mova a barra da “Constante da Mola 2” quatro posições para a esquerda;



24. Repita os procedimentos “11”, “12” e “13”, mas agora na mola 2 para calcular a sua constante elástica;
25. Matematicamente, qual a relação entre o deslocamento sofrido pela mola e a constante elástica da mola? É linear ou quadrática? Inversa ou diretamente proporcional?

ANEXO A – EXERCÍCIOS APLICADOS

1. Existem apenas quatro forças fundamentais no Universo: força eletromagnética, força gravitacional, força nuclear forte e nuclear fraca. Todas as outras forças são derivadas dessas quatro. Até mesmo a força elástica, que é a força que explica o comportamento das teias do Homem-Aranha, é derivada de uma dessas quatro forças fundamentais. Faça um pequeno texto explicando como é possível que a força eletromagnética seja a força fundamental que de origem a força que explica o funcionamento das teias do Homem-Aranha, sabendo que a teia se comporta como uma mola ideal, podendo ser comprimida ou esticada, mas sempre tende a retornar a sua posição de equilíbrio. Ps: você pode incluir desenhos para complementar seu texto.
2. Quando duas moléculas que formam a teia do Homem-Aranha estão afastadas por distâncias maiores que a de um raio atômico, existe uma atração eletromagnética entre as moléculas, fazendo com que quando a teia for esticada ela retorne à posição de equilíbrio. Agora quando as moléculas da teia estão muito próximas, com distâncias menores que o tamanho de um raio atômico, as moléculas sofrem uma repulsão eletromagnética, fazendo com que quando a teia, que está comprimida, retorne ao tamanho inicial. Explique, através de desenhos, texto ou gráficos porquê esse fenômeno ocorre com as molas e com a teia do Homem-Aranha.
3. A teia que o Homem-Aranha utiliza para se balançar de um lado para o outro ou para lutar contra vilões precisa esticar e comprimir, tendo o seu comportamento aproximado ao de uma mola ideal. Dessa maneira, o amigo da vizinhança pode utilizar a Lei de Hooke ($\vec{F}_{el} = -k\vec{x}$) para fazer algumas previsões e melhorar a sua teia, diminuindo o risco de se pendurar em um prédio e acabar batendo no chão ou de não conseguir prender um inimigo que colocou sua namorada em perigo. Sabendo que $\vec{F}_{el}$ é a força elástica, dada em N no SI; k é a constante elástica, dada em N/m no SI; $\vec{x}$ é a deformação da mola em relação a posição de equilíbrio, medida em metros (m) no SI, escreva um pequeno texto para o Homem-Aranha explicando quais são as relações entre força e deslocamento que a Lei de Hooke nos fornece?
4. O Homem-Aranha está no topo do Empire State Building (prédio de 102 andares que se encontra no centro de Nova York), mas precisa ir para a Torre dos Vingadores (quartel general dos heróis que possui 202 andares) para receber as informações da sua próxima missão. Os prédios são separados por uma distância de 20 m. Qual é a constante elástica da teia do Aranha se ele se pendurou, diretamente, do Empire State Building para a Torre dos Vingadores e, quando se encontrou em equilíbrio estático, com a teia esticada de

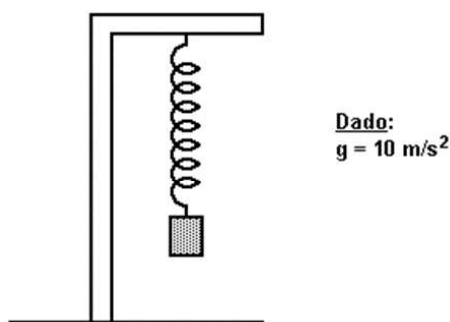
maneira paralela ao prédio, ficou a uma distância 15 metros do chão? Considere a massa do Homem-Aranha igual a 65 kg e a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 .

5. (G1 - ifsul 2018) Se você esticar uma mangueira de borracha e soltá-la, poderá observar um pulso movendo-se para cima e para baixo da mangueira.

O que acontecerá com a velocidade desse pulso se você esticar a mangueira com mais força?

- a) Aumentará
b) Diminuirá
c) Permanecerá constante
d) Mudará de forma imprevisível

6. (Uel) Certa mola helicoidal, presa num suporte vertical, tem comprimento de 12 cm. Quando se prende à mola um corpo de 200 g ela passa a medir 16 cm.



A constante elástica da mola vale, em N/m,

- a) 5,0
b) $5,0 \cdot 10$
c) $5,0 \cdot 10^2$
d) $5,0 \cdot 10^3$
e) $5,0 \cdot 10^4$

7. Em uma cena do filme Homem-Aranha de 2002, o herói para um trem de 11 vagões que viajava a 80 km/h. Nessa situação em específico, o “miranha” utilizou as teias inextensíveis e para parar o trem por completamente, como apresenta a *Figura 23*.

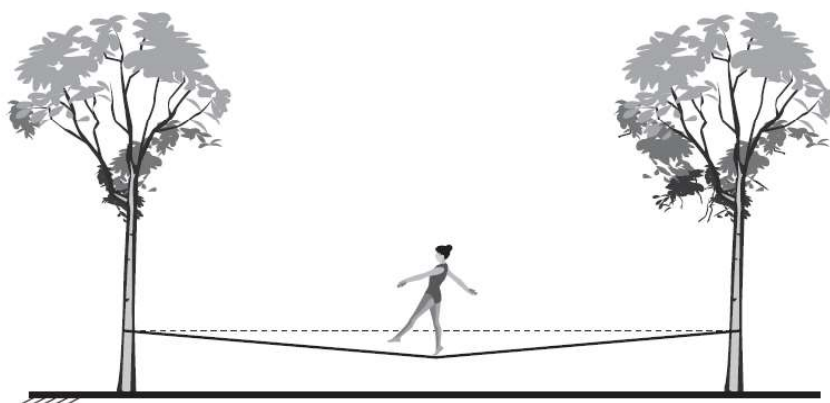


Figura 23 – Homem-Aranha parando o trem.

Fonte: print screen do filme Homem-Aranha 2002.

Sabendo que no momento em que esse sistema entra em equilíbrio estático o trem faz uma força de 18.000 N no herói, qual é a tensão em cada uma das duas teia inextensíveis, se elas possuem um ângulo de 60° entre elas?

8. (ENEM) *Slackline* é um esporte no qual o atleta deve se equilibrar e executar manobras estando sobre uma fita esticada. Para a prática do esporte, as duas extremidades da fita são fixadas de forma que ela fique a alguns centímetros do solo. Quando um atleta de massa igual a 80 kg está exatamente no meio da fita, essa se desloca verticalmente, formando um ângulo de 10° com a horizontal, como esquematizado na figura. Sabe-se que a aceleração da gravidade é igual a 10 m/s^2 , $\cos(10^\circ) = 0,98$ e $\sin(10^\circ) = 0,17$.



Qual é a força que a fita exerce em cada uma das árvores por causa da presença da atleta?

- A) $4,0 \times 10\text{ N}$
- B) $4,1 \times 10^2\text{ N}$
- C) $8,0 \times 10^2\text{ N}$
- D) $2,4 \times 10^3\text{ N}$
- E) $4,7 \times 10^3\text{ N}$

ANEXO B – ROTEIRO EXPERIMENTAL

Disciplina: Física

Professor(a): Vinicius Marquez

Turma: 1 EM

Grupo: _____ **Data:** ____/____/____ **Nota:** _____

ATENÇÃO: Leia atentamente toda atividade experimental antes de realizar qualquer procedimento e siga as instruções descritas nessa atividade.

ROTEIRO EXPERIMENTAL

OBJETIVO

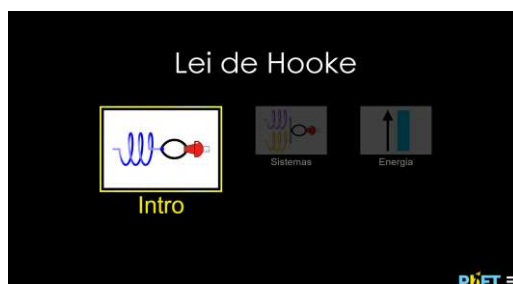
Experimentar, de maneira remota, os conceitos aprendidos nas videoaulas.

MATERIAIS NECESSÁRIOS

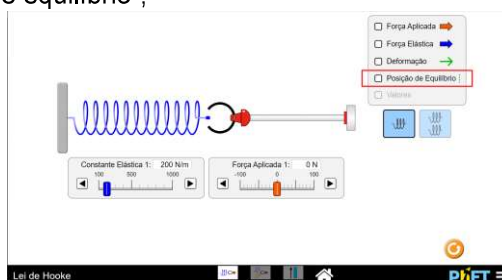
- Dispositivo eletrônico (Computador, notebook ou smartphone);
- Acesso à internet;
- Editor de texto.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E DISCUSSÃO

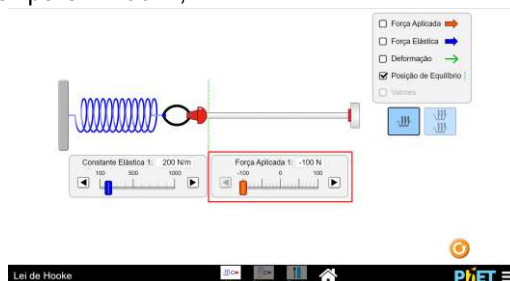
26. Acesse o link: https://phet.colorado.edu/sims/html/hookes-law/latest/hookes-law_pt_BR.html e clique no retângulo “Intro”;



27. Clique na marcação “posição de equilíbrio”;

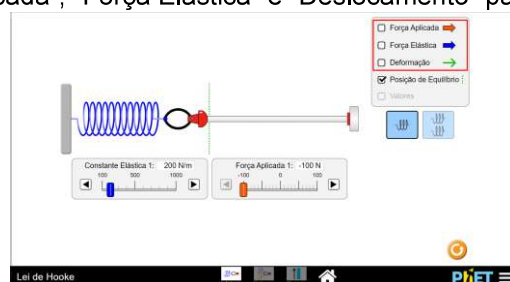


28. Mova a barra “força aplicada” para -100 N ;

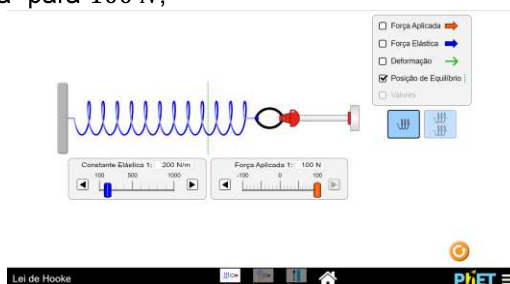


29. Para qual lado sentido (esquerda, direita) aponta a força aplicada pelo braço robótico? E a deformação da mola ocorreu para qual sentido? E qual o sentido da força elástica?

30. Marque as opções “Força Aplicada”, “Força Elástica” e “Deslocamento” para conferir suas respostas.



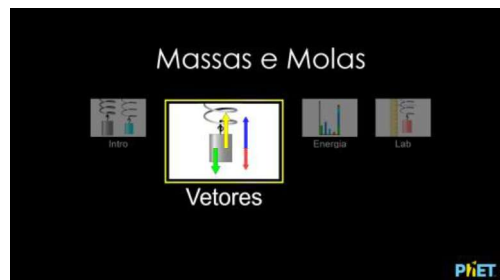
31. Mova a barra “força aplicada” para 100 N ;



32. Para qual lado sentido (esquerda, direita) aponta a força aplicada pelo braço robótico? E a deformação da mola ocorreu para qual sentido? E qual o sentido da força elástica?

33. A partir do experimento e das respostas dos tópicos “4” e “7”, faça uma pequena explicação que relacione os sentidos da força aplicada com a deformação e com a força elástica.

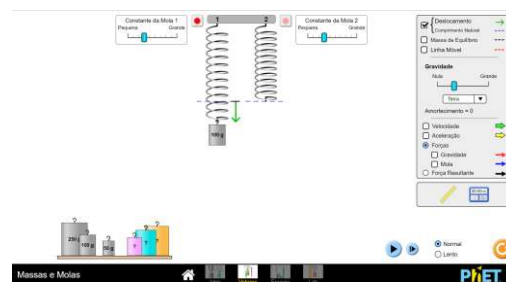
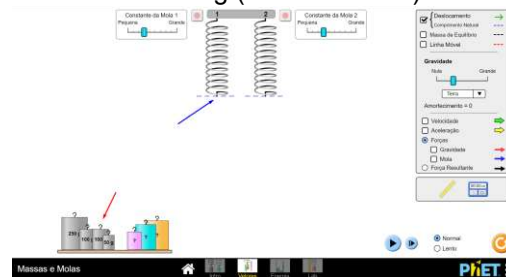
34. Acesse o link: https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs/latest/masses-and-springs_pt_BR.html e clique no retângulo “Vetores”;



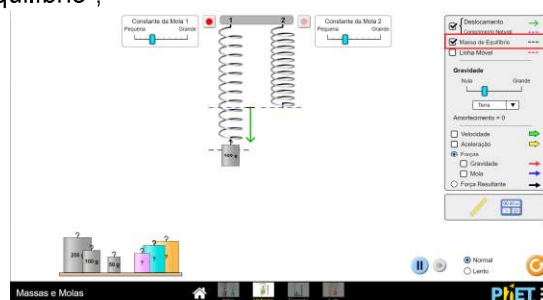
35. Ative a opção “Deslocamento” “Comprimento Natural”;



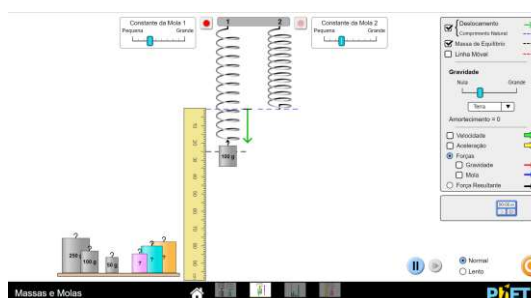
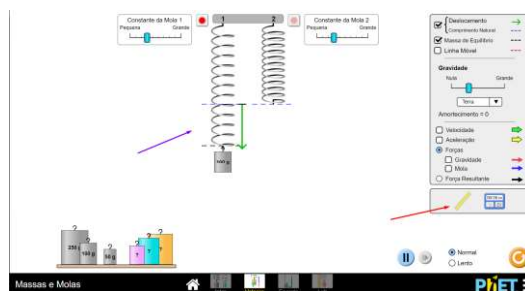
36. Com o cursor do mouse, leve a massa de 100 g (seta vermelha) até a mola (seta azul);



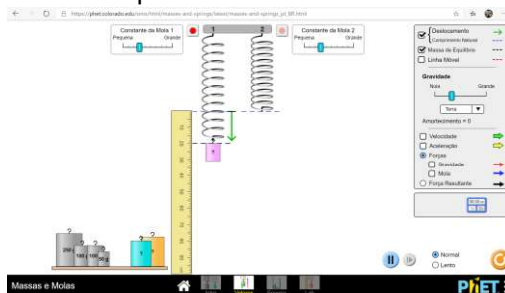
37. Ative a opção “Massa de equilíbrio”;



38. Com o cursor do mouse, use a régua (seta vermelha) para medir a deformação (seta azul) sofrida pela mola;



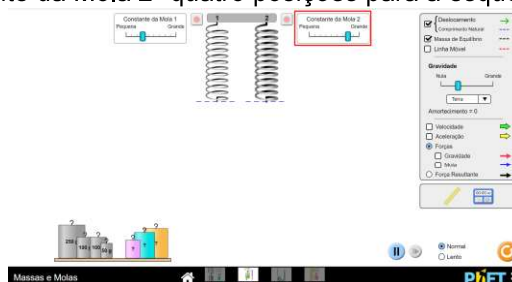
39. O que significa essa linha “Massa de Equilíbrio”?
40. Qual é a constante elástica da mola?
41. Retire a massa de 100 g da mola e coloque o menor das massas misteriosas no lugar;



42. Qual o módulo da massa dessa massa misteriosa?
43. Repita o procedimento 16 para a massa misteriosa do meio;
44. Qual o módulo da massa dessa massa misteriosa?
45. Repita o procedimento 16 para a maior massa misteriosa;
46. Qual o módulo da massa dessa massa misteriosa?

47. Por que a mola fica oscilando e não para na sua posição de equilíbrio?

48. Mova a barra da “Constante da Mola 2” quatro posições para a esquerda;



49. Repita os procedimentos “11”, “12” e “13”, mas agora na mola 2 para calcular a sua constante elástica;

50. Matematicamente, qual a relação entre o deslocamento sofrido pela mola e a constante elástica da mola? É linear ou quadrática? Inversa ou diretamente proporcional?