

**UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA
TRABALHAR FORÇAS NÃO-CONSERVATIVAS**

LUIZ CARLOS GOMES FILHO
ADRIANA DA SILVA FONTES
OSCAR RODRIGUES DOS SANTOS

CAMPO MOURÃO

2019

LUIZ CARLOS GOMES FILHO

**UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA
TRABALHAR FORÇAS NÃO-CONSERVATIVAS**

Produto Educacional apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador (es):

Adriana da Silva Fontes

Oscar Rodrigues dos Santos

CAMPO MOURÃO

2018

1 INTRODUÇÃO

Para descrever, uma série de fenômenos físicos relacionados ao cotidiano, utilizamos os conceitos de força, definido matematicamente por Isaac Newton. Porém, a concepção já era conhecida anteriormente, como um agente capaz em alterar o estado dos corpos, seja em repouso ou movimento uniforme. Capaz de explicar fenômenos simples, desde ações de senso comum as mais complexas ligadas aos avanços tecnológicos e científicos (DOCA, 2016 p.117).

Seguindo a análise, encontra-se a classificação em dois grupos distintos, forças conservativas, ou seja, não perde intensidade ao interagir com outro corpo ou meio, mantem-se constante durante o processo de aplicação. Outras, as não-conservativas ou dissipativas existente, agem sobre os corpos ocasionando perda na intensidade aos sistemas em diversas formas (calor, sons, desgastes entre outros), (NUSSENZVIEG, 2002 p. 142)

Considerando esta classificação de forças, há dificuldades de compreensão por parte dos alunos, para diferenciar as duas classes, muitas vezes, são dadas importância apenas para os sistemas conservativos, os quais levam a aprendizado falho em alguns aspectos.

Inclusive nas DCEs (Diretrizes Curriculares Estaduais) do Paraná, faz severas críticas a situações abordadas em exercícios como, “Considere um corpo de massa m que desliza sobre uma superfície perfeitamente lisa”, ou ainda “desconsidere todo o atrito entre objeto e superfície”. Naturalmente, quando se inicia o conceito de força é trabalhado com sistemas sem atrito, porém, deve-se deixar claro aos estudantes, que são situações hipotéticas, e em nosso cotidiano são pouco presentes. Deficiente formação neste conceito pode criar dificuldades em compreender as diferenças entre forças conservativas e dissipativas (SEED, 2008 p. 25).

Neste sentido, esta é uma proposta de sequência didática para trabalhar forças não-conservativas, que consta em um conjunto de atividades, constituídas de várias ferramentas de ensino, as quais, procuram facilitar o desenvolvimento do tema. Estas atividades podem ser desenvolvidas por sequências ordenadas e fundamentadas significativamente, buscando aprimoramento dos conhecimentos e um aprendizado mais efetivo.

A sequência didática será separada em dois tópicos principais, na primeira parte, dedicaremos ao estudo da força de atrito e suas aplicações no cotidiano, na segunda parte, serão discutidas sobre força de arrasto presente na mecânica dos fluidos. Embora aparentemente sejam temas simples, são de extrema importância para a formação, conceitos que estarão presentes no decorrer de sua vida. Os conteúdos abordados atividades serão desenvolvidos em aproximadamente 10 aulas.

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral das aulas

- Aprimorar o ensino-aprendizagem dos alunos sobre o conceito de forças não-conservação (dissipativas), destacando sua existência e ação sobre os corpos.
- Trabalhar o conteúdo forças não-conservativas (dissipativas) com enfoque CTS (Ciências Tecnologia e Sociedade);
- Propor o conteúdo de maneira potencialmente significativa.
- Propor experimentos que auxiliem o aprendizado.

Pré-requisitos: Leitura, interpretação e análise de conceitos.

2.2 Objetivo específico

- Identificar em quais locais no Cotidiano encontram-se as forças não conservativas.
- Compreender em quais casos elas nos beneficia e em quais nos atrapalham;
- Entender que na vida cotidiana, estas forças estão presentes o tempo todo;
- Conhecer medidas desenvolvidas por meio da tecnologia para reduzir forças dissipativas aumentando a eficiência de diversas máquinas.

3 Dimensões do conteúdo a serem trabalhadas (conceitual, procedimental e atitudinal)

Aprender sobre as forças não-conservativas é essencial para os estudantes compreenderem uma série de situações e aplicações. Diferenciar casos, que apresentam vantagens, ou seja, contribui para a realização da tarefa, outro em desvantagens, prejudicam.

Um fator fundamental ao começar o desenvolvimento destes conceitos é realizar considerações, motivando e colocando os estudantes diante de

situações interativas, como por exemplo, a utilização de materiais potencialmente significativos. Assim, procura-se trabalhar de diversas formas como: por meio de imagens, textos introdutórios, vídeos e promovendo debates para a familiarização do assunto.

Após uma visão geral e compreensão das aplicações, serão desenvolvidas atividades experimentais para a consolidação dos conceitos. Na sequência, atividades com simuladores, que servirão como outra ferramenta importante para o aprendizado, pois, situações descritas teóricas podem ser reproduzidas com seu auxílio. Finalmente, o desenvolvimento de exercícios avaliativos, com objetivo de verificar se os objetivos foram ou não alcançados e se o material auxiliar cumpriu com seu papel.

4 Recursos:

- Datashow;
- Software de apresentação;
- Quadro branco;
- Marcador para quadro branco;
- Textos;
- Vídeos;
- Simuladores;
- Tirinhas de Física;
- Atividades experimentais.

Proposta de avaliação: Questionário para verificação de aprendizagem, leitura de imagens, tirinhas e análise da compreensão dos alunos em relação aos conceitos estudados.

Tabela 1 – Organização da Sequência Didática.

Conteúdo	Atividade desenvolvida	Ferramenta de Ensino
Aulas 1 e 2:	Leitura, discussão de	Textos

Apresentando a força de atrito.	textos e análise de vídeos.	informativos e vídeos.
Aula 3: Aprendendo o que é atrito e a diferença entre o estático e o dinâmico.	Exposição de conteúdo, desenvolvimento a partir de questionário, análise se de figuras e apresentação de equações.	Questionários e exposição oral.
Aula 4: Entendendo a diferença entre as superfícies de contato.	Aplicação de experimentos para compreender a diferença entre as superfícies e o atrito	Experimentos.
Aula 5: Usando simuladores para entender melhor o atrito.	Trabalho com a manipulação de simuladores a fim de compreender situações diversas.	Simuladores computacionais.
Aula 6: Aplicação de atividade para verificação de aprendizado.	Análise de exercícios e com figuras, tirinhas, conceituais e problemas de aplicação.	Exercícios, figuras ilustrativas, tirinhas de Física.
Aula 7: A Força de Arraste.	Aplicação de experimento para introduzir o assunto de maneira mais contextualizada.	Experimento.
Aula 8: Conhecendo os conceitos da força de arraste. .	Apresentação dos conceitos aproveitando os anteriores, conhecendo velocidade limite e influência do fluído e características do corpo na trajetória.	Questionário e exposição oral.
Aula 9: Analisando gráficos para compreender a força de arrasto.	Analisar vídeos realizados a partir da atividade experimental e verificar os conceitos a partir de análise	Software Tracker, vídeos, aplicativo Open-câmera e Excel.

	de vídeos e gráficos.	
Aula 10: Aplicação de atividade para verificação de aprendizado.	Análise de exercícios e com figuras, tirinhas, conceituais e problemas de aplicação.	Exercícios, figuras ilustrativas , tirinhas de Física.

Fonte: Autoria própria.

2 Unidade 1: Força de Atrito

2.1 Aula 1 e 2: Apresentando a força de atrito.

Obs: Como são duas ferramentas complementares, as aulas 1 e 2 estão na mesma unidade. De preferência aplicá-las em aulas geminadas.

Para iniciar a sequência didática, teremos como oportunidade dar ênfase, para que os alunos reconheçam a existência de forças contrárias, a tendência do movimento denominada “Força de Atrito”, será desenvolvida com um conjunto de atividades abrangendo diferentes ferramentas de ensino, com finalidade em alcançar aprendizagem significativa.

Correlacionar a Força de Atrito a situações cotidianas, procurando alcançar maneiras de integrar os estudantes à acontecimentos vivenciados, já adquiridos anteriormente. Como ponto de partida, tomaremos a Física relacionada aos pneus, os quais apresentam nos componentes fontes de informações riquíssimas, aguçando curiosidades envolvidas, muitas vezes observadas, porém, não refletidas.

Para isso, temos como proposta a atividade da primeira aula, a realização de leitura dinâmica, após, direcionar para explanação das principais ideias e buscar integração entre as partes. Como fonte exploratória, serão aplicados recortes de texto sobre “A Física dos Pneumáticos”, da Revista Brasileira de Física, 2013 disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Pneus.pdf>.

Este texto de apoio, aborda temas complementando informações, às vezes transmitidas por diferentes meios de comunicação, porém sem contextualização adequada para seu entendimento.

Como o texto é um pouco extenso para facilitar a leitura e debate, a turma será dividida em grupos de 4 à 5 alunos, cada um receberá uma parte. Ficarão encarregados de ler, refletir, extrair e expor as principais ideias para levá-las ao debate com os demais colegas. A separação em tópicos para facilitar a divisão em grupos, para a leitura não ficar cansativa, também possibilita a exposição dos conceitos.

1 Texto para a leitura e debate

Física dos Pneumáticos

1.1 Introdução

Os pneumáticos fazem parte do cotidiano há mais de um século, estando presentes em automóveis, aviões, bicicletas, carrinhos de bebê, brinquedos e em várias outras tecnologias que utilizam rodas. Considerados itens imprescindíveis para a sociedade contemporânea, tiveram origem no século XIX e passaram por muitas fases de desenvolvimento, antes de se apresentarem como os conhecemos hoje.

As ideias iniciais do pneu, surgiram quando uma goma de borracha, utilizada para impermeabilizar tecidos, foi depositada sobre uma roda. Esta tentativa não foi muito bem-sucedida, pois devido às flutuações de temperatura do ambiente e ao surgimento de fluxos de energia na forma de calor da borracha/tecido para o ambiente e vice-versa, a roda emborrachada, assim construída, manifestou sua deficiência ao derreter-se.

Por volta do ano de 1830, Charles Goodyear, acidentalmente, percebeu que, ao elevar a temperatura da borracha, com a presença de enxofre, conseguia manter as propriedades de elasticidade da goma de borracha em

um amplo intervalo de temperaturas. Surgiu assim o processo que, atualmente, denominamos de vulcanização.

Contudo, o processo de patente do pneumático somente foi solicitado no ano 1845 pelos irmãos Michelin. Mais uma etapa da história dos primórdios do pneu ocorreu no ano de 1845, quando Robert Thompson inseriu um invólucro repleto de ar no interior dos pneus de borracha sólida. Transcorridos quarenta e três anos da invenção de Thompson, John Boyd Dunlop, veterinário escocês, teve a mesma ideia e "reinventou" o pneu, ao improvisar uma câmara de ar de borracha flexível, envolvendo-a em uma lona e montando-a em um aro de madeira.

Dunlop conseguiu a patente pela invenção da roda pneumática, abrindo o caminho para o "século da mobilidade". Desde então, os pneumáticos passaram por várias etapas de desenvolvimento, a fim de permitirem maior segurança, durabilidade e conforto para os usuários. Essas modificações vão desde a inserção de lonas estabilizadoras, garantindo maior área de contato entre o pneu e o solo, até tecnologias mais contemporâneas, como o Sistema de Manutenção de Ar (AMT), desenvolvido recentemente nos laboratórios da Goodyear, o qual permitirá que os pneus mantenham a pressão ideal sem a necessidade de quaisquer bombas externas.

Você já parou para se questionar por que os pneus de automóveis derrapam ou emitem sons agudos quando adentram em uma trajetória curva ou quando "se pisa fundo no acelerador"? Ou por que os pneus de automóveis de Fórmula 1 têm sua temperatura aumentada com mantas térmicas e são mais largos que os pneus convencionais? Ou a razão de os pneus de bicicletas de corrida serem mais estreitos do que os das bicicletas de passeio? Ou por que os pneus de tratores possuem água no seu interior? Ainda, se você já calibrou os pneus de uma bicicleta, deve ter se perguntado por que a pressão é muito maior do que a pressão dos pneus de um automóvel? Estas questões serão respondidas nessa proposta, após leitura e reflexão.

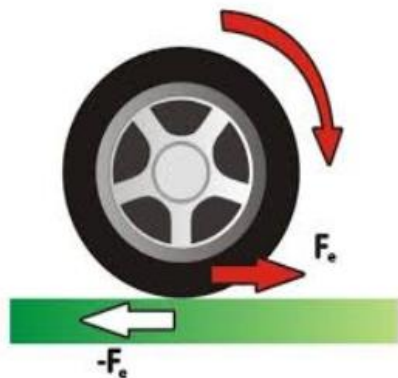
1.2 Discutindo a Física.

Para que possamos responder as questões sugeridas, precisamos recorrer a alguns conceitos básicos de Física. Primeiramente, precisamos discutir o papel do pneu em um veículo. Quando pensamos na física que está por trás do funcionamento de um veículo, o pneu é um dos componentes mais importantes, já que é o responsável por fazer o veículo se movimentar ou parar.

O leitor deve estar se perguntando, como o pneumático é o responsável pelo movimento do automóvel? Sim, o pneu permite que o torque motor do veículo promova uma força de tração, graças ao atrito com a pista de rolamento.

Se lembrarmos das Leis de Newton, poderemos entender que o pneumático nas rodas de tração exerce uma força ($-F_e$) sobre o solo ou pista de rolamento com sentido oposto ao do movimento do carro em relação ao solo, o qual por sua vez exerce uma reação (F_e) de sentido oposto que será responsável por colocar, manter ou acelerar o movimento do veículo, conforme figura 1.

Figura 1 - Forças envolvidas nos pneus ao se deslocarem sobre o pavimento.



Fonte: https://www.google.com.br/search?q=a+fisica+dos+pneumaticos&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwioloTTYfjgAhXeEbkGHWc6CO8Q_AUIDygC&biw=1366&bih=657#imgrc=BB7B3GLY-zBdKM:

Além dessa função, os pneus exercem outros papéis fundamentais para o funcionamento do veículo. Eles são responsáveis, por exemplo, pela mudança de direção do automóvel, pela eficiência na frenagem, pela sua estabilidade, contribuindo também para, juntamente com as molas de

suspensão e com os amortecedores, atenuar as vibrações e solavancos consequentes do pavimento de rodagem.

Quando freamos o automóvel, a situação é diferente daquela que ocorre na tração dos pneus. O freio exerce uma ação na roda, interna ao automóvel, que se opõe ao seu giro. Então, o pneu empurra o chão para frente por atrito e o chão exerce uma força de atrito no pneu para trás, conforme descrito pela Terceira Lei de Newton, reduzindo assim a velocidade do veículo em relação à pista. Assim sendo, a força de atrito e o coeficiente de atrito têm papéis fundamentais no processo de frenagem.

Curiosamente, os pneus novos (sem desgaste) apresentam um coeficiente de atrito estático com a estrada (seca e pavimentada com concreto ou com asfalto) de aproximadamente 0,85, enquanto que o coeficiente de atrito dos pneus já desgastados por algumas centenas de quilômetros rodados é maior, com valor aproximado a 1,0.

Entretanto o desgaste dos pneus não deve ser tal que a profundidade do sulco na banda de rodagem atinja menos do 1,6 mm por outras razões que estão relacionadas à segurança. Se esse desgaste for superior, os pneus extrapolam a margem de segurança e algumas normas voltada para a função dos sulcos e ranhuras ficam prejudicadas.

A diferença no coeficiente de atrito entre os pneus novos e os desgastados sugere que se conteste uma indicação usual quando a troca envolver apenas dois pneus. Ao contrário do que frequentemente é preconizado, a preferência deve ser por pneus novos no eixo traseiro do automóvel. Nas frenagens de emergência os pneus que mais colaboram para o efeito de “segurar” o automóvel são os pneus dianteiros e por isto um pouco gastos trazem maior segurança.

Os pneus novos originam acelerações, em frenagens e em curvas, inferiores àquelas que podem ser conseguidas com pneus desgastados, pois tais acelerações dependem do coeficiente de atrito. Por outro lado, a possibilidade de ocorrência de acelerações maiores reflete em distâncias de frenagem menores, bem como maior segurança nas curvas. Quando os outros dois pneus forem trocados os pneus traseiros serão repassados para a dianteira, colocando-se um par de pneus novos atrás.

1.3 Produção de som através de derrapagens

Agora vamos discutir por que os pneus de automóveis derrapam e por que emitem sons agudos quando adentram em uma trajetória curva ou saem do estado de repouso rapidamente.

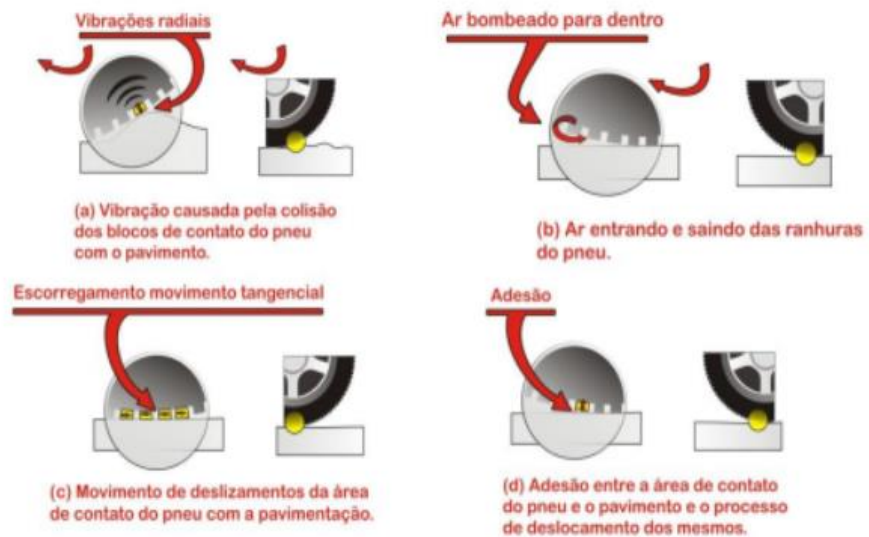
Esse fenômeno pode ser comparado com o impacto de um pequeno martelo de borracha contra a pista de rolamento. Tanto o bloco de contato quanto o pavimento são elásticos (recuperam as formas originais depois de terem sofrido uma deformação e dissipam energia mecânica na forma de calor e de ondas sonoras.

Um segundo mecanismo de produção de som, entre o pneu e a pavimentação, corresponde ao fluxo de ar na área de contato entre o pneu e o pavimento, especificamente nas ranhuras, que são comprimidas e distorcidas. O ar arrastado nessas passagens é comprimido e bombeado para dentro e para fora dos caminhos, devido aos efeitos de compressão e bombeamento do ar para fora das ranhuras do pneu, o som é gerado aerodinamicamente.

Um terceiro mecanismo capaz de gerar som nessa interface é o deslizamento da borracha sobre o pavimento. Quando o veículo automotor acelera ou freia, na área de contato do pneu com o piso, surgem forças de tração ou frenagem, capazes de distorcer a carcaça do pneu. Essa ação de escorregar acontece em um intervalo de tempo pequeno e gera tanto o ruído quanto vibração.

Finalmente, porém não menos importante, existe um mecanismo de produção de ondas sonoras, denominado adesão. O contato entre a banda de rodagem do pneu e o pavimento provoca a aderência entre eles (fenômeno de ligação entre as moléculas das duas superfícies em contato). Quando o bloco de borracha do pneumático e o pavimento perdem o contato, existe a liberação de energia na forma de som, provocada pela vibração da carcaça do pneu, dessa forma ouvimos ruídos, demonstrado na figura 2.

Figura 2 - Sistema representativo das condições que produzem som nos pneus.



Fonte: https://www.google.com.br/search?q=a+fisica+dos+pneumaticos&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwioloTTyfgAhXeEbkGHWc6CO8Q_AUIDygC&biw=1366&bih=657#imgrc=XVcKbRJPezc_QM:

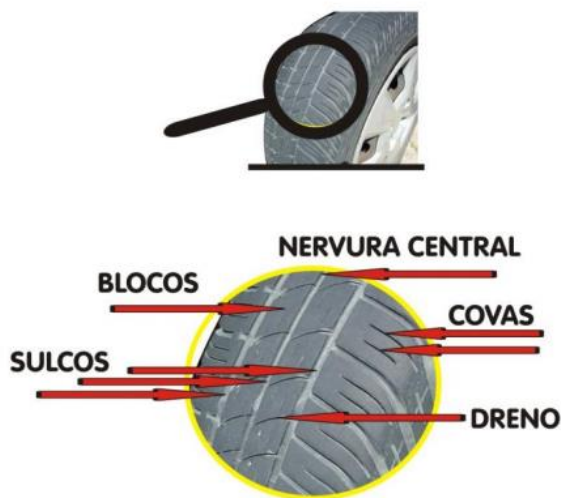
1.4 Sistema de drenagens

Para que possamos entender melhor as derrapagens, precisamos discutir uma característica dos pneumáticos, o desenho da banda de rodagem. Quando possuem ranhuras, os pneus são classificados como pneus de nervura, já os pneus sem nervuras são normalmente nomeados de “slicks” (lisos). Um pneu “slick” é utilizado, unicamente, em piso seco, por oferecer uma maior superfície de contato com o pavimento do que um pneu com nervura, o qual, por sua vez, pode ser utilizado em pisos molhados e secos.

Os pneus com ranhuras possuem banda de rodagem com formas diferentes, cada uma com uma função específica. A banda de rodagem possui uma nervura central, que mantém um contato “circunferencial” do pneu com o piso, proporcionando manobrabilidade e aderência do pneu com a pista de rolagem. Além disso, possui blocos, também denominados de “biscoitos”, responsáveis por proporcionar a tração e a frenagem e sulcos que são responsáveis pela drenagem (expulsão) da água e lama.

Os drenos são sulcos auxiliares, que levam a água para fora da área de contato do pneu com o solo, aumentando sua aderência em piso molhado, reduzindo a possibilidade indesejável de aquaplanagem (formação de uma lâmina de água entre a pista e o pneu, capaz de suprimir o atrito da pista com o pneu). As covas são pequenas ranhuras, que auxiliam na dissipação da energia na forma de calor, quando o pneu está aquecido, figura 3.

Figura 3 - As diferentes ranhuras dos pneus, com finalidade de funções variadas.



Fonte: https://www.google.com.br/search?q=a+fisica+dos+pneumaticos&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwioloTTYfjgAhXeEbkGHWc6CO8Q_AUIDygc&biw=1366&bih=657#imgrc=M5-K-Ds1WqzZ_M:

1.5 Pneus de carro de Fórmula 1

Para entendermos o uso de mantas térmicas nos pneus de Fórmula 1, precisamos perceber a importância da temperatura no desempenho do pneu, pois esta afeta a capacidade que ele tem de suportar as tensões de cisalhamento, isto é, esforços longitudinais ou laterais ao movimento do pneu em relação à pista.

Para baixas temperaturas, o desempenho do pneu será menor já que não resiste às tensões de cisalhamento (deformação quando, sujeito as forças

que que agem provocando deslocamento em planos diferentes, mantendo o volume constante) originando esfarelamento (graining), isto é, a liberação de pequenos pedaços da borracha do pneu, semelhante ao que ocorre quando atritamos uma borracha escolar a um papel. Por analogia, é possível observar que se a borracha escolar for mais mole ou estiver a uma temperatura mais elevada, liberará uma quantidade menor desses pedaços ou farelos de borracha, assim como o pneu quando está na temperatura adequada.

Portanto, o uso de mantas ou cobertores térmicos nas corridas automobilísticas propicia um pré-aquecimento dos pneus, para que eles atinjam mais rapidamente a temperatura ideal de uso, evitando um desgaste desnecessário por esfarelamento.

Normalmente, nas primeiras voltas de uma corrida, o piloto obtém os menores e melhores tempos, justamente porque a temperatura do pneu atinge a faixa ideal, o que proporciona uma melhor aderência à pista de rolamento. Nas voltas seguintes, o pneu se desgasta, ou seja, perde a borracha da banda de rolagem, diminuindo sua capacidade de deformação (elasticidade) e de dissipação de energia na forma de calor, ocasionando uma alteração da sua temperatura e conseqüentemente um esfarelamento maior.

Outra questão interessante que nos propusemos a discutir é por que os pneus de carros de Fórmula 1 são mais largos do que os convencionais, ou seja, qual é afinal a influência da largura dos pneus no seu desempenho durante as corridas? Uma concepção equivocada sobre a largura dos pneus, parte do pressuposto de que a intensidade da força de atrito estática máxima depende fortemente da área das superfícies que se atritam.

Dessa forma, a maior largura dos pneus dos carros de corrida não está a serviço de um ganho substancial (como o senso comum imagina) nas forças de atrito. Então, qual é o real motivo dos pneumáticos dos carros de Fórmula 1 serem mais largos do que os comumente usados em automóveis?

A razão primordial está relacionada ao grande desgaste que os pneus sofrem em uma corrida. Tal desgaste da banda de rodagem depende da pressão (força por unidade de área) exercida na região de contato. Ora, um pneu mais largo, além de estar sujeito a uma pressão menor do que um pneu estreito, também possui mais borracha para ser desgastada, permitindo assim que as trocas de pneus durante as corridas sejam menos frequentes.

1.6 Processos de rolamento

E os pneus de bicicletas de corrida, não são mais estreitos do que os pneus de bicicletas de passeio ou de trilhas? Correto, entretanto nesse caso a explicação deve-se ao fato de que, quanto mais estreito for o pneu, maior será a pressão, de modo que o pneu não se achate demasiadamente. Essa indicação também se aplica aos pneus de automóveis.

Adicionalmente, uma pressão elevada nos pneus diminui a região deformada em contato com a pista de rolamento. Quanto menor é a região deformada (mantido todo o resto constante), menor será a resistência ao rolamento, visto que nas rodas de bicicletas de corrida deseja-se a menor resistência ao rolamento possível. Ou seja, alta pressão implica em pequenas deformações no pneu e, conseqüentemente, diminui a resistência ao rolamento.

A roda ideal seria aquela que não resiste ao rolamento, entretanto permite grandes forças de atrito entre a borracha e asfalto. Nesse caso, o coeficiente de atrito estático é próximo à unidade, possibilitando que o valor da força máxima de atrito seja semelhante ao valor da força normal. O atrito pode ser usado na roda como força motora (nas rodas de tração) ou como força resistente (quando freamos o carro ou a bicicleta) ao movimento do veículo e ainda para fazer curvas. Portanto, não se deseja eliminar atrito em rodas, mas sim minimizar a resistência ao rolamento, mostrados na figura 4.

Figura 4 - Processo de rolamento e as forças envolvidas no processo de deformação.



Fonte: https://www.google.com.br/search?q=a+fisica+dos+pneumaticos&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwioloTTYfjgAhXeEbkGHWc6CO8Q_AUIDygC&biw=1366&bih=657#imgrc=2uXEb2IK8-GOYM:

Uma roda indeformável, sobre uma pista indeformável, não resiste ao rolamento. Ora, para reduzir a distância (d) e, conseqüentemente, a resistência ao rolamento, precisamos reduzir a região deformada. Aumentando a pressão em um pneu reduz-se a região deformada, diminuindo então a resistência ao rolamento. Isso também explica o fato de os pneumáticos de bicicletas de corrida operarem com pressões manométricas de mais de 100 libras/pol² ou 100 psi (mais de 6 atm), enquanto que a pressão em um pneu convencional de automóvel usualmente não passa de 2 atm.

Outra questão interessante é por que a força Normal se desloca para frente? A resposta se relaciona ao fato de que as deformações do pneu não são meramente elásticas, mas possuem uma componente de amortecimento ou de dissipação de energia mecânica. A resistência ao rolamento determina que haja perda de energia mecânica internamente ao pneu, causando o aumento da sua temperatura.

Essa perda pode também acontecer na pista de rolamento, se esta for deformável, como por exemplo, uma pista de areia ou lama. E qual é a explicação para a água no interior dos pneus de tratores? A grandeza física responsável pela tração no veículo é a força de atrito estática, e seu valor máximo é diretamente proporcional à força normal. Portanto, ao adicionar um líquido às rodas de tração do trator, estamos aumentando a intensidade do peso e da força normal.

Logo, o enchimento parcial dos pneus com um líquido, ao invés de inflá-los apenas com ar, permite um incremento na força de atrito estática máxima e o trator poderá ser utilizado com maior propriedade para o seu fim, sem perder a aderência com a pista de rolamento em caso de elevada tração. O lastro dos pneus de um veículo de tração consiste em um método de substituição de até 75% do volume de ar por uma solução de cloreto de cálcio (CaCl_2). O cloreto de cálcio é escolhido principalmente por possibilitar um peso adicional de até 50% sobre o peso da água, sendo isto vantajoso do ponto de vista.

1.7 Processo de calibração

Agora você vai olhar para os pneumáticos dos veículos de uma forma diferente. Vai perceber que o funcionamento de um pneu depende de muita física e que é importante manter sua pressão e temperatura em valores adequados, a fim de evitar desgastes desnecessários das borrachas, melhorando a dirigibilidade do carro, diminuindo o número de acidentes e consumindo menos combustível. Como discutimos, o pneu está cheio de ar ou, no caso dos tratores, de ar, água e cloreto de cálcio, e inevitavelmente esse ar tenderá a escapar para o exterior do pneu, onde a pressão é menor.

Portanto, pouco a pouco o pneu tenderá a diminuir a pressão, deformando-se mais, aumentando a sua temperatura devido à maior resistência ao rolamento. Consequentemente, se o pneu não for mantido a uma pressão adequada, poderá desgastar-se rapidamente e até rasgar-se ou “estourar”.

Desse modo, o ato de verificação da pressão dos pneus (calibragem) deve ser repetido depois de alguns dias. Para realizar esse processo, convém consultar as tabelas de pressão fixadas no manual dos veículos. No entanto, deve-se observar que esses valores tabelados são válidos apenas para “pneus frios”, ou seja, pneus que se encontram na temperatura ambiente, que não tenham rodado nas últimas duas horas ou tenham rodado menos de três quilômetros em baixa velocidade.

Para um pneu que apresente temperatura mais alta, normalmente a pressão será mais alta. Dessa forma, quando desejarmos calibrar um “pneu quente”, a recomendação é que a pressão deva estar cerca de 4 psi (0,3 BAR) acima da pressão do “pneu a frio”. No caso de a pressão de um “pneu quente” estar acima do recomendado pelo manual, nunca se deve retirar o ar desse pneumático, já que normalmente o pneu demora de duas a três horas para esfriar.

Portanto, retirar ar de um pneu quente irá provocar um caso de pressão baixa e todas suas desagradáveis consequências que afetam o desempenho e a durabilidade do pneu, aumentando o consumo de combustível. Desse modo, pense na física dos pneumáticos do seu veículo pelo menos a cada quinze dias ou quando viajar por um trajeto mais extenso. Esse pequeno exercício de física pode redundar em economia de combustível e aumento de segurança ao trafegar! E não se esqueça de medir a pressão do pneumático reserva (estepe).

Fonte: Werlang, R. B. e Silveira, F. L. da. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 30, n. 3, p. 614-627, dez. 2016. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5165538> Acesso em 15/06/2018.

Para finalizar e fazer os alunos refletirem melhor sobre o assunto, será aplicado nesse momento um vídeo com o título “Chuva, Pneus carecas a 120 km/h? Nós testamos? Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6WESL-CYz3A&t=483s> 9mim:44s. Este vídeo discute assuntos importantes, como, veículos estarem em diferentes velocidades, e faz medição das distâncias percorridas após acionamento dos freios, a diferença entre pneus (novos e “carecas”) em pistas secas e molhadas. Como forma de motiva-los a refletir sobre o cenário. Será levantado o tema a discussão e aperfeiçoamento das informações.

Aula 3: Formalizando os conceitos de atrito e a diferença entre o estático e o dinâmico.

Após fazer reflexões e apresentar os conteúdos na primeira aula, temos o momento de construção dos conceitos. Procuraremos iniciar esta aula com as seguintes questões, tabela 2.

Tabela 2 – Questões para verificação e investigação de como se encontram os conceitos básicos de forças e corpos.

Questões
1. Você já tentou empurrar corpos com diferentes massas? Se sim, cite exemplos?
2. Imagine dois corpos, um de massa de 50 kg e outro de 100 kg, qual terá maior dificuldade de empurrar? Por quê?

Fonte: Autoria própria.

Embora, sejam perguntas fáceis e óbvias de serem respondidas, mas contém fundamentos importantes para iniciar a aula. Entre as informações a serem levadas em consideração, uma é fundamental para nós, a intensidade da força colocada para empurrar um corpo. Desta maneira, pode-se começar a apresentar as definições envolvendo força de atrito.

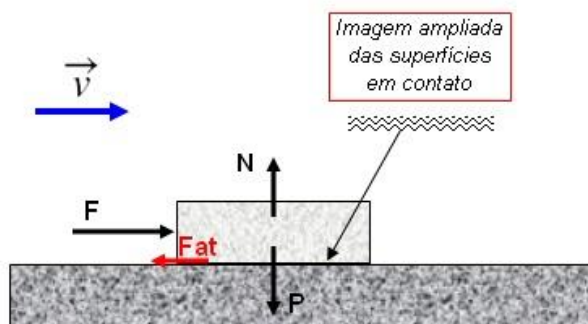
1 Força de atrito.

Nos estudos de movimento até então, para calcularmos a força, ou aceleração dos corpos, consideramos que as superfícies por onde se deslocavam, não exercia nenhuma força contra o movimento. Consideramos desprezível, a força de resistência exercida pela superfície, não sofrem influência.

Assim, por mais lisa que uma superfície seja, sempre existirá força contrária a tendência de movimento chamada de *atrito*. Quando lançamos um objeto sobre uma superfície lisa, ele se desloca por determinada distância, porém sempre atinge o repouso devido à ação da força de atrito (YOUNG, 2016 p. 157). Esta apresenta as seguintes características:

- Se opõe ao movimento;
- Depende da natureza e da rugosidade da superfície (coeficiente de atrito);
- É proporcional à força normal de cada corpo;
- Transforma a energia cinética do corpo em outro tipo de energia que é liberada ao meio, representada na figura 5.

Figura 5 - Forças envolvidas no movimento e a força de atrito localizada entre corpo e superfície.



Fonte: https://www.google.com.br/search?q=for%C3%A7a+de+atrito&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwipm42fs53fAhUCH5AKHT7KA4oQ_AUIDygC&biw=1366&bih=657#imgrc=4XI5_0Vo2mRGgM:

O módulo da força de atrito é definida pela equação 1:

$$F_{at} = \mu \cdot N$$

(1)

Onde:

μ : coeficiente de atrito (grandeza adimensional), depende da superfície, onde se encontra um móvel.

N : Força normal (N), força que a superfície aplica sobre o corpo, e é proporcional da massa do corpo (TIPLER, 2006 p. 130-135).

1.1 Atrito Estático e Dinâmico

Ao empurrarmos um carro, ou outro corpo qualquer sobre uma superfície, é possível observar, para iniciar o movimento é necessária força maior do que para mantê-lo. Isto acontece, pois existem dois tipos de atrito: o estático e o dinâmico caracterizando cada uma das situações.

1. 2 Atrito Estático

É aquele que atua quando não há deslizamento entre corpos. A força de atrito estática é variável e depende da força aplicada, ela atinge um valor máximo quando o corpo está na iminência do movimento. As superfícies apresentam diferentes coeficientes de atrito cinético e estático, a força de atrito estático máxima pode ser calculada pela equação 2:

$$F_{at_{est}} = \mu_e \cdot N$$

(2)

onde: μ_e é o coeficiente de atrito estático.

1. 3 Atrito Dinâmico

O atrito dinâmico surge quando ocorre deslizamento entre as superfícies e os corpos. Quando se aplica força maior, que a força de atrito estático máxima sobre um corpo, ele entra em movimento, e há diminuição no atrito, sendo mais fácil manter o corpo em movimento, que para iniciá-lo. Nesse caso, a força de atrito passa a se chamar dinâmica.

Podemos calcular a força de atrito dinâmico (ou cinética) utilizando a equação 3:

$$F_{at_d} = \mu_d \cdot N$$

(3)

Onde: μ_d é o coeficiente de atrito dinâmico

Fonte: Disponível em

<https://www.sofisica.com.br/conteudos/Mecanica/Dinamica/fa.php> Acesso em 12/07/2018.

Exemplo 1

Considere dois corpos com massa 120kg e 80 kg, estes se encontram sobre uma superfície rugosa onde o coeficiente de atrito é 0,5. Se for aplicado uma força capaz de colocar ambos os corpos em movimento, sobre qual deles teremos uma maior força de atrito? Explique este fato? Caso seja necessário, use a equação para calcular a força de atrito sobre cada um deles.

Exemplo 2

A existência de movimento entre um corpo depende de algumas condições, facilidade de deslizamento, polimento das superfícies entre outras. Considerando um corpo de 150 kg sobre uma superfície que possui coeficientes de atrito estático e cinético respectivamente de 0,4 e 0,3, determine a força de atrito estático máxima e a força necessária para manter o corpo em movimento.

3. 3 Aula 4: Entendendo a diferença entre as superfícies de contato.

1 Introdução

Os questionamentos regem as Ciências, como por exemplo, porque algumas superfícies são mais susceptíveis ao escorregamento? Embora pareça simples, temos muitos fundamentos científicos envolvidos, desde o tipo de material, lubrificação, adesão à superfície e a massa dos corpos, etc.

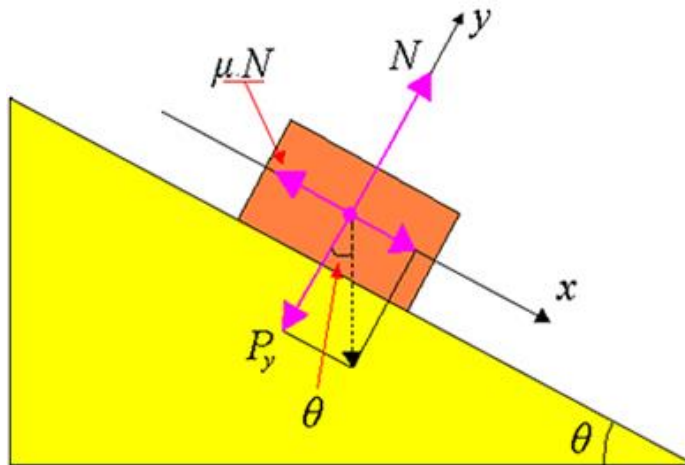
Questionamentos como estes nos levam a refletir sobre as características das superfícies, onde se encontram cada corpo. A diferença de deslizamento pode ser explicada através de aspectos visíveis. É necessário para isso observar a rugosidade, aspereza e polimento, o tipo de material, porque o atrito é uma força de atuação em dimensões microscópicas e depende dessas condições (TIPLER 2006 p. 131-132).

Nesta atividade, vamos determinar os coeficientes de atrito entre as superfícies, verificando a intensidade. Como a força de atrito é proporcional a normal do corpo e ao coeficiente de atrito, quanto maior a massa do corpo e o coeficiente de atrito, maior ela será. O atrito é gerado entre as superfícies dos corpos e o plano de apoio, conhecer o coeficiente de atrito, torna-se possível determinar a força que a superfície exercerá sobre o corpo.

A determinação do coeficiente de atrito estático é possível por meio do ângulo crítico (ângulo no qual um corpo fica na iminência do movimento), deslizamento obtido em um plano inclinado. Para isso, pode-se apoiar um bloco, numa superfície onde é possível fazer variações no ângulo de inclinação (DOCA, 2013 p. 133-134).

Modificando o tipo de material, que será apoiado na superfície, é possível identificar diferentes coeficientes de atrito, comprovando a dependência com o tipo de material que é constituído. Na figura abaixo, temos um diagrama de forças atuando sobre o corpo de prova na existência do movimento apoiado na superfície inclinada, nessa condição, aplicando no sistema a segunda Lei de Newton nas direções x e y, teremos:

Figura 6 - Ângulo crítico em um plano inclinado.



Fonte: https://www.google.com/search?q=calculando+atrito+atrav%C3%A9s+do+ângulo+cr%C3%A9ditico&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiqrvcq4KvcAhXMjVkkHZINA4oQ_AUICygC&biw=1366&bih=651#imgrc=3V47-KJcsU3HM:https_AUICygC&biw=1366&bih=651#imgrc=3V47-KJcsU3HM

Direção x:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$P_x - F_{at} = 0$$

$$P_x = F_{at}$$

$$P \cdot \text{sen} \theta = \mu \cdot N$$

(1)

Na direção y;

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N - P_y = 0$$

$$N = P_y$$

$$N = P \cdot \text{cos} \theta$$

(2)

Usando a equação 2 e substituindo (1) em (2), teremos:

$$P \cdot \text{sen} \theta = \mu \cdot P \cdot \text{cos} \theta$$

$$\mu = \frac{\text{sen} \theta}{\text{cos} \theta}$$

$$\mu = \text{tan} \theta$$

(3)

Esta expressão mostra que o coeficiente de atrito estático depende do ângulo de inclinação do plano, assim podemos desenvolver um experimento no qual é possível identificar o ângulo de inclinação e usando diferentes corpos de prova e determinar o coeficiente de atrito para cada uma delas. A atividade será desenvolvida em grupos de 5 alunos.

2 Experimento 1: Determinação do coeficiente de atrito entre uma superfície através do ângulo crítico.

2.1 Objetivos

- Determinar o ângulo crítico de deslizamento entre um corpo e uma superfície.
- Identificar o coeficiente de atrito dos corpos entre diferentes superfícies.
- Compreender qual superfície apresenta mais atrito e os motivos de serem usadas e determinadas situações.
- Calcular a força de atrito entre as superfícies e um corpo.

2.2 Materiais

- 2 Tabuas de madeira de 100 cm x 30 cm.
- Dobradiças.
- 1 Transferidor de 180°.
- 1 Peso pequeno.
- Linha de náilon.
- Pregos sem cabeça.
- Parafusos.
- 2 Blocos de madeira de massa diferentes, de 5cmX5cm, de preferência cubos.

- Lixas 50 e 100.
- E.V A. (Etileno Acetato de Vinila).
- Cola de isopor.
- 1 Régua.
- Lápis.
- Tesoura.
- Furadeira.
- Calculadora

2.3 Procedimentos

Para esta atividade, embora tenhamos materiais, uma parte já poderá ser confeccionada e levada pronta para aplicação (plano inclinado).

1. Lixar as duas tábuas.
2. Faça dois afundamentos nas duas tábuas para prender a dobradiça.
3. Prenda as duas tábuas na dobradiça de maneira que ela fique voltada para dentro e possibilite movimentação, conforme a figura 7.

Figura 7 - Sistema de acoplamento das tábuas para plano inclinado.



Fonte: Acervo do autor.

4. Faça um orifício na parte central do transferidor e prenda-o no lado oposto da dobradiça, conforme apresentado na figura 8.

Figura 8 - Objeto para o experimento de plano inclinado.



Fonte: Acervo do autor.

5. Perfure a tábua sob o ponto zero do transferidor e coloque um prego em seguida amarre um fio de náilon com um peso na outra extremidade, mostrado na figura 9.

Figura 9 - Atividade experimental para obtenção dos ângulos críticos.



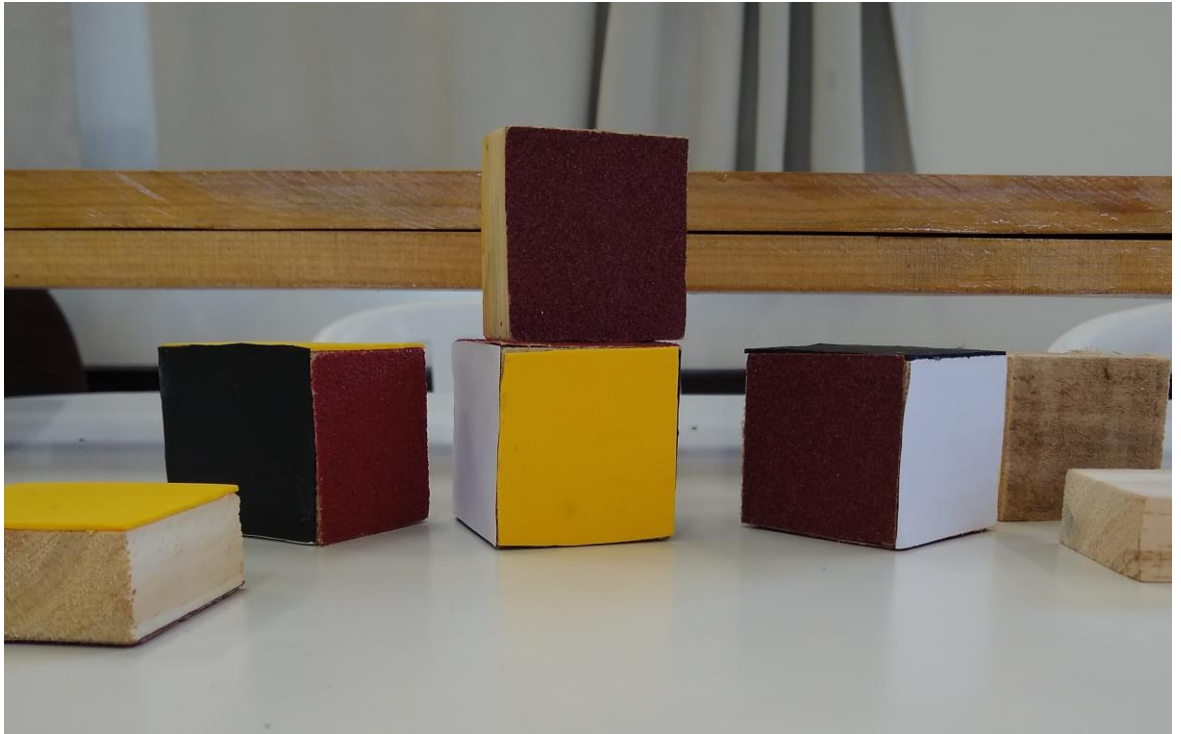
Fonte: Acervo do autor.

Peças para deslizamento.

6. Nos blocos de madeira faça medição e recorte do tamanho de suas faces: pedaços E.V. A., lixas, borracha de pneus e papel.

7. Cole em cada uma das faces um pedaço recortado no item anterior, de preferência do mesmo tamanho, observado na figura 10.

Figura 10 - Resultado final das peças dos blocos de madeira.



Fonte: Acervo do autor.

2.4 Execução do experimento.

1. Coloque o bloco de madeira com uma de suas faces (pode começar pela lixa 50) voltadas para baixo.

2. Levante a tabua gradativamente, até o bloco de madeira estar na iminência de movimentar-se, nesse momento, anote o ângulo obtido, sobre qual material estava em contato com a rampa.

3. Repita o procedimento por mais três vezes.

4. Repita os procedimentos 2 a 4, com as faces do bloco de madeira, com E.V.A., lixas 100, borracha de pneu, papel e somente madeira e compare resultados.

5. Anote os valores de cada um dos ângulos na tabela, em seguida, com o uso de calculadora, encontre os valores de μ e faça comparações pela equação, conforme a tabela 1.

$$\mu_s = \tan\theta$$

(4)

Tabela 3 - Para marcação dos ângulos críticos e os coeficientes de atrito.

Material	Ângulo (θ)	Coefficiente de atrito (μ)
Lixa 50		
Lixa 100		
E. V. A.		
Borracha		
Papel		
Madeira		

Fonte: Autoria própria.

Para análise dos fenômenos observados, em grupo, vamos responder algumas questões.

2.5 Questões.

1. Considerando a situação, o que se percebe quando o ângulo de inclinação do plano aumenta?

2. O que se percebe ao repetir o experimento, em relação aos valores dos ângulos de inclinação?

3. Explique as possíveis diferenças entre os valores, quando repetimos o experimento.

4. Ao repetir o experimento com materiais diferentes entre a lixa 50 o que você pode perceber? Existe alguma diferença?

5. Se os materiais apresentam coeficientes de atrito diferente como podemos explicar isso?

6. Qual conclusão podemos ter ao comparar os valores dos coeficientes entre a lixas, borracha, E.V.A., papel e madeira? E como podemos relacionar ao nosso cotidiano?

7. Se pudéssemos fazer comparações a respeito de aspereza, polimento, entre outros como podemos justificá-los ao usarmos estes materiais?

8. Comparando o atrito, em qual das superfícies ele será maior? Explique por que?

Com a realização deste experimento podemos discutir várias ideias relacionadas ao tema abordado e a existência de mais ou menos atrito entre as superfícies.

2.2 Aula 5: Usando simuladores para entender melhor o atrito.

1 Introdução

As forças se caracterizam como uma grandeza Física responsável por diversas atividades do cotidiano. Sua existência é devido à interação entre dois ou mais corpos. Especificamente o contato entre corpos gera a força de atrito, está de interações microscópicas, porém responsáveis por eventos relacionados a grandes magnitudes.

O fato é que esse tipo de força age numa porção microscópica. Assim, à medida que o corpo desliza sobre determinada superfície, ligações microscópicas se formam e se rompem, ou seja, as forças envolvidas no caso a força de atrito e a normal, decorrem da interação entre moléculas nos pontos onde se tocam, conforme vão se movimentando (FUKUI, 2016 p. 119-120).

Nesta região, onde se justapõem, ocorrem fortes adesões superficiais devido a forças interatômicas, caracteriza-se parecidas como uma solda entre materiais. Ao observar a força de atrito, se associa a ruptura das soldas, mas ao movimentar-se refazem continuamente em novos pontos, enquanto ocorrem deslocamento relativo entre os corpos (GREF, 2006 p. 232).

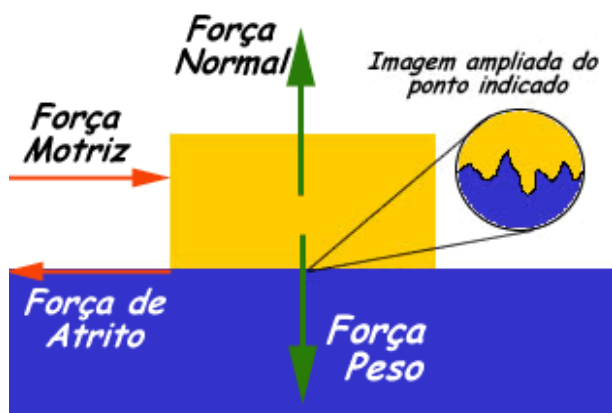
Os átomos de cada superfície de contato agem em outra contra o movimento atrapalhando em partes, enquanto motores ou forças mecânicas impulsiona-se o corpo para frente, outra tenta segurar em direção e sentidos contrários.

Para a existência de movimento é necessário a interação de outra força de intensidade maior, esta deve vencer o atrito existente entre as superfícies. Assim, faz o corpo onde está sendo aplicada, adquirir movimento, porém, ela

nunca deixará de existir, basta a força aplicada se ausentar o mesmo começará a perder velocidade até retorna ao repouso (SANT'ANA, 2013 p.124).

Em geral, ao fazer referências a situações descritas, envolvem muitos contextos aplicados a realidade. Porém, é importante conhecer diferentes tipos de atrito, condições de maior ou menor frequência. Considerando isto, procuraremos distinguir as maiores intensidades entre interações com corpos sólidos.

Figura 11 - Região microscópica onde acontece o atrito.



Fonte:

https://www.google.com.br/search?q=for%C3%A7a+de+atrito&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjw0bTKuZjdAhUpw1kKHx7tAQIQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=sa0H6yXgwDBSIM:

As interações entre as moléculas das superfícies consideram situações frequentes, ao mencionarmos a força de atrito. Em reproduções reais, evidenciando a construção de modelos para compreendermos a intensidade da força ao modificarem-se características como massa, superfície e coeficientes de atrito, obteremos valores e comparações.

2 Objetivos

- Usar um simulador para estudar o atrito entre corpos.
- Entender como ocorre a interação entre corpo e superfície.

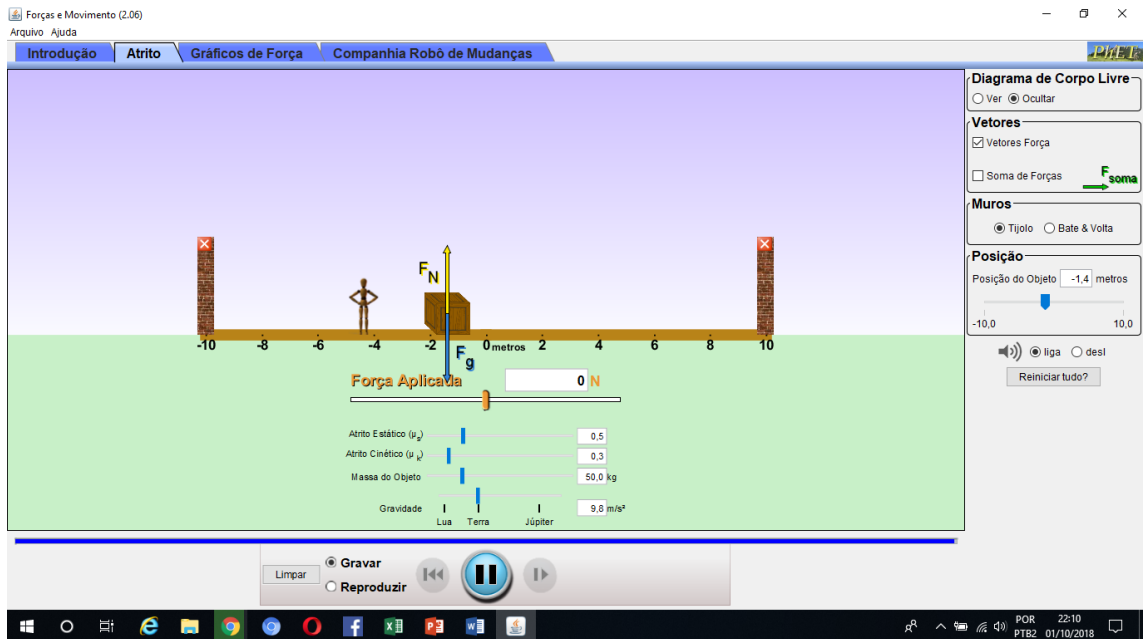
- Compreender as naturezas microscópicas do atrito.
- Verificar o efeito da força sobre corpos em condições de atrito presente em outras ausentes.
 - Reforçar visões como em situações como aumento de massa, intensidade da força aplicada sobre o corpo e troca de superfícies.
 - Modificar ambientes gravitacionais para justificar como a força normal é proporcional ao atrito.
 - Comparar objetos com diferentes massas em superfícies com atrito e outras sem, para entender como essas condições influenciam no movimento.
 - Reproduzir situações antes somente citadas em livros didáticos para entender melhor como isso influencia se pudessem ser reproduzidas na realidade.

3 Procedimentos

Acesse a simulação:
https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/forces-and-motion

Teremos acesso a página do simulador, para descobrir como funciona o atrito entre corpos, nesse caso, encontra-se ferramentas as quais, podem ser usadas. No caso das forças Peso e Normal, temos características já comentadas, mas são aparentes, assim aproveitando este gancho, para reforçar informações. A posição dos corpos e por último a intensidade da força aplicada para deslocar o objeto e mantê-lo nesse estado.

Figura 12 - Simulando sobre a madeira (com atrito).



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/forces-and-motion

Na figura 12 observa-se a presença de um corpo sobre uma superfície de madeira com características específicas de massa, coeficiente de atrito, estas podem ser alteradas e construir discussões, apresentando variação de situações. Nas possibilidades podemos reproduzir situações dos mesmos corpos sobre o gelo, onde o atrito é ausente e o comportamento do objeto muda-se consideravelmente.

Figura 13 - Simulando sobre o gelo (sem atrito).



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/forces-and-motion

Com a realização desta simulação é possível verificar os seguintes efeitos, sobre os corpos analisados e discutir enriquecendo fundamentos científicos.

- Diferença entre duas superfícies ao aplicar-se forças, verificando a intensidade necessária para deslocar o corpo na horizontal.
- Mudança de massa e verificar da intensidade das forças aplicada sobre eles.
- Produção de movimento a partir da interação entre corpos.
- Demonstrar como a gravidade influencia na força de atrito entre os corpos.
- Análise das forças a partir do instante em que o corpo entra em movimento.

4 Questões

a) Descreva a situação representada no simulador, o que você pode observar?

b) Ao analisar um corpo sobre a superfície de apoio o que se pode considerar?

c) O que acontece com determinado corpo e a intensidade da força de atrito quando se encontra sobre o gelo e a madeira? Qual a diferença?

d) Após a aplicação de uma força sobre um corpo, este se desloca facilmente? Explique essa situação.

e) Variando a quantidade de massa nos corpos como podemos analisar as forças aplicadas sobre os corpos e a intensidade para movimenta-lo?

f) Se a força de atrito é proporcional a gravidade e fosse possível fazer a análise em diferentes ambientes gravitacionais com valores alternados. Então considere um corpo de 50 kg verifique a intensidade da força para movimentá-lo e compare valores, conforme a tabela 2.

Tabela 4 - Comparação de valores das Forças Normal e diferentes ambientes gravitacionais.

Corpo Celeste	Lua g= 1,6 m/s ²	Terra g= 9,8 m/s ²	Júpiter g=29,6 m/s ²
Força (N)			

Fonte: Autoria Própria.

g) Compare valores de forças aplicadas nos objetos descritos entre duas superfícies, na tabela 3.

Tabela 5 - Comparação de valores das forças para movimentar corpos com diferentes massas e uma superfície com e sem atrito.

Massa (kg)	Madeira (com atrito)	Gelo (sem atrito)
Cachorro 25 kg		
Caixote 50 kg		
Escrivaria 100 kg		

Fonte: Autoria própria.

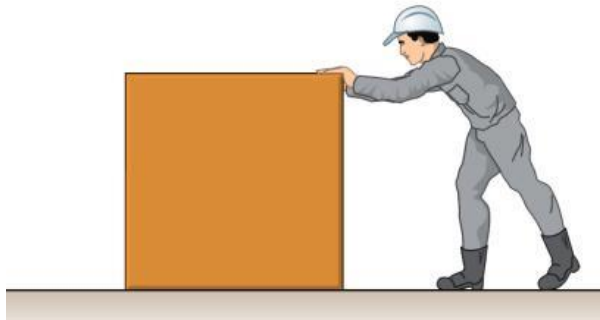
3. 5 Aula 6: Aplicação de atividade para verificação de aprendizado.

A aplicação da atividade para verificação se houve ocorrência de aprendizagem dos conceitos físicos trabalhados sobre força de atrito, na primeira parte da sequência didática.

Atividades

1. Descreva como e o local há ocorrência de atrito em cada uma das situações.

a)



Fonte: Disponível em:

https://www.google.com/search?q=for%C3%A7a+de+atrito&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwizksGsl9fcAhXFHpAKHfVIAOwQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=HvXly6zuYuA0MM:

b)

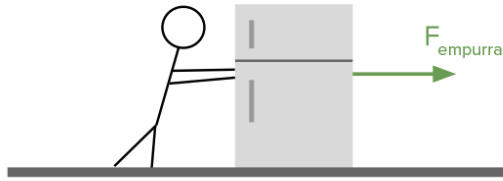


Fonte: Disponível em;

https://www.google.com/search?q=for%C3%A7a+de+atrito&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwizksGsl9fcAhXFHpAKHfVIAOwQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=pc52aDJP8P8QFM:

2. Identifique a força de atrito em cada uma das situações abaixo dando orientação: sentido e direção e justifique sua resposta.a)

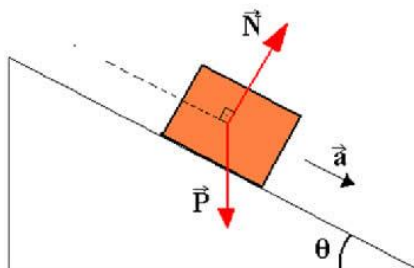
a)



Fonte: Disponível em;

https://www.google.com/search?q=for%C3%A7a+de+atrito&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwizksGsl9fcAhXFHpAKHfVIAOwQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=DewVNcB9QvCbV:

b)



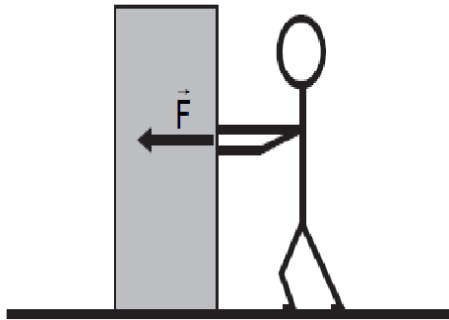
Fonte:

Disponível

em;

https://www.google.com/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&ei=haFnW7fbBcmWwASG9r7QBw&q=for%C3%A7a+de+atrito+plano+inclinado&oq=for%C3%A7a+de+atrito+pla&gs_l=img.1.0.0i30k1j0i24k1l2.794650.795555.0.797336.4.4.0.0.0.0.305.751.22j1.3.0....0...1c.1.64.img..1.3.748...0j0i5i30k1.0.2UzMP_EHm-Q#imgrc=OLQjbk8CsezkNM:

c)



Fonte:

Disponível

em;

https://www.google.com/search?q=for%C3%A7a+de+atrito&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwizksGsl9fcAhXFHpAKHfVIAOwQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgdii=rxQ_NSXH_Hr6qWM:&imgrc=DewVNcB9QvCbVM:

3. Analise as cenas abaixo e explique o que poderia acontecer no caso quando temos existência de atrito? O que aconteceria em sua ausência?

a)

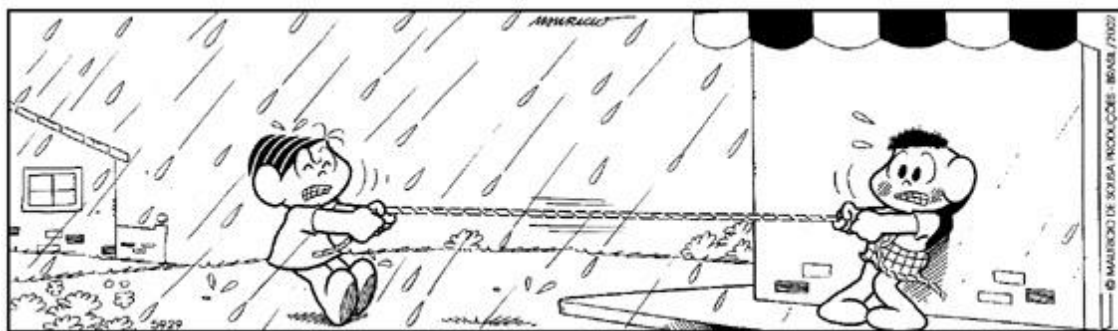


Copyright ©1999 Mauricio de Sousa Produções Ltda. Todos os direitos reservados.

5445

Fonte: https://www.google.com.br/search?q=Fisica+turma+da+m%C3%B4nica&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi88dPYw53fAhWDE5AKHanOA7QQ_AUIDigB&biw=1366&bih=657#imgrc=7fiF7RDgZFkdrM:

b)

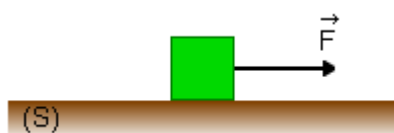


Copyright © 2002 Mauricio de Sousa Produções Ltda. Todos os direitos reservados.

5929

Fonte: https://www.google.com.br/search?q=Fisica+turma+da+m%C3%B4nica+tirinhas&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwibutSOxJ3fAhUEIZAKHZznB18Q_AUIDigB&biw=1366&bih=657#imgrc=4T9ST_iotrP8aM:

4. Um bloco de massa $m = 2,0 \text{ kg}$ está inicialmente em repouso sobre uma superfície horizontal S . A partir de certo instante aplicamos ao corpo uma força horizontal de intensidade $F = 16 \text{ N}$. Sabe-se que $g = 10 \text{ m/s}^2$ e que o coeficiente de atrito cinético entre bloco e a superfície é $\mu_c = 0,30$.



Calcule:

A intensidade da força de atrito que atua sobre o bloco.

Fonte: disponível em:

https://www.educabras.com/enem/materia/fisica/mecanica_cinematica/aulas/forcas_de_atrito acesso em: 23/07/2018.

3 Unidade 2: A Força de Arraste

3.1 Aula 7: A força de arraste.

1 Introdução

Embora, encontra-se muitas aplicações no cotidiano, esse tipo de força não-conservativa é pouco, trabalhada, citada, nem sempre identificada em livros didáticos com essa denominação.

Depende de fatores influenciados diretamente, pelos fluidos relacionados, onde o corpo se movimenta, formatos geométricos e dimensões. Temos vários casos a serem estudados, entre os exemplos estão relacionados à queda meteoros, saltos de paraquedas, objetos ao deslocarem em fluidos gasosos e líquidos, entre outros (HALLIDAY, 2016 p.130).

Essa aula inicial, ao apresentar um novo conteúdo destina-se a motivar os estudantes. O foco principal constitui em colocar os estudantes para a construção dos conceitos sobre a Força de Arrasto e como atua sobre corpos.

Na procura, de deixar esses conhecimentos mais significativos, vamos fazer a apresentação dos conteúdos a partir de uma atividade experimental. Para promover integração entre envolvidos no processo de ensino aprendizagem. Primeiramente realizaremos um experimento com materiais potencialmente significativos, os quais proporcionem aos estudantes, compreenderem melhor como a Força de Arraste se comporta em determinadas situações.

2 Experimento 2: Conhecendo a Força de Arraste em diferentes fluidos.

A Força de Arraste como mencionada, é produzida entre o fluido e o corpo ao se deslocar. Decorrentes as viscosidades e densidades diferentes, os quais influenciarão diretamente na velocidade da queda.

O objetivo deste experimento é demonstrar a diferença na velocidade do mesmo objeto em três diferentes meios. Conseguindo demonstrar, a variação

por meio de observações feitas entre a água, óleo e detergente. Ambos com viscosidades distintas notadas por manipulação (FUKUI, 2016 p. 121).

Com isso, construir paralelos e comparações, formalizando conceitos sobre a velocidade dos corpos e os fluidos onde se encontra. Ligadas a situações bem cotidianas, para estabelecendo correlações.

Outro fator a ser considerado, são dimensões dos corpos (geometrias, designers), por isso, procurará fazer comparações nas variações encontradas. Demonstrando que a velocidade dos objetos em um fluido, não depende somente da viscosidade, mas também da área de secção transversal (YAMAMOTO, 2013 p. 192-193).

2.1 Materiais.

- Copos de vidro longos, ou garrafas de vidro ou pet cortados o gargalo desde que sejam transparentes.
- 6 bolinha de gude: 3 menores e 3 maiores.
- Uma régua.
- Litro de óleo se soja.
- 1 Litro de água.
- 1 Litro de detergente (preferencialmente transparente).

2.3 Procedimentos

1. Preencha os três copos com, detergente, água e óleo. Lembrando se possível, deixar uma sobra sem liquido dentro do recipiente, para não transbordar.

Figura 14 - Materiais do experimento introdutório sobre Força de Arraste.



Fonte: Acervo do autor.

2. Com uma régua, faça a medição da distância de líquido, entre o topo até o fundo do copo.

3. Pegue com cuidado, solte a bolinha de gude menor, nos três vasos e faça comparações no tempo gasto para chegar do topo ao fundo do copo.

4. Repita, os mesmos procedimentos com as bolinhas maiores e faça comparações com a primeira parte.

2.3 Questões.

a) Embora, a situação apresentada seja diferente dos meios gasosos, a esfera abandonada sob a superfície dos fluidos líquidos deixam de demonstrarem o mesmo comportamento?

b) O que acontece nos três casos analisados quando se abandona as esferas?

c) Qual a diferença básica entre os três fluidos analisados, água, óleo e detergente?

d) Comparando os três ao ar, meio gasosos o que podemos concluir? E se o mesmo processo fosse feito no ar ele se deslocaria mais rápido ou mais lento?

e) Ao abandonar a esfera nos três recipientes diferentes o que se pode perceber quanto a velocidade de queda entre:

Água: _____

Óleo: _____

Detergente: _____

f) Comparando dados com a questão anterior o que pode-se perceber em relação a velocidade de queda entre objetos em meios diferentes? O que leva isso a acontecer?

g) A viscosidade dos líquidos demanda a possibilidade de um corpo cair mais rápido ou não, o que pode-se perceber?

h) Quando aumenta o tamanho das esfera altera-se algumas características, cite quais.

i) Ao repetir os mesmos procedimentos com esferas maiores o que você pode perceber?

j) Quais os motivos que levam isso a acontecer?

k) Faça uma pequena síntese dos motivos os quais podem alterar a força de arraste em fluidos com viscosidades diferentes.

4. 2 Aula 8: Conhecendo os conceitos da Força de Arraste

1 Introdução

O momento é para trazer os conceitos, sobre a Força de Arraste e fazer sua formalização. Para isso, devemos apresentá-los de maneira geral e discutí-los da forma mais objetiva possível. Evidenciar exemplos cotidianos, aplicações simples, porém importantes para aproveitamento, de informações discutidas na aula anterior com a realização do experimento.

Da atividade anterior, fazer laços de ligação com saltos de paraquedas e quedas corpos onde se encontram e seus principais efeitos.

Figura 15 - Salto de paraquedas.



Fonte: https://www.google.com/search?q=salto+de+paraquedas&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj9mtjKg9vcAhWGGpAKHUxJCx4Q_AUICigB&biw=1366&bih=662#img=c=Xw5GDYnbFFCFiM:

A Força de Arraste, atuando no paraquedas aberto, age reduzindo a velocidade de queda. Quando um corpo ou objeto qualquer se move num fluido (ar ou água, por exemplo), vemos que o fluido exerce sobre o corpo resistência, denominada arraste, que tende a reduzir sua velocidade.

Na primeira parte da aula, será apresentado o conteúdo sobre força de arraste, para discutir ideias presentes a questões da área em contato com o fluido, líquido ou gasoso. Nesse caso, também é possível os estudantes perceberem diferenças, com a aplicação de um vídeo. <https://www.youtube.com/watch?v=OJK6CVkijUs> 1min:34s acessado em 23/07/2018.

Com isso, procurando deixar evidenciado, o assunto principal a ser tratado, dependente da área do corpo em contato com o ar atmosférico,

explicando questões de velocidade e posicionamento dos praticantes da modalidade.

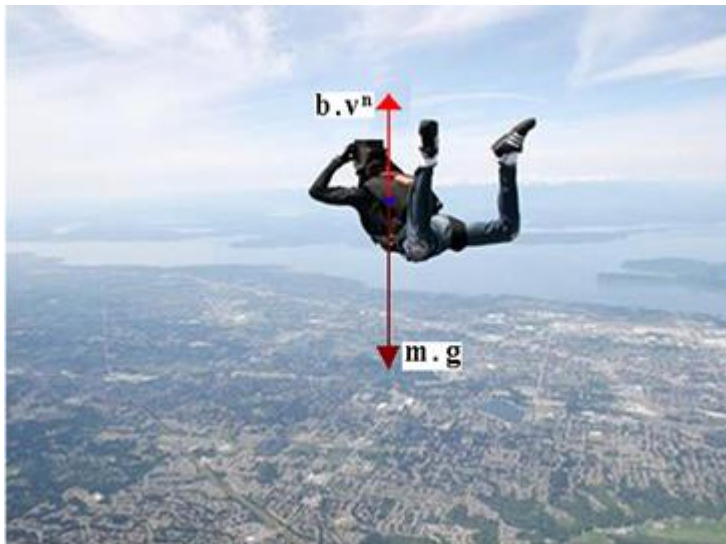
Diferentemente da força de atrito dinâmico, a força de arraste tende a aumentar, conforme a velocidade do corpo aumenta e nem sempre é linear. Em casos de pequenas velocidades é proporcional a do corpo; no caso de velocidades elevadas, é aproximadamente proporcional ao quadrado dessa velocidade.

Quando temos um objeto partindo do repouso, caindo somente sobre a influência da força da gravidade (constante), a Força de Arraste tem módulo de $b.v^n$. Assim, pode-se dizer que sobre ele, atua uma força vertical para baixo cuja intensidade é verificada por $m.g$ e outra na vertical para cima com intensidade determinada com mesma intensidade, dada pela equação:

$$Fr = m.g - b.v^n = m.a$$

(1)

Figura 16 - Representação das forças opostas em um corpo em queda livre, vertical para baixo o Peso a acima Arrasto.



Fonte: https://www.google.com/search?q=for%C3%A7a+de+arrasto&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjHguHwhNvcAhXKf5AKHTDdDHMQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=2Wlj3aJAxEgdvM:

De maneira geral, a intensidade da força de resistência R imposta por um fluido sobre o objeto em movimento com velocidade de módulo v é dada por.

$$R = b.v^n$$

(2)

Em que b é uma constante dependente das características do fluido, da força do corpo e da área de secção transversal, em direção perpendicular ao movimento n é constante dependente do valor da velocidade.

2 Velocidade limite ou terminal

Ao visualizarmos um objeto em queda livre, a única força aparentemente atuante sobre ele é a força peso, P , o movimento é descrito uniformemente acelerado, com velocidade de módulo crescente. Contudo, caso o objeto caia no ar, em razão da força de resistência, R , sua velocidade não será crescente. A intensidade da força resultante de P e R , demonstrada por:

$$Fr = P - R \Rightarrow Fr = m.g - b.v^n$$

(3)

Sendo assim, podemos dizer que a intensidade da força resultante diminui, em consequência do aumento no módulo da velocidade, pois a intensidade da força de resistência aumenta, nessas circunstâncias.

Dessa forma, à medida que a força de resistência aumenta com a velocidade, a intensidade da força resultante diminui e o módulo da aceleração é gradativamente menor. A velocidade do corpo tende para um valor limite V_L , ao mesmo tempo em que a força resultante também tende a zero. A velocidade limite V_L ou velocidade terminal é atingida na queda livre de um corpo no ar.

Fonte: disponível em <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/forcas-arraste.htm> acesso em 17/07/2018.

3 Cálculo da força de arrasto

Logo que a força de arraste está presente, em sistemas com fluidos, com ela existe o equilíbrio na velocidade dos corpos, então é possível calcular seu valor a partir da equação:

$$D = 1/2C\rho Av^2$$

(4)

Exemplo 1:

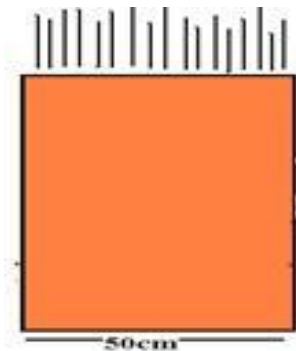


Em sua queda em direção ao solo, uma gota de chuva sofre o efeito da resistência do ar. Essa força é contrária ao movimento e aumenta com a velocidade da gota. No trecho inicial da queda, quando a velocidade da gota é pequena e a resistência do ar também, a gota está animada de um movimento Em um instante posterior, a resultante das forças exercidas sobre a gota torna-se nula. Esse equilíbrio de forças ocorre quando a velocidade da gota atinge o valor que torna a força de resistência do ar igual, em módulo,.....da gota. A partir desse instante, a gota.....

- a) acelerado – ao peso – cai com velocidade constante
- b) uniforme – à aceleração – cai com velocidade decrescente
- c) acelerado – ao peso – para de cair
- d) uniforme – à aceleração – para de cair

Exemplo 2:

Uma caixa de papelão de base quadrada tem 0,2kg de massa e cai com velocidade de 10m/s constante, devido à resistência do ar.



A base mantém-se paralela ao solo durante a queda. Qual a intensidade da força de resistência do ar?

Fonte: Disponível em:
<http://fisicaevestibular.com.br/novo/mecanica/dinamica/forca-de-resistencia-do-ar/exercicios-de-vestibulares-com-resolucao-comentada-sobre-forca-de-resistencia-do-ar/> Acesso em 27/07/2018.

4.3 Aula 9: Analisando vídeos e gráficos com auxílio do Tracker

Para reforçar conceitos de Força de Arraste e velocidade limite, temos como auxílio a inserção de tecnologias audiovisuais contidas em alguns softwares computacionais. Diversificando as ferramentas de ensino a serem usadas, e aumentar as possibilidades de abordagens aos conceitos.

Para isso, nessa aula, o objetivo foi apresentar vídeos, realizados com um aplicativo para smartphones, a open-câmera do experimento da aula 7, após, transferi-los para o software Tracker, e trabalhar com algumas ferramentas desse programa.

Com as ferramentas do programa, é possível obter demarcação de pontos trajetória bolinha de gude relacionando deslocamento x tempo na água, óleo e detergente. A partir disso, fazer migrações para o Excel e plotar os gráficos, com eles estudar algumas características do movimento da esfera em três meios diferentes.

Temos a possibilidade em realizar análises gráficas. Com elas, procurar satisfazer defasagens de aprendizado, em uma parte, que se encontram as maiores dificuldades dos estudantes a interpretações e leitura de informações contidas em gráficos. Para essa aula, foram realizados processo anteriores com os objetivos de serem explorados vários potenciais pedagógicos:

- Vídeos do experimento das bolinhas de gude na água, óleo e detergente.
- Apresentar os vídeos para a turma e fazer análises.
- Compreender as diferenças entre os três fluidos analisados.

- Expor o Tracker e suas funções.
- Exibir gráficos de Deslocamento X Tempos da água, óleo e detergente.
 - Compreender as informações de cada gráfico, percebendo as diferenças entre os deslocamentos.
 - Verificar, como em cada meio ocorre o alcance da velocidade limite e as diferenças entre os meios mais ou menos viscosos.
 - Finalizar os conceitos de Força de Arraste.

Com a apresentação dos gráficos e vídeos, podemos discutir várias informações, pertinentes ao assunto. As questões de velocidade limite, apresentada por um corpo ao se deslocar por um meio e reforçar conceitos, já vistos anteriormente.

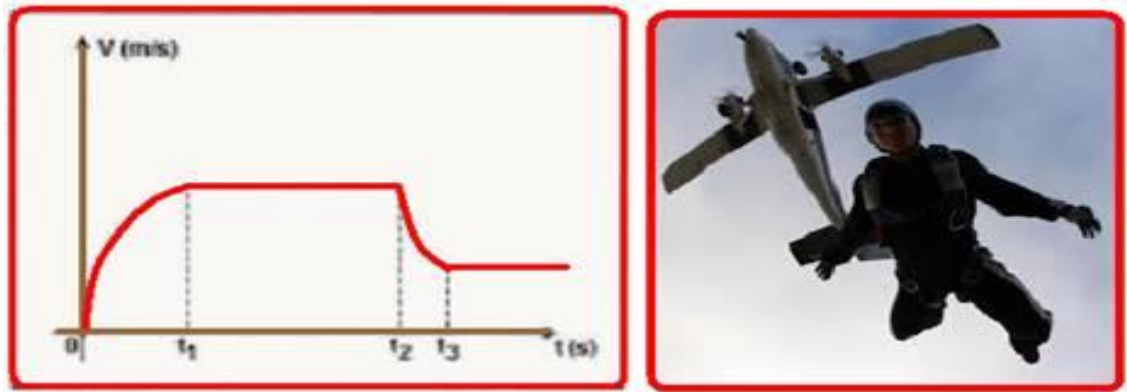
Além de ser uma significativa fonte de informações. Visualmente, se tornam mais chamativos aos estudantes e introduzindo tecnologias da informação e linguagens audiovisuais.

4.4 Aula 10: Aplicação de atividade sobre força de arrasto.

Esta aula é novamente, a hora de aferir como foi à assimilação dos alunos, a partir das ferramentas trabalhadas, com o conteúdo força de arrasto nesse momento, deve-se aplicar uma atividade para verificação de aprendizado.

Atividade

1-(UEPB-PB) O gráfico abaixo representa a velocidade vertical do paraquedista em função do tempo. Considerando que no instante



$t=0$, um paraquedista salta do avião com o para quedas fechado e inicia sua queda, cm pleno ar, caindo livremente, submetido somente à força de resistência do ar e à força peso, até o instante t_2 , quando abre o para quedas.

Analise as proposições a seguir, sobre a explicação da queda do paraquedista com base nos Princípios da Mecânica, escrevendo V ou F conforme sejam verdadeiras ou falsas, respectivamente:

() A aceleração do conjunto (paraquedista e seu para quedas) tem valor nulo, entre os instantes t_1 e t_2 , uma vez que a intensidade da força de resistência do ar se equipara ao valor do peso do conjunto.

() Entre os instantes t_0 e t_1 , à medida que o paraquedista cai, sua velocidade vai aumentando e conseqüentemente aumenta a força de resistência do ar.

() A energia cinética do paraquedista ao atingir o solo é igual à energia potencial gravitacional ao saltar do avião, porque a energia mecânica se conserva.

() Entre os instantes t_0 e t_1 , a força de resistência do ar sobre o conjunto paraquedista e seu para quedas) é maior do que a força peso deste conjunto, e a força resultante tem sentido contrário ao do movimento do paraquedista.

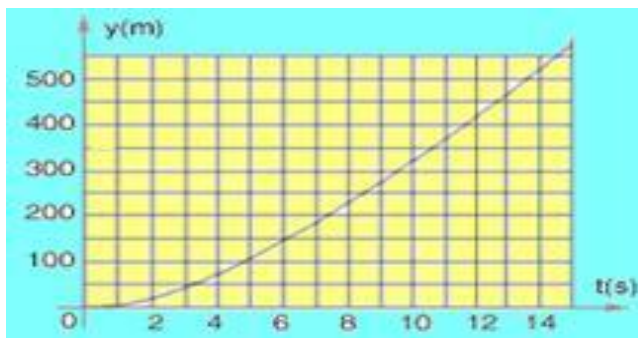
Assinale a alternativa que corresponde à sequência correta:

- a) VVFF
- b) FVFV
- c) VVFV
- d) VFVF

2. (Fuvest-SP) O gráfico a seguir descreve o deslocamento vertical y , para baixo, de um surfista aéreo de massa igual a 75 kg, em função do tempo t .



A origem $y = 0$, em $t = 0$, é tomada na altura do salto. Nesse movimento, a força R de resistência do ar é proporcional ao quadrado da velocidade v do surfista ($R = kv^2$), onde k é uma constante que depende principalmente da densidade do ar e da geometria do surfista). A velocidade inicial do surfista é nula; cresce com o tempo, por aproximadamente 10 s, e tende para uma velocidade constante denominada velocidade limite (VL). Determine:



- o valor da velocidade limite VL.
- O valor da constante k no SI.
- A aceleração do surfista quando sua velocidade é a metade da velocidade limite.

3-(PUC-RJ) Um paraquedista salta de um avião e cai em queda livre até sua velocidade de queda se tornar constante.

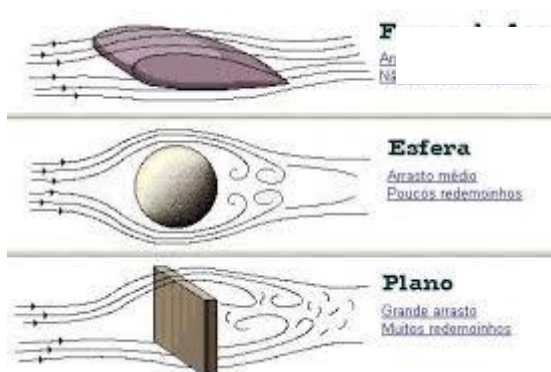


Podemos afirmar que a força total atuando sobre o paraquedista após sua velocidade se tornar constante é:

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

Fonte: Disponível em;
<http://fisicaevestibular.com.br/novo/mecanica/dinamica/forca-de-resistencia-do-ar/exercicios-de-vestibulares-com-resolucao-comentada-sobre-forca-de-resistencia-do-ar/> acesso em 25/07/2018.

4. Analisando a imagem abaixo é possível notar uma diferença no seu formato quando colocados em contato com o ar e adquire velocidade. Explique por que?



Fonte: https://www.google.com/search?q=for%C3%A7a+de+arrasto&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjJys33oc3cAhXDvJAKHd0aCC8Q_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=03TPGG4bwkSxMM: acesso em 23/07/2018.

5. Com base nas imagens acima e no que foi discutido na aula anteriores explique o que acontece em cada imagem abaixo.

- a)



Fonte: https://www.google.com/search?q=for%C3%A7a+de+arrasto+nos+esportes&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjW976cq83cAhXMIJAKHYovAvIQ_AUICigB&biw=1366&bih=662

b)



Fonte: https://www.google.com/search?q=for%C3%A7a+de+arrasto+nos+esportes&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjW976cq83cAhXMIJAKHYovAvIQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgdii=KY9b15y97swB3M:&imgsrc=qFFOp0EjBoGgVM:

c)



Fonte: https://www.google.com/search?q=for%C3%A7a+de+arrasto+nos+esportes+ciclismo&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjx5_zMrc3cAhUikJAKHdRaAwgQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=8puZYeD3PQm3BM

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sequência didática é uma organização de atividades, contendo várias ferramentas de ensino, essas com finalidade de serem usadas de maneira adequada, para que possa atingir o seu potencial máximo, para conseguir o melhor aproveitamento possível.

Assim, nessa sequência, consta em uma série aulas, com atividades planejadas, com o uso de diversificadas ferramentas de ensino. Voltadas à aprendizagem significativa, pois, o objetivo é que os estudantes assimilem melhor os conhecimentos e por mais tempo, por meio de aulas mais dinâmicas e proveitosas em visões diferenciadas de ensino.

Partindo de situações já conhecidas pelos estudantes, adquiridas em sua maioria pelo senso comum, a partir disso, contextualizar as informações para se chegar ao conhecimento científico. Aproveitar um fio condutor, para a aprendizagem ser efetiva e abrangente.

Por ser um tema, presente em diversas atividades realizadas ou observadas pelos alunos, as Forças Não-conservativas são importantes a todos. Porém, em casos de situações voltadas às salas de aulas, são deixadas de lado, devido à complexidade em trabalhá-las. Por isso, essa sequência apresenta uma série de atividades planejadas para o estudo desse tipo de forças.

Consta em atividades experimentais, simuladores, textos informativos, uso de tecnologias da informação, análise de figuras e tirinhas de personagens conhecidos em situações físicas. Cada uma, busca de explorar o máximo dos estudantes, podendo satisfazer, necessidades básicas, as quais interferem no desempenho no decorrer da trajetória escolar, e faz com que construam fama negativa da disciplina.

Separadas em duas partes para facilitação e organização. A Força de Atrito e Arrastos, ambas com dinâmicas de trabalhos em grupos, debates, interação entre os alunos. Com os objetivos, de serem mais ativos e se envolverem na realização das atividades. Podendo, pensarem de forma mais

abrangente, ligadas ao que já conhecem, e verificar que a Física está muito presente no cotidiano.

Diante dessa proposta, podemos trazer novas perspectivas, sobre como o planejamento de atividades, possibilita a aprendizagem ser mais efetiva e satisfatória, reconhecendo os porquês de se aprender determinados conteúdos.

Entretanto, as condições para a realização, foram levadas em consideração, pois, em contextos educacionais nem todas as escolas possuem laboratórios equipados com espaço suficiente para os discentes. Assim, essa proposta, possibilita a realização na sala de aula.

Por isso, temos uma sequência, a qual será disponibilizada para professores das redes de ensino, para seu uso. Com a finalidade em contribuir, para melhoria de suas aulas, mostrando novas visões de ensino além das tradicionais. Para fazerem os estudantes mais ativos e fortes, com base se conhecimentos sólidos e possam ser integrantes ativos do meio onde habitam.

REFERÊNCIAS

DOCA, Ricardo Helou. Física, volume 1: Mecânica: Ensino Médio/Ricardo Helou Doca, Gualder José Biscuola, Newton Villas Bôas. – 3.ed. – São Paulo: Saraiva, 2016.

FUKUI, Ana: Ser protagonistas: Física, 1º ano: Ensino Médio/Ana Fukui, Madson de melo Molina, Venê; organizadora edições SM; obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida por edições SM; editora responsável Ana Souza Nani. – 3 ed. – São Paulo: Edições SM, 2016. – (coleção ser protagonista)

Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. Física 1: Mecânica/ GREF- 5. Ed. 3. Reinpr. – São Paulo: Editore da Universidade de São Paulo, 2006.

HALLIDAY, David, Fundamentos de Física, volume 1: David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walter; tradução Ronaldo Sergio de Biasi. - 10 ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2016.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de Física básica – vol. 1 / H. Moysés Nussenzveig 4º edição - - São Paulo: Editora Blucher, 2002.

SAN'TANA, Blaidi. Conexões com a Física/ Blaidi San'tana...[et. al.]. – 2. Ed. – São Paulo: Moderna, 2013.

PARANÁ. SEED, Secretaria de Estado da Educação. Diretrizes Curriculares da Educação Básica: Física. Curitiba: SEED-PR, 2008.

TIPLER, Paul Allan, 1933 – Física para cientistas e engenheiros, v.1; mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica/ Paul A. Tipler, Gene Mosca; tradução Fernando Ribeiro da Silva, Gisele Maria Ribeiro. – Rio de Janeiro: LTC, 2006 3v.: il.

YOUNG, Hugh D. Física I, Sears e Zemanski: mecânica/Hugh c. Young, Roger A. Freedman; colaborador a. Lews Ford; tradução Daniel Vieira; revisão técnica Adir Moyses Luiz. – 14. Ed. – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

YAMAMOTO, Kazuhito. Física para o Ensino Médio 1 – Kazuhito Yamamoto, Luiz Felipe Fuke. – 3. Ed. – São Paulo: Saraiva, 2013.

WERLANG, R. B. e Silveira, F. L. da. A Física dos pneumáticos. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 30, n. 3, p. 614-627, dez. 2 616 013.