

**CADERNO DO PROFESSOR**

**ENSINO DE ATRITO COM ABORDAGEM DE ENSINO INTERATIVO: UMA  
PROPOSTA PARA IR ALÉM DE PROPOSTAS PURAMENTE CENTRADAS NO  
ALUNO OU NO PROFESSOR**

**Igor Storch e Emmanuel Favre Nicolin**

2018

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>2</b>
<b>2 A FÍSICA DO ATRITO</b> .....	<b>4</b>
2.1 ELEMENTOS DA HISTÓRIA DO ESTUDO DO ATRITO .....	7
2.1.1 Ações de contato .....	9
2.1.2 As reações de contato e o Atrito .....	9
2.1.3 Atrito cinético ou dinâmico .....	10
2.1.4 Atrito estático .....	12
<b>3. SEQUÊNCIA DIDÁTICA</b> .....	<b>14</b>
3.1 MÓDULO 01 - O ATRITO E AS SUPERFÍCIES .....	14
3.1.1 Atividade "Disco flutuante" .....	20
3.1.2 Questionário .....	24
3.2 MÓDULO 02 - FATORES QUE AFETAM O ATRITO .....	29
3.2.1 Experimento "A caixa" .....	31
3.2.2 Experimento "O arrastão" .....	36
3.2.3 Experimento "A lixa" .....	39
3.2.4 Coeficiente de Atrito .....	43
3.2.5 Lista de atividades .....	46
3.3 MÓDULO 03 - O ATRITO OU OS ATRITOS? .....	50
3.4 MÓDULO 04 - LISTA DE ATIVIDADES .....	59
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>69</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>70</b>
APÊNDICE 1 .....	70
APÊNDICE 2 .....	74
APÊNDICE 3 .....	77
APÊNDICE 4 .....	78

## 1 INTRODUÇÃO

Este caderno relata a aplicação de uma proposta didática para o estudo do Atrito baseado particularmente em situações reais envolvendo assuntos importantes, tal como segurança no trânsito, vividas no dia a dia do aluno.

A proposta foi aplicada tomando como base a associação de ferramentas pedagógicas que promovem a interatividade e o diálogo tal como a abordagem POE (Predizer, Observar e Explicar), o Peer Instruction, em alguns momentos, e a reprodução de experimentos de baixo custo. Também utilizamos o software Plickers<sup>1</sup> como instrumento de leitura de respostas, na aplicação de baterias de exercícios, que tinham como objetivo melhorar a capacidade de memória de longo prazo dos alunos, de acordo com a Teoria do Efeito do Teste.

As atividades promovidas dentro deste trabalho foram norteadas por elementos da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, esta teoria destaca em particular a importância de situações reais para o desenvolvimento conceitual. A aplicação foi pensada com o professor sendo o mediador do processo de ensino-aprendizagem para promover o desenvolvimento de conceitos como orienta Vygotsky.

Este produto foi pensado de modo que a sua totalidade fosse dividida em quatro módulos que levam aproximadamente dez aulas para serem aplicados. Cada módulo possui uma quantidade diferente de aulas necessárias; isso se deve aos tipos de estratégias e recursos abordados em cada um e também da quantidade de conteúdos necessários para que a ideia que se quer transmitir nele seja totalmente explorada. A quantidade de aulas utilizadas em cada módulo foi:

Módulo 01	Módulo 02	Módulo 03	Módulo 04
01 aula	03 aulas	02 aulas	04 aulas

Cada módulo é composto por uma série de atividades, que podem de forma geral, incluir:

---

<sup>1</sup> Site do aplicativo Plickers: [www.plickers.com](http://www.plickers.com)

- Pergunta motivacional
- Perguntas para debate
- Aplicação de um ou mais vídeos
- Aplicação de experimento(s) de caráter Interativo/dialógico
- Abordagem do conteúdo pelo professor no quadro
- Aplicação de uma seleção de exercícios sobre os conteúdos vistos naquele módulo

Nos apêndices o leitor encontrará a sequência das atividades destinadas aos alunos, referentes a cada um dos módulos.

Antes de detalharmos cada um dos módulos, falaremos, no próximo capítulo, sobre aspectos teóricos importantes com relação ao estudo do Atrito.

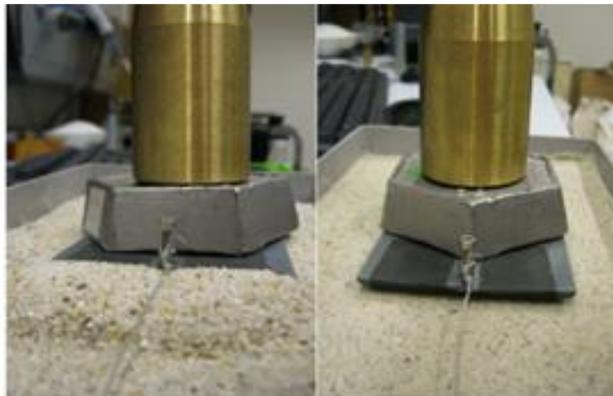
## 2 A FÍSICA DO ATRITO

Desde os tempos mais remotos, a humanidade está desafiada a resolver problemas práticos envolvendo o Atrito. No Antigo Egito, a construção de enormes pirâmides só foi possível devido a uma tecnologia que permitisse transportar pedras enormes, com mais de três toneladas cada uma. Só recentemente uma equipe da Universidade de Amsterdã, chefiada pelo professor Dr. Daniel Bonn, acredita ter desvendado o segredo de tal façanha. (FALL, et al, 2014)

Segundo esses pesquisadores, tudo se resume ao Atrito, ou a redução dele. Os antigos egípcios transportavam sua carga rochosa através das areias do deserto, utilizando dezenas de escravos que colocavam as pedras em grandes “trenós”, e as transportavam até o local de construção. Na verdade, os trenós eram basicamente grandes superfícies planas com bordas viradas para cima. Quando você tenta puxar um trenó desses com uma carga de três toneladas, ele tende a afundar na areia à frente dele, criando uma elevação que precisa ser removida regularmente para permitir a continuação do movimento sem haver aumento exagerado da força necessária para tal.

De acordo com o estudo citado acima, na areia com a quantidade certa de umidade, formam-se pontes capilares, que são microgotas de água que fazem os grãos de areia se ligar uns aos outros, o que aumenta a rigidez relativa do material. Isso colabora para que a areia não forme elevações na frente do trenó, e reduz a força necessária para arrastá-lo.

Figura 01 - Trenó puxando peso sobre areia seca (foto à esquerda), trenó puxando peso sobre areia úmida (foto à direita).



Fonte: Retirada da internet<sup>2</sup>

<sup>2</sup> <http://gizmodo.uol.com.br/estudo-egipcios-piramides/> - Acesso em 09 de abr. 2018.

A astúcia consiste simplesmente em molhar a areia à frente do trenó, como explica o comunicado à imprensa da Universidade de Amsterdã:

Os físicos colocaram, em uma bandeja de areia, uma versão de laboratório do trenó egípcio. Eles determinaram tanto a força de tração necessária e a rigidez da areia como uma função da quantidade de água na areia. Para determinar a rigidez, eles usaram um reômetro, que mostra quanta força é necessária para deformar certo volume de areia.

O experimento deste artigo é mostrado na figura 01. Esse é só um exemplo da importância do Atrito para resolver problemas tecnológicos desde a Antiguidade.

É graças ao Atrito que podemos caminhar e que um veículo pode se mover e fazer curvas. Isso parece ir de encontro à ideia de uma concepção alternativa em que o Atrito se caracteriza como um fenômeno exclusivamente “resistente” ou “dissipador” do movimento, a qual frequentemente é associada a uma conotação negativa. De acordo com Krim (1996), os efeitos negativos do Atrito são relacionados a um custo de até 1,6% do Rendimento Nacional Bruto dos países desenvolvidos o qual poderia ser reduzido com maior conhecimento dos mecanismos microscópicos do Atrito. Entretanto devemos ressaltar que sem ele, muitos movimentos não existiriam.

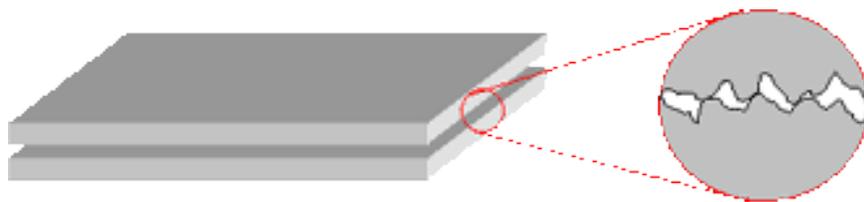
Mas o que é realmente o Atrito? Atualmente existem modelos microscópicos que dão conta de grande parte da complexidade deste fenômeno, entretanto, neste projeto limitaremos principalmente nossa discussão a aspectos fenomenológicos do Atrito. Nessa perspectiva, consideramos dois tipos de Atritos, um tipo quando há uma velocidade relativa de escorregamento entre superfícies em contato, e um outro tipo quando não há velocidade de escorregamento. Se há velocidade relativa de deslizamento, dizemos que o Atrito é cinético ou dinâmico, e associamos a ele um coeficiente de Atrito chamado coeficiente de Atrito cinético. Se não há tal velocidade, dizemos que o Atrito é estático, e associamos a ele um coeficiente de Atrito chamado coeficiente de Atrito estático.

O caráter desses coeficientes e a forma como eles se relacionam efetivamente com o que chamamos por “força de Atrito” será formalmente definido na sequência deste capítulo.

De acordo com Caldas<sup>3</sup> (1991, p. 34) e os inúmeros estudos na área da Tribologia tal como aqueles realizados por Baumberger et al. (1994), Barquins (1991), Bowden e Tabor (1964), Person (1999), Rabinowicz (1965), Scholz (1990), podemos dizer que esses coeficientes de Atrito dependem muito pouco da natureza das superfícies de contato, desde que permaneçam sem lubrificação, assim como estes coeficientes são também pouco dependentes das condições mecânicas do contato (velocidade de escorregamento, pressão, etc.).

O contato que se pode chamar de “real” entre duas superfícies planas é constituído de um grande número de micro contatos, cuja área total é muito menor que a área aparente de contato. Esses micro contatos se devem essencialmente à aspereza das superfícies em contato.

Figura 02 – Visão macroscópica e microscópica das superfícies de contato



Fonte: Acervo pessoal do autor

Bowden e Tabor (1964, apud Caldas, 1991) mostraram o papel importante desempenhado pelo estado mecânico de deformação dessas asperezas. Os esforços locais nos contatos, fonte das forças de Atrito, são gerados pelo deslocamento microscópico relativo local dos contatos (os micro contatos são deformados elástica e plasticamente, de uma distância da ordem de micron, antes de romper-se). Opondo-se sempre a este deslocamento local, eles podem ser resistentes ao movimento do sólido estudado ou causadores do seu movimento.

O problema que encontramos é o de obtermos informações sobre estes deslocamentos microscópicos locais, que nos levariam a informações sobre as forças de Atrito. Essas forças, resultantes das forças tangenciais às zonas de

<sup>3</sup> CALDAS, Helena. **Atrito: o que diz a Física, o que os alunos pensam e o que os livros explicam**. Elaboração de Edith Saltiel. Vitória: EDUFES, 1999, p. 151.

contato das superfícies, dependem, portanto, dos esforços locais, os quais não conhecemos de forma precisa e imediata. Assim deve-se enfatizar que o caráter empírico das leis existentes e o aspecto fenomenológico do estudo do Atrito será abordado aqui sob o ponto de vista macroscópico.

## 2.1 ELEMENTOS DA HISTÓRIA DO ESTUDO DO ATRITO

Ainda de acordo com Caldas (1999, p. 35), as leis do Atrito já eram conhecidas na época de Leonardo da Vinci (1452 - 1519), o qual é conhecido por ter realizado as primeiras experiências quantitativas, que deram origem à noção de coeficiente de Atrito.

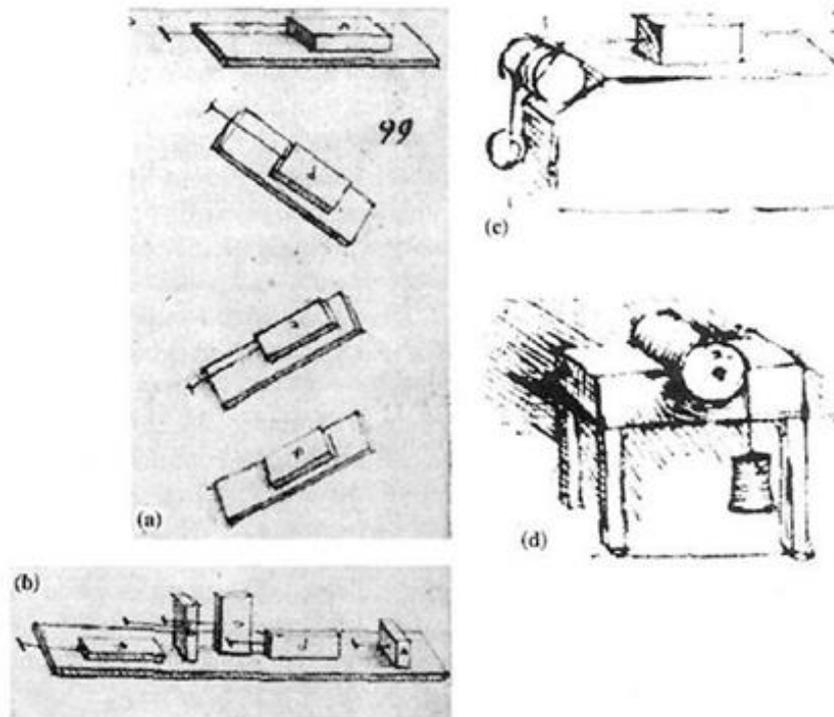
Duzentos anos antes de Newton elaborar o conceito de força, Leonardo da Vinci já percebia que a força de Atrito era independente da área de contato e proporcional à carga ponderal: segundo ele, o Atrito criado pelo mesmo peso ofereceria a mesma resistência no início do movimento, mesmo que as superfícies de contato pudessem variar e, seria o dobro ou o triplo se o peso fosse dobrado ou triplicado, e assim por diante.

Em 1699, Amontou redescobriu estas relações de da Vinci e constrói a lei empírica  $f_0 = \mu \cdot N$  (lei de Amontou), onde:

$f_0$  é o limite máximo da força de Atrito, tangencial às superfícies de contato;  
 $N$  é a força de reação que a superfície faz sobre o corpo;  
 $\mu$  é um coeficiente sem dimensões, que depende apenas das propriedades das áreas de contato e é independente da área aparente das superfícies em contato. (CALDAS, 1999, p. 36)

Leonardo da Vinci utilizava o exemplo do tijolo para demonstrar que o Atrito é independente da área aparente: um tijolo colocado sobre qualquer uma de suas faces sobre o chão oferecerá sempre a mesma resistência ao deslizamento.

Figura 03 – Traços feitos por Leonardo da Vinci em Codex Atlanticus e Codex Arundel, demonstrando suas montagens experimentais para determinar: (a) a força de Atrito entre um plano horizontal e outro vertical, (b) o efeito da área de contato, (c) a força de Atrito mediante o uso da polia e (d) o torque de Atrito



Fonte: Figura retirada da internet<sup>4</sup>

Em 1750, Euler introduz a diferenciação entre os coeficientes de Atrito estático e cinético. Estas observações foram corroboradas e completadas por Coulomb (1736 - 1806), que constata as diferenças entre os Atritos, estático e o cinético.

Segundo Caldas (1999, p. 36):

As leis do Atrito sólido seco que nós conhecemos hoje não são mais que as “leis de Coulomb” (nome este muito pouco utilizado no Brasil), que resumem assim as investigações de da Vinci e Coulomb sobre as interações de sólidos em contato, nos quais as superfícies são secas, isto é, sem nenhuma adição de fluido.

Para que possamos definir de uma maneira formal o que se entende hoje por força de Atrito, é necessário, antes, realizarmos algumas considerações/definições. Começaremos por definir o que são **Ações de contato entre dois corpos**, em seguida falaremos sobre as **Reações de contato e o Atrito**, posteriormente vamos definir o que é o **Atrito cinético** e concluiremos com a definição do **Atrito estático**.

<sup>4</sup> [https://www.researchgate.net/figure/Figura-12-Tracos-feitos-por-Leonardo-da-Vinci-em-Codex-Atlanticus-e-Codex-Arundel\\_fig2\\_319271548](https://www.researchgate.net/figure/Figura-12-Tracos-feitos-por-Leonardo-da-Vinci-em-Codex-Atlanticus-e-Codex-Arundel_fig2_319271548) Acesso em 15 abr. de 2018.

### 2.1.1 Ações de contato

Quando consideramos dois sólidos  $A_1$  e  $A_2$  em contato, o conjunto das ações de contato entre esses sólidos permite afirmar que as ações de contato exercidas por um dos sólidos sobre o outro, por exemplo,  $A_1$  sobre  $A_2$ , são representadas pela resultante das forças de contato que o sólido  $A_1$  exerce sobre  $A_2$ , isto é,  $\mathbf{F}_{12}$ . Neste capítulo, a partir deste momento, representarei vetores em **negrito**. E a resultante das forças de contato é sempre dirigida para o interior dos sólidos.

Assim sendo, a terceira lei de Newton afirma que, se o sólido  $A_1$  exerce uma força  $\mathbf{F}_{12}$  sobre o sólido  $A_2$ , dirigida para dentro dele, este por sua vez exercerá uma força  $\mathbf{F}_{21}$  sobre  $A_1$ , dirigida para o seu interior. Assim,  $\mathbf{F}_{12}$  e  $\mathbf{F}_{21}$  formam um par ação/reação, logo, possuem o mesmo módulo e direção, mas sentidos contrários ( $|\mathbf{F}_{12}| = -|\mathbf{F}_{21}|$ ). Chamaremos aqui as forças  $\mathbf{F}_{12}$  e  $\mathbf{F}_{21}$  de ações de contato entre dois corpos.

### 2.1.2 As reações de contato e o Atrito

Conforme Caldas (1999), quando a força de Atrito é não nula, a resultante das forças de contato,  $\mathbf{F}$ , é sempre inclinada de um ângulo  $\theta$  em relação à normal às superfícies de contato. Chamarei por  $\mathbf{N}$  e  $\mathbf{T}$  as componentes de  $\mathbf{F}$ , respectivamente, normal e tangencial a estas superfícies. Portanto, teremos:  $\mathbf{F} = \mathbf{N} + \mathbf{T}$ .

Para os dois sólidos  $A_1$  e  $A_2$ , a ação do sólido  $A_2$  sobre  $A_1$  é dada por  $\mathbf{F}_{21} = \mathbf{N}_{21} + \mathbf{T}_{21}$ , e da mesma forma, a ação de  $A_1$  sobre  $A_2$  é dada por  $\mathbf{F}_{12} = \mathbf{N}_{12} + \mathbf{T}_{12}$ . Como  $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$ , então  $\mathbf{N}_{12} = -\mathbf{N}_{21}$  e  $\mathbf{T}_{12} = -\mathbf{T}_{21}$ . Quando o Atrito é considerado desprezível, a resultante das ações de contato,  $\mathbf{F}$ , reduz-se somente à força  $\mathbf{N}$ , logo:  $\mathbf{F} = \mathbf{N}$  e  $\mathbf{T} = \mathbf{0}$ .

Definidas essas forças, agora podemos formalizar que as componentes tangenciais, aqui chamadas de  $\mathbf{T}$ , das resultantes das ações das forças de contato,  $\mathbf{F}$ , que as superfícies dos sólidos em contato exercem umas nas outras, são o que chamamos de *forças de Atrito*.

Como foi dito anteriormente neste capítulo, o fenômeno do Atrito compreende dois fenômenos diferentes: o Atrito de não deslizamento, conhecido como *Atrito estático*

e o Atrito de deslizamento, conhecido como *Atrito cinético ou dinâmico*. A distinção clara entre esses dois fenômenos é necessária, pois as propriedades das forças correspondentes são diferentes.

### 2.1.3 Atrito cinético ou dinâmico

Dizemos que existe Atrito cinético entre dois sólidos em contato, quando pudermos definir, neste contato, que pode ser um ponto, uma linha ou uma superfície plana, uma velocidade relativa de escorregamento diferente de zero. Essas velocidades de escorregamento são definidas da seguinte maneira:

Sejam  $\mathbf{v}_{1T}$  e  $\mathbf{v}_{2T}$ , respectivamente, as velocidades dos sólidos  $A_1$  e  $A_2$  em relação a um referencial, que pode ser a Terra. As velocidades relativas de escorregamento de  $A_1$  em relação a  $A_2$  ( $\mathbf{v}_{12}$ ) e de  $A_2$  em relação a  $A_1$  ( $\mathbf{v}_{21}$ ) serão então dadas por:

$$\mathbf{v}_{12} = \mathbf{v}_{1T} - \mathbf{v}_{2T} \text{ e } \mathbf{v}_{21} = \mathbf{v}_{2T} - \mathbf{v}_{1T}$$

Se, por exemplo,  $A_1$  estiver em repouso com relação à Terra, o valor de  $\mathbf{v}_{1T}$  será nulo e como consequência o valor de  $\mathbf{v}_{21}$  será igual a  $\mathbf{v}_{2T}$  e  $\mathbf{v}_{12}$  terá o mesmo módulo que  $\mathbf{v}_{2T}$ , e sentido contrário.

O módulo das forças de Atrito cinético que cada uma das superfícies em contato exerce sobre a outra ( $f_{A12}$  e  $f_{A21}$ ) são proporcionais à normal a cada uma destas superfícies (respectivamente,  $\mathbf{N}_{12}$  e  $\mathbf{N}_{21}$ ), satisfazendo assim as igualdades:

$$f_{A12} = \mu_c \cdot N_{12} \text{ e } f_{A21} = \mu_c \cdot N_{21}$$

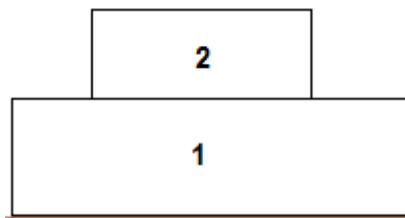
Em que  $\mu_c$  é o coeficiente de Atrito cinético.

O sentido das forças de Atrito cinético que cada uma das superfícies em contato exerce sobre a outra ( $f_{A12}$  e  $f_{A21}$ ), será sempre oposto ao sentido das velocidades relativas de deslizamento de cada uma destas superfícies em relação à outra (respectivamente,  $\mathbf{v}_{21}$  e  $\mathbf{v}_{12}$ ).

Entretanto, estas forças de Atrito, ainda que opostas ao movimento relativo de escorregamento das superfícies em contato podem ter o mesmo sentido do movimento do sólido estudado, em relação a um determinado referencial e, serem deste modo a força motriz do movimento. Vamos dar um exemplo desta situação.

Imagine dois corpos, 1 e 2, em que o corpo 2 repousa sobre o corpo 1 havendo Atrito entre suas superfícies de contato, e este repousa sobre uma mesa totalmente lisa e sem Atrito conforme a figura “x”. Os dois corpos e a mesa encontram-se num ambiente a vácuo.

Figura 04 – Situação de Atrito com dois blocos



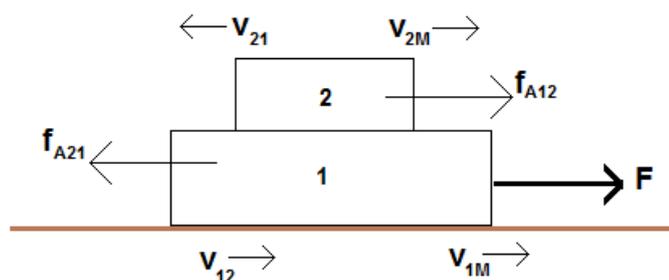
Fonte: Acervo pessoal do autor

Uma força  $F$  constante e horizontal atua sobre o corpo 1 fazendo com que os dois corpos se movam com acelerações necessariamente diferentes em relação à mesa, supondo que o Atrito entre as superfícies de contato 1 e 2 é cinético.

Fazendo um balanço das forças horizontais que atuam nos blocos, podemos observar que:

- Força de Atrito mesa/bloco: inexistente.
- Força de Atrito que 2 exerce em 1 ( $f_{A21}$ ): ←
- Força de Atrito que 1 exerce em 2 ( $f_{A12}$ ): → (única força horizontal agindo em 2).

Figura 05 – Força de Atrito



Fonte: Acervo pessoal do autor

O bloco 2 move-se para a direita em relação à mesa ( $\mathbf{v}_{2M}$ ), por ação da força de Atrito ( $\mathbf{f}_{A12}$ ), também orientada para a direita, e que, portanto, tem o mesmo sentido deste movimento! Esta força é oposta a velocidade de 2 relativamente a 1.

No caso do bloco 1,  $\mathbf{f}_{A21}$  (orientada para a esquerda) se opõe, também como deveria, à velocidade relativa de escorregamento de 1 com relação a 2 ( $\mathbf{v}_{12}$ ), velocidade esta que, nesta situação, tem o mesmo sentido da velocidade do bloco em relação à mesa ( $\mathbf{v}_{1M}$ ).

Podemos concluir que uma força de Atrito cinético pode ser a responsável pelo movimento de um sólido e, assim, desempenhar o papel de motor do movimento, agindo no mesmo sentido dele.

#### 2.1.4 Atrito estático

Dizemos que existe Atrito estático entre dois sólidos em contato quando a velocidade relativa de deslizamento é nula, estando pelo menos um dos sólidos sob a ação de uma força não normal ao contato.

As leis do Atrito estático são empíricas e referem-se também, tal como no cinético, às componentes normal ( $\mathbf{N}$ ) e tangencial (força de Atrito estático  $\mathbf{f}_E$ ) da reação que cada sólido exerce sobre o outro no contato.

Os módulos das forças de Atrito estático que cada uma das superfícies em contato exerce sobre a outra ( $f_{E12}$  e  $f_{E21}$ ) satisfazem as desigualdades:  $f_{E12} \leq \mu_E \cdot N_{12}$  e  $f_{E21} \leq \mu_E \cdot N_{21}$ , onde  $\mu_E$  é o coeficiente de Atrito estático.

Experimentalmente observa-se que  $\mu_C < \mu_E$ , entretanto, os dois referem-se a quanto, em termos percentuais, o bloco do Atrito é com relação ao módulo da força normal.

A igualdade,  $f_E = \mu_E \cdot N$ , somente é válida quando as forças de Atrito estático atingem o seu valor máximo ( $f_{E\max}$ ). A desigualdade ( $f_E \leq \mu_E \cdot N$ ) mostra que a intensidade das forças de Atrito estático tem valores compreendidos entre 0 e  $f_{E\max}$ .

Conforme Caldas (1999, p. 44), o sentido das forças de Atrito estático não pode ser definido em relação a uma velocidade relativa de deslizamento, pois ela vale zero. Podemos simplesmente dizer que, do ponto de vista qualitativo, as forças de Atrito estático vão se opor sempre à possível ou eventual velocidade relativa de deslizamento no contato, que cada superfície teria, uma em relação à outra, na ausência de Atrito (se o Atrito entre as superfícies fosse nulo, por exemplo).

A partir dessas características do fenômeno conhecido e denominado como Atrito, elaboramos uma sequência de atividades baseadas em situações, onde elas (as características) se manifestam de forma a levar o aluno a se apropriar destes conhecimentos.

### 3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O capítulo apresenta em sequência cada um dos quatro módulos seguido do relato. Para os três primeiros módulos foram discutidos seus aspectos conceituais relevantes (tema, objetivos, conhecimentos prévios necessários, estratégias e recursos), a introdução do assunto (pergunta motivacional e perguntas para debate), as atividades que o compõem, finalizando pelo relato. Junto às atividades são sugeridas possíveis orientações pedagógicas para nortear a ação do professor. Para o Módulo 04, que é composto por um questionário, temos somente a sequência das questões que foram aplicadas e as orientações pedagógicas sobre elas.

#### 3.1 MÓDULO 01 – O ATRITO E AS SUPERFÍCIES

Este módulo aborda a importância do Atrito dentro do contexto do trânsito, mais especificamente no que diz respeito à segurança no trânsito relativa à condução de veículos e também em outras situações rotineiras do dia a dia. Essa abordagem é feita com a seguinte sequência: pergunta motivacional, perguntas para debate, um vídeo, um experimento interativo e um questionário final.

Os aspectos conceituais relevantes para a construção deste módulo estão dispostos no quadro 01.

Quadro 01 – Aspectos conceituais (Continua)

Aspectos Conceituais	Descrição
Tema Abordado	A influência do Atrito no movimento
Objetivos Gerais (o que o aluno poderá aprender com essa aula).	1 - O que é o Atrito. 2 - A importância do Atrito para o deslocamento de uma pessoa e de um veículo. 3 - A relação do Atrito (ou da falta dele) com o fenômeno da aquaplanagem. 4 - A importância da utilização de pneumáticos adequados para evitar acidentes de trânsito. 5 - Graças ao fato de a força de Atrito entre uma superfície e um corpo, sólido e rígido, se opor à tendência de deslizamento entre eles é que conseguimos caminhar e um veículo se move.

Quadro 01 – Aspectos conceituais (Conclusão)

Aspectos Conceituais	Descrição
	6 - Utilizar a resolução de exercícios que já foram cobrados em concursos, ou não, mas que tenham linguagem semelhante, para familiarizar o aluno com tal linguagem e a maneira como os conceitos são abordados neles, tendo a pretensão, com isso, de não só ensinar Física, mas também de ajudá-los especificamente na sua preparação para tais concursos.
Duração das atividades	50 minutos, uma aula
Conhecimentos prévios	1 - Leis de Newton 2 - Soma vetorial
Estratégias	1 - Aula expositiva dialogada. 2 - Incitação da curiosidade sobre o tema através de uma pergunta de abertura e de perguntas para debate. 3 - Utilização de vídeo para melhor visualização dos conceitos abordados. 4 - Exposição interativa e dialogada de um experimento para debate e análise de conceitos utilizando a abordagem POE. 5 - Utilização de um questionário de atividades aplicado ao final da aula para análise do aproveitamento de conteúdo, utilizando o Peer Instruction como estratégia pedagógica de intervenção e o Plickers como ferramenta tecnológica de obtenção rápida das respostas dadas.
Recursos	1 - Quadro, pincel e apagador. 2 - Equipamentos desenvolvidos com materiais de baixo custo para aplicação da atividade experimental, que será descrita adiante. 3 - Uso do Laboratório de Informática ou sala de vídeo. 4 - Questionário com situações problema para resolução por parte dos alunos. 5 - Utilização do Plickers (aplicativo de celular e cartões resposta).

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme dito anteriormente, a introdução do assunto foi feita mediante a apresentação de uma pergunta motivacional. As respostas dos alunos a esta pergunta foram anotadas em um material que eles receberam para posterior análise. Na sequência foram feitas as “perguntas para debate”. O interesse por trás dessas perguntas era fomentar o diálogo sobre o tema, por isso não houve o registro dessas respostas. O quadro 02 mostra as perguntas referentes ao Módulo 01.

Quadro 02 – Perguntas do Módulo 01

Pergunta Motivacional	Perguntas para Debate
<p>Por que os carros de corrida usam pneus “carecas”, os chamados “slicks”, enquanto os carros comuns são proibidos de trafegar com eles?</p>	<p>1 - Por que conseguimos caminhar?</p> <p>2 - Se você já teve a oportunidade de ficar de pé sobre uma superfície congelada, como uma pista de patinação de gelo, sem os calçados apropriados, ou sobre outra superfície muito lisa, ou pelo menos já viu em algum filme uma pessoa passar por essa situação, pôde perceber que é difícil se equilibrar de pé, quanto mais caminhar! Você acha que isso se deve por qual razão?</p> <p>3 - Evidentemente existem diferenças entre o caminhar de uma pessoa e o movimento de um carro através do movimento de suas rodas. Existiriam algumas semelhanças entre esses movimentos? Em caso positivo, quais seriam?</p>

Fonte: Elaborado pelo autor

Após a apresentação das perguntas, realizados os debates, que serão descritos posteriormente, iniciou-se a sequência das três atividades que compõem este módulo. Tais atividades se encontram no quadro 03.

Quadro 03 – Atividades do Módulo 01

Atividade 1	Atividade 2	Atividade 3
<p>Apresentação de um vídeo que fala sobre o fenômeno da aquaplanagem.</p>	<p>Apresentação do experimento interativo intitulado “Disco flutuante”.</p>	<p>Aplicação de um questionário.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor

A atividade 1 consiste na apresentação de um vídeo que trata do o fenômeno da Aquaplanagem (ver figura 06). Este vídeo tem três minutos e quinze segundos e dá a definição de aquaplanagem, que ocorre quando há perda de contato entre as superfícies dos pneus e o piso, os riscos que esse fenômeno traz para a direção segura de um veículo e mostra que mesmo em carros com diferentes dispositivos de segurança (foram testados carros com e sem sistema ABS nos freios, com tração dianteira, traseira e nas quatro rodas) o fenômeno pode ocorrer.

O vídeo também faz uma abordagem de prevenção e principalmente deixa claro o problema mais sério: uma vez estando o veículo em aquaplanagem, não há muito



considerado é a possibilidade de o condutor ser multado devido ao mal estado de conservação dos pneus do seu veículo, os chamados “pneus carecas”.

O Código de Trânsito não cita pneus ruins ou "carecas", mas o artigo 230 considera infração grave conduzir o veículo "em mau estado de conservação, comprometendo a segurança, ou reprovado na avaliação de inspeção de segurança e de emissão de poluentes e ruído". A infração grave (5 pontos), atualmente (2018) estabelece uma multa no valor de R\$ 195,23. Não há nenhuma determinação de que uma multa seja dada por cada pneu em mau estado.

Figura 07 – Vista de um pneu em mau estado de conservação



Fonte: Arquivo pessoal do autor

Para evitar multas e garantir a sua segurança o condutor deve observar o padrão das bandas de rodagem. Todos os pneus vendidos no mundo têm o que é chamado de barras de desgaste, que são pequenas pontes que se formam entre as bandas de rodagem (ver figura 08). Conforme ocorre o desgaste do pneu, essas barras ficarão niveladas com a banda de rodagem do pneu. Nesse ponto, é hora de substituí-lo.

Figura 08 – Bandas de rodagem



Fonte: Retirada da internet<sup>6</sup>

<sup>6</sup> <http://www.gfpneus.com.br/blog/o-que-e-o-indicador-twi-do-pneu/> Acesso em 11 de set. 2018.

Algumas outras práticas simples podem ajudar a determinar se está na hora de trocar os pneus do carro. A seguir listamos duas outras que achamos importantes:

- 1- Prestar atenção em qualquer desgaste irregular das bandas. Ele pode indicar desalinhamento das rodas, necessidade de rotação dos pneus ou ambos. O desgaste irregular sinaliza a necessidade de levar o carro para manutenção (ver figura 09). Se o desgaste desigual for muito grande ou os pneus se desgastarem muito mais rápido do que o esperado, peça para uma borracharia competente verificar sua suspensão e corrigi-la conforme a necessidade antes de substituir os pneus. O alinhamento inadequado ou partes da suspensão gastas podem diminuir drasticamente a vida útil do pneu. É uma boa ideia trocar os pneus da frente com os de trás. Remova os dois pneus da frente e mova-os para a parte de trás, e vice-versa.

Figura 09 – Desgaste irregular da banda de rodagem do pneu



Fonte: Arquivo pessoal do autor

- 2- Procurar por inchaços ou "bolhas" na lateral (ver figura 10). Um inchaço lateral indica que o quadro interno rígido do pneu foi danificado e/ou rachado, permitindo que a pressão do ar chegue às camadas externas flexíveis. Tal dano poderia ser causado por um buraco na estrada ou por descer uma guia, ou ainda por andar com baixa pressão nos pneus. Continuar a dirigir com um pneu que tem um inchaço na lateral é perigoso. A integridade estrutural dele foi bastante reduzida, aumentando muito a chance de uma falha súbita ou de explosão em velocidades de estrada, o que poderia causar um acidente sério. Quaisquer pneus com inchaços na lateral devem ser substituídos imediatamente, não importa o estado das bandas de rodagem.

Figura 10 – Deformidade lateral na banda de rodagem de um pneu



Fonte: Arquivo pessoal do autor

### 3.1.1 Atividade “Disco flutuante”

Na atividade intitulada “Disco flutuante”, foi visualizado, analisado e conceituado, pelo professor e pelos alunos, o movimento de um corpo onde o Atrito entre ele e a superfície sobre a qual ele “desliza” é mínimo, e como esse movimento muda com o surgimento do Atrito. Este experimento permite exemplificar que quando posto em movimento, um objeto desloca-se por distâncias maiores se são removidas fontes de Atrito. Quanto mais fontes se remover, maior será a distância percorrida. Se removermos todas as fontes de Atrito, então é plausível supor que o objeto se desloque para sempre de acordo com o princípio da Inércia.

O Princípio da Inércia, ou Primeira Lei de Newton, diz que "um objeto tende sempre a manter o seu estado de movimento, este podendo também ser o de repouso, se não houver a ação de forças externas". E o Atrito, ou melhor, as forças de Atrito, são na maioria dos casos, as responsáveis pelo fato de que não se observa comumente um objeto se deslocando continuamente sem a ação de outra força propulsora, o que é uma razão para a qual muitas pessoas costumam associar força com velocidade, tal como é o caso da Física Aristotélica.

Figura 11 – Disquinho de ar montado



Fonte: Arquivo pessoal do autor

O experimento consiste em um disco feito a partir de um CD e da tampa de um detergente doméstico preparado de tal modo que a ele possa ser acoplado um balão de borracha (bexiga) cheio de ar. Quando liberado, o ar contido na bexiga sai pela parte de baixo do disco (aquela que fica em contato com a superfície de um piso ou mesa).

➤ Materiais necessários

- Um CD que não é mais usado
- Um recipiente de detergente doméstico comprado em supermercados
- Um arco de serra para metais, madeira, plástico, etc.
- Uma lixa para madeira com gramatura em torno de 100
- Cola de silicone ou cola quente – é importante ressaltar que a cola utilizada não seja extremamente rígida quando estiver seca, por isso não recomendamos o uso de colas à base de *cianoacrilato* (superbonder)
- Uma bola de assoprar

Figura 12 – CD doméstico usado



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 13 – Recipiente vazio de detergente



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 14 – Arco de serra



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 15 – Lixa para madeira



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 16 – Pistola de cola quente



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 17 – Bola de assoprar



Fonte: Arquivo pessoal

### ➤ Montagem

1. Utilizando o arco de serra, com muito cuidado, a pessoa deverá cortar o bico do recipiente do detergente.

Figura 18 – Cortando o bico da garrafa de detergente



Fonte: Arquivo pessoal

2. Com a lixa, devem-se lixar as arestas resultantes do processo de corte do bico.

Figura 19 - Lixando as rebarbas



Fonte: Arquivo pessoal

3. Utilizando a cola, que pode ser tanto a de silicone como a cola quente, deve-se colar o bico do recipiente de detergente ao CD de forma que o bico fique centralizado ao furo do CD.

Figura 20 - Colando o bico da garrafa de detergente no CD



Fonte: Arquivo pessoal

É muito importante ressaltar que devemos passar cola entre a base do bico e o CD (figura 20) e também na parte branca do bico por onde o ar entrará (figura 21), mantendo-a na posição aberta enquanto a colagem é feita.

Figura 21 - Colando a ponta do bico na posição “aberto”



Fonte: Arquivo pessoal

4. Agora é só encher a bola de assoprar, acoplá-la ao bico do detergente colado no CD na posição ABERTO, e observar o conjunto se deslocar com uma grande redução no Atrito. Rever a figura 11.

#### ➤ Comentários

É interessante que o professor enfatize o fato de que quando o disquinho está acoplado à bexiga de ar, o Atrito entre o conjunto e o ar aumenta, entretanto, a diminuição do Atrito entre o conjunto e a superfície é muito mais notável em situações de velocidades baixas, como as que são empregadas em sala de aula.

Adotando a lógica da abordagem POE (Predizer - Observar - Explicar), o professor propõe à turma a seguinte situação: “Através de petelecos, tentaremos pôr o disco em movimento; primeiramente sem usar o balão de ar acoplado, e depois utilizando o balão acoplado”.

A questão que deve ser proposta para análise prévia (predição) dos alunos é: *o que vai ocorrer com a distância percorrida pelo disco, com o balão acoplado e, sem ele?* Observa-se que ao acoplar o balão e permitir a saída do ar, um peteleco de intensidade semelhante aplicado ao disco resulta em uma distância percorrida sensivelmente maior. A ideia principal é explorar este aumento de distância percorrida como consequência direta da diminuição do Atrito entre a superfície do disco e a superfície da mesa devido à camada de ar que existe agora entre as duas superfícies. No entanto, a inclusão do balão traz uma nova fonte de resistência para o conjunto formado pelo disco e o balão, que é a resistência do ar ao movimento do balão, chamada de arrasto. O fato é que a soma de todas as forças de resistência ao movimento do conjunto ainda é menor que o Atrito dinâmico do disco sozinho, pelo menos para os casos onde a velocidade é pequena, como os que reproduzimos em sala de aula. Outro ponto importante é mostrar a relação deste experimento com o fenômeno da aquaplanagem, pois nos dois casos existe uma camada de fluido entre as superfícies.

### **3.1.2 Questionário**

Na atividade 3 estão propostos testes conceituais para debate utilizando como estratégia elementos do Peer Instruction. Os recursos que foram utilizados na sua aplicação foram um questionário com sete perguntas de múltipla escolha, elementos do Peer Instruction e o Plickers. O objetivo principal foi proporcionar aos alunos a oportunidade de avaliar e clarificar os conceitos e conteúdos vistos na aula. As perguntas utilizadas são apresentadas a seguir com breves comentários justificando a alternativa correta, destacando a resposta correta em negrito.

A primeira pergunta relaciona o Atrito com a possibilidade de controlar a direção de um veículo.

**01.** Sobre o Atrito entre os pneus de um carro de passeio em movimento e o piso asfáltico horizontal sobre o qual ele trafega, é correto afirmar:

- a) Ele pode aumentar nos dias chuvosos em que o piso fica molhado;
- b) Ele não depende do contato entre o pneu e o chão;
- c) Ele não tem influência no processo de frenagem do veículo;
- d) Sem ele, o carro não fará curvas.**

A justificativa da resposta correta da pergunta se baseia no fato de que, sem a força de Atrito, não haveria nenhuma força atuando sobre o veículo na direção do seu deslocamento, quando o arrasto com o ar pode ser desconsiderado, portanto ele permaneceria em MRU, de acordo com a 1.<sup>a</sup> Lei de Newton.

A segunda questão é uma questão que foi cobrada no ENEM de 2013 que trata o fato de que nem sempre a força de Atrito atua sobre um corpo no sentido de impedir o seu movimento, conforme já foi descrito no capítulo sobre a Física do Atrito.

**02.** ENEM 2013 – Uma pessoa necessita da força de Atrito em seus pés para se deslocar sobre uma superfície. Logo, uma pessoa que sobe uma rampa em linha reta será auxiliada pela força de Atrito exercida pelo chão em seus pés.

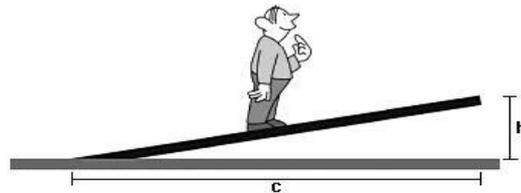


Figura 1 - Pessoa subindo uma rampa, altura:  $h$ , deslocamento horizontal:  $c$ .  
<http://mistermdafisica.blogspot.com.br/2012/10/questoes-estilo-enem-4.html> em 18/03/2017.

Em relação ao movimento dessa pessoa, quais são a direção e o sentido da força de Atrito mencionada no texto?

- a) Perpendicular ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- b) Paralelo ao plano e no sentido contrário ao movimento.
- c) Paralelo ao plano e no mesmo sentido do movimento.**
- d) Horizontal e no mesmo sentido do movimento.

Na situação descrita nessa questão, o movimento de uma pessoa é possível de ser realizado devido à reação da força feita pelos pés dessa pessoa na superfície. Ao aplicar uma força para trás com os pés (empurrando a superfície), a superfície reage realizando uma força para frente nos pés (3.<sup>a</sup> Lei de Newton), ambas tangentes à

trajetória, isto é, paralelas à superfície. Esta força de Atrito exercida pelo chão em seus pés, portanto é paralela ao plano e no mesmo sentido do movimento.

A terceira questão trata da função das ranhuras na banda de rodagem dos pneus dos carros.

**03.** A utilização de ranhuras nos pneus dos carros se deve ao fato de:

- a) Diminuir a área de contato com o chão, diminuindo assim o Atrito entre os pneus do carro e a superfície de contato.
- b) Aumentar a área de contato com o chão, aumentando assim o Atrito entre o carro e a superfície de contato;
- c) Melhorar o escoamento da água entre o pneu e o chão, fazendo com que o contato entre os dois seja mais efetivo.**
- d) Aumentar o fluxo de ar entre a superfície do pneu e o chão, para que se aumente a força de Atrito entre os pneus e a superfície.

A alternativa correta dessa questão é a letra C, pois sem as ranhuras nas superfícies dos pneus, haveria uma chance maior de se formar uma película de água entre eles e o chão, impedindo assim o seu contato; ocasionando o surgimento do fenômeno da aquaplanagem.

Na quarta questão, é abordada a relação do sentido da aceleração de um veículo com o sentido da força resultante que age sobre ele, incluindo o Atrito como uma das forças que agem sobre o sistema.

**04.** (VUNESP - ADAPTADA) – Um trator se desloca em uma estrada, da esquerda para a direita, com movimento acelerado. O sentido das forças de Atrito que a estrada faz sobre as rodas do carro é indicado na figura a seguir:



Figura 2 – Trator e vetores

É correto afirmar que:

- a) o trator tem tração nas quatro rodas posição aberto.
- b) o trator tem tração traseira.
- c) o trator tem tração dianteira.**
- d) o trator está com o motor desligado.

Para iniciar as considerações sobre essa questão, vale ressaltar que a roda que recebe torque do motor do trator empurra o chão com determinada força, que é justamente uma força de Atrito. Sabemos, segundo a terceira lei de Newton, que sempre é associada a uma força, uma força de reação que, nesse caso, também é uma força de Atrito. Considerando que a roda não deslize, a força atua para frente, ou seja, no mesmo sentido em que o veículo se move.

Como, segundo o enunciado, o trator se desloca da esquerda para a direita em movimento acelerado, observando a figura podemos concluir que a força de Atrito que move o trator está nas rodas dianteiras. A força de Atrito nas rodas traseiras deve ter sentido oposto para evitar o deslizamento, fazendo com que a roda gire. Portanto, é claro que elas não têm o papel de empurrar o chão. Se tivesse tração nas quatro rodas, por exemplo, ambas as setinhas do desenho estariam apontando no mesmo sentido, já que tanto as rodas traseiras quanto às dianteiras estariam empurrando o chão para trás, e conseqüentemente, as forças de Atrito estariam movimentando o caminhão.

A quinta questão desta atividade também fala sobre o sentido da força de Atrito que atua nas rodas que empurram o chão para trás e aquelas que têm papel passivo no movimento.

**05. (PUC-RJ ADAPTADA)** – Uma locomotiva puxa uma série de vagões, acelerando a partir do repouso. Qual é a análise correta da situação?

a) A locomotiva pode mover o trem somente se for mais pesada do que os vagões.

**b) A força que a locomotiva exerce nos vagões é tão intensa quanto a que os vagões exercem na locomotiva; no entanto, a força de Atrito na locomotiva é grande e é para frente, enquanto que a que ocorre nos vagões é pequena e para trás.**

c) O trem se move porque a locomotiva dá um rápido puxão nos vagões, e, momentaneamente, esta força é maior do que a que os vagões exercem na locomotiva.

d) O trem se move para frente porque a locomotiva puxa os vagões para frente com uma força maior do que a força com a qual os vagões puxam a locomotiva para trás.

Para responder corretamente a essa questão, levamos em consideração que, de acordo com a Terceira Lei de Newton, a força com que a locomotiva puxa os vagões

para frente é, em bloco, igual à força com que os vagões puxam a locomotiva para trás.

Entretanto, o que faz a composição férrea acelerar para frente é a diferença entre o Atrito que atua na locomotiva e os Atritos que atuam sobre os vagões. O Atrito que atua sobre a locomotiva é maior do que a soma dos Atritos que atuam sobre os vagões, e é dirigido para frente, enquanto a soma dos outros é dirigida para trás.

A sexta questão foi cobrada em um concurso público no ano de 2014 e indaga o candidato sobre qual deve ser a atitude do condutor de um veículo que entra em aquaplanagem.

**06. Tribunal Regional Federal / 3ª Região (TRF 3ª) 2014**

*Cargo: Técnico Judiciário - Área Segurança e Transporte / Questão 36*

*Banca: Fundação Carlos Chagas (FCC)*

*Nível: Médio*

Algumas situações climáticas e naturais afetam as condições de segurança do trânsito. Sob estas condições, o condutor de veículo deverá adotar atitudes que garantam a sua segurança e a dos demais usuários da via. No caso de o condutor de um veículo ser surpreendido por uma situação de aquaplanagem ou hidroplanagem, este deve:

- a) acelerar o veículo para ultrapassar mais rapidamente a área empoçada.
- b) evitar a utilização dos freios do veículo quando estiver sobre poças de água.**
- c) diminuir a marcha do veículo e manter-se próximo ao veículo que transita a sua frente.
- d) soltar o volante do veículo, objetivando evitar movimentos bruscos.

A alternativa B dessa questão é a correta pois quando os freios do veículo são acionados na situação de aquaplanagem, aumenta-se a chance de fazer com que as rodas deslizem sobre o chão ao invés de girar sobre ele, o que dificultaria a drenagem da água existente entre o pneu e o chão. Isto facilitaria a continuidade da aquaplanagem.

É importante que se ressalte o fato de que o mais importante é sempre trafegar no máximo no limite da velocidade indicada na via, e em dias de chuva fazer isso abaixo do que se indica. Outro aspecto importante é que se deve manter a distância mínima obrigatória com relação ao veículo da frente.

A última questão desta atividade trata da definição do que é o fenômeno de aquaplanagem.

**07. Questão 56705**

*FCC 2001 TRF Direção Defensiva*

Pode-se afirmar que a "aquaplanagem" ou "hidroplanagem", muito discutida em Direção Defensiva é:



Figura 3 – [https://www.pneusfacil.com.br/info/qual\\_o\\_melhor\\_pneu\\_para\\_chuva](https://www.pneusfacil.com.br/info/qual_o_melhor_pneu_para_chuva). Em 05/02/2018.

- a) a falta de contato do pneu com o solo, em dia de chuva.
- b) a forma correta de dirigir, aumentando a velocidade.
- c) o aumento de contato do pneu com o solo, quando a velocidade aumenta.
- d) o acúmulo de ar no sistema de freio hidráulico dos veículos equipados com freio "ABS".

A definição de aquaplanagem é justamente a sentença trazida na letra A da questão apresentada.

É importante ressaltar que ela ocorre não só em dias de chuva, mas sempre que o veículo perde contato com o chão devido a uma camada de água que se acumula entre os pneus e ele. Podendo isso ocorrer até em dias secos, desde que o veículo passe por cima de uma poça de água.

### 3.2 MÓDULO 02 – FATORES QUE AFETAM O ATRITO

Este módulo aborda a fenomenologia do Atrito, analisando parâmetros tal como reação normal, peso, área de contato e natureza das superfícies, através da seguinte sequência: pergunta motivacional, perguntas para debate, três experimentos interativos e um questionário final.

Os aspectos conceituais relevantes para a construção de módulo estão dispostos a seguir.

Quadro 04 – Aspectos conceituais relevantes

<b>Aspectos Conceituais</b>	<b>Descrição</b>
Tema abordado	Fatores que influenciam no Atrito.
Objetivos Gerais (o que o aluno poderá aprender com esta aula)	1 - Avaliar se a força de Atrito é sempre proporcional ao peso do corpo. 2 - Que a força de Atrito depende da natureza das superfícies em contato e do seu grau de polimento. 3 - Que a força de Atrito que atua em corpos sólidos e rígidos não depende da área de contato entre o corpo e a superfície.
Duração das atividades	150 minutos, três (3) aulas
Conhecimentos prévios	1 - Leis de Newton 2 - Soma vetorial
Estratégias	1 - Aula expositiva dialogada. 2 - Incitação da curiosidade sobre o tema através de uma pergunta de abertura e de perguntas para debate. 3 - Exposição interativa e dialogada de três experimentos sobre o Atrito para debate e análise de conceitos utilizando a abordagem POE. 4 - Utilização de um questionário de atividades aplicado ao final da aula para análise do aproveitamento de conteúdo.
Recursos	1 - Quadro, pincel e apagador 2 - Equipamentos desenvolvidos com materiais de baixo custo para aplicação das três atividades experimentais, que serão descritas adiante 3 - Questionário com situações problema para resolução por parte dos alunos 4 - Utilização do Plickers (aplicativo de celular e cartões resposta)

Fonte: Elaborado pelo autor

Novamente, como foi feito no Módulo 01, a introdução do assunto foi feita mediante a apresentação de uma pergunta motivacional, em que as respostas dos alunos foram anotadas em um material recebido por eles para posterior análise, seguida das perguntas para debate, cujo interesse era justamente o diálogo sobre o tema.

Quadro 05 – Perguntas do Módulo 02

Pergunta Motivacional	Perguntas para Debate
Quando existe Atrito entre o corpo e a superfície, por que é mais fácil tirá-lo do repouso quando ele está sobre uma superfície inclinada do que no plano horizontal?	<p>1 - Se colocarmos numa caixa um determinado corpo e tentarmos puxá-la teremos que fazer uma força para vencer o Atrito e colocá-la em movimento. Se aumentarmos o peso do corpo, o Atrito entre a caixa e o chão também aumentará?</p> <p>2 - Poderíamos obter o mesmo resultado sem aumentarmos o peso dentro da caixa? Como?</p>

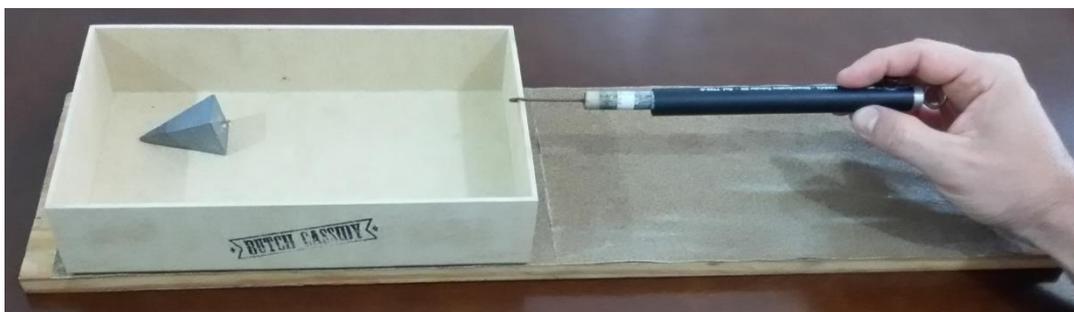
Fonte: Elaborado pelo autor

Após as perguntas, foram realizados três experimentos interativos que tinham como objetivo relacionar o Atrito com os fatores relevantes para sua determinação.

### 3.2.1 Experimento “A caixa”

No primeiro experimento, era esperado que o aluno pudesse apropriar-se de conhecimentos referentes à relação entre a força de Atrito e a reação normal aplicada à caixa. Em particular, discute-se um conjunto de situações experimentais em que o peso nem sempre é igual à força normal entre a caixa e o chão. A figura 22 mostra o aparato experimental utilizado nesta atividade intitulada “A caixa”.

Figura 22 – “A caixa”: experimento de atrito com foco na reação normal.



Fonte: Arquivo pessoal do autor

Uma justificativa deste experimento consiste na tentativa de superar algumas concepções alternativas relativas ao Atrito. Por exemplo, quando perguntarmos aos alunos se é mais fácil empurrar uma caixa de 20 kg sobre uma superfície horizontal, ou uma caixa de mesmas dimensões, mas com 40 kg, sobre a mesma superfície

provavelmente a maioria, senão todos, responderá que é mais fácil empurrar a caixa mais leve. Essa situação pode ser explicada por uma relação direta do valor máximo da força de Atrito estático entre um corpo e a superfície com o seu peso. No entanto, o valor máximo da força de Atrito estático pode, em certas situações, não ser diretamente proporcional ao peso do corpo.

Na Física que apresentamos para os alunos, o valor máximo da força de Atrito estático é proporcional à normal aplicada nele. Neste primeiro experimento, não é abordada a diferenciação entre Atrito estático e cinético e, portanto, considera-se que o professor possa usar o termo “Atrito” sem ainda usar expressões técnicas como “valor máximo da força de Atrito estático” como foi feito na aplicação deste produto.

A ideia deste experimento é criar uma situação interativa na qual os alunos possam apropriar-se da fenomenologia do Atrito, desenvolvendo em particular a relação dele com a força normal. Para tanto se usa a pequena caixa de madeira presa a um dinamômetro com um peso de chumbo em seu interior, sobre uma superfície plana horizontal. Foi utilizada uma pequena tábua de madeira com uma lixa colada sobre ela, conforme é mostrado na figura 22.

Na iminência do movimento, a força aplicada sobre a caixa paralelamente à superfície através do dinamômetro é igual à força de Atrito vigente. Nestas condições pode-se medir a intensidade da força de Atrito diretamente pelo dinamômetro. Então, se dentro da caixa estiverem dois pesos de chumbo iguais, o dinamômetro medirá aproximadamente o dobro da força, caso a força de Atrito seja proporcional ao peso dentro da caixa para o caso em que o peso da caixa seja desprezível quando comparado ao peso do chumbo o que é o caso deste experimento. É o que acontece quando colocamos o outro peso de chumbo.

➤ **Materiais necessários**

- Uma tábua de madeira colada, na sua superfície superior, uma lixa de madeira. Foi utilizada uma lixa de madeira com gramatura 220. É importante ressaltar que esta tábua deve ter largura suficiente para que toda a caixa do experimento permaneça por cima dela. Suas dimensões são: 60 cm x 15 cm.

Figura 23 - Tábua utilizada no experimento “A caixa”



Fonte: Arquivo pessoal

- Uma caixa qualquer, desde que as suas laterais sejam rígidas. A que foi utilizada é feita de um aglomerado de pó de madeira, e já não possuía utilidade. Suas dimensões são: 25 cm x 15 cm x 5 cm.

Figura 24 - Caixa utilizada no experimento “A caixa”



Fonte: Arquivo pessoal.

- Um dinamômetro que pode ser adquirido pela internet, por exemplo. O que foi utilizado é graduado até 5 Newtons.

Figura 25 - Dinamômetro utilizado no experimento “A caixa”



Fonte: Arquivo pessoal

- Duas massas de chumbo de 150 gramas, utilizadas para pesca. Essas massas podem ser compradas em qualquer loja de artigos para caça e pesca e recebe o nome de “chumbada”.

Figura 26 - Massas de chumbo utilizadas no experimento “A caixa”



Fonte: Arquivo pessoal

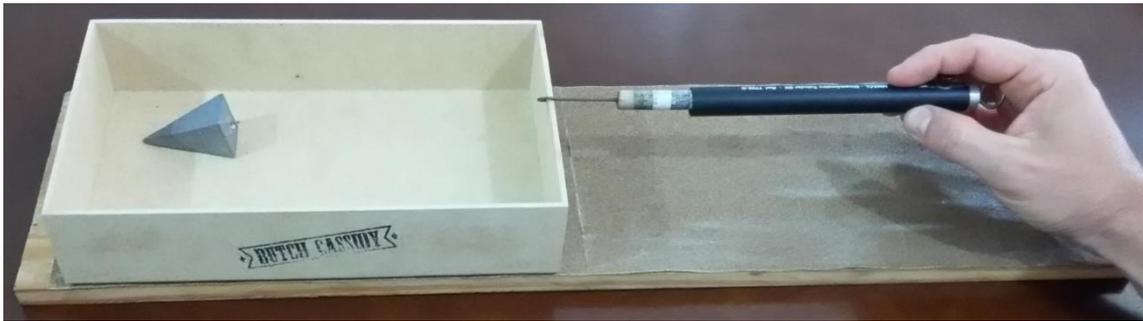
➤ **Montagem**

1. Posicionamos a caixa sobre a tábua de madeira com a lixa virada para cima e sobre ela colocamos uma das massas de chumbo.
2. Utilizando o dinamômetro fazemos força para tentar tirar a caixa do repouso até que se estabeleça a iminência do movimento.
3. Neste momento fazemos a leitura no dinamômetro.
4. Repetimos os procedimentos 1, 2 e 3, mas agora com duas massas de chumbo.
5. Repetimos a leitura no dinamômetro e comparamos os dois resultados obtidos. Veremos que quando se aumenta o peso dentro da caixa, também se aumenta a força de Atrito aplicada sobre ela pela superfície.
6. Agora pedimos para algum aluno tentar repetir o resultado, mas sem adicionar outra massa de chumbo. Caso nenhum aluno tenha a ideia de empurrar a caixa contra a superfície com a mão, o próprio professor deverá executar a tarefa demonstrando que podemos obter um resultado semelhante.

➤ **Comentários**

O professor deve deixar claro para os alunos que podemos aumentar a reação normal sem aumentarmos necessariamente o peso dentro da caixa, e que o Atrito aumenta com o aumento desta força normal.

Figura 27 - Caixa sendo puxada pelo dinamômetro, com um peso de chumbo



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 28 – Caixa sendo puxada pelo dinamômetro, com dois pesos de chumbo



Fonte: Arquivo pessoal

Repare que na figura 27, onde temos a caixa com somente um peso de chumbo, a distensão no dinamômetro é a metade da distensão dele na figura 28, onde temos dois pesos de chumbo com aproximadamente a mesma massa.

Adotando a lógica da abordagem POE (predizer-observar-explicar), o professor propõe à turma a seguinte situação: *Seria possível obtermos os mesmos valores no dinamômetro, sem aumentarmos o número de pesos de chumbo dentro da caixa? Em caso afirmativo, como?*

A resposta esperada, e que foi dada pelas duas turmas em que a atividade foi aplicada, é que podemos aumentar a força de Atrito pressionando a caixa contra a superfície com a própria mão; o que nos dá indícios concretos de que os alunos avaliaram que o Atrito depende da força exercida pelo corpo sobre a superfície, e nem sempre essa força será o seu peso.

### 3.2.2 Experimento “O arrastão”

Na aplicação do segundo experimento intitulado “O arrastão”, foi apresentada uma situação em que se pretende avaliar se o Atrito entre um móvel sólido e a superfície sobre a qual ele desliza, também sólida, depende, ou não, do tamanho da área de contato entre eles.

Figura 29 – Experimento “O arrastão” – Situação 1



Fonte: Arquivo pessoal do autor

A ideia deste experimento consiste em utilizarmos duas caixas de CDs puxadas por um dinamômetro escolar de duas formas: na primeira situação, elas estão dispostas espalhadas como um tapete conforme a figura 29. Na segunda situação, elas estão empilhadas, com uma área de contato com a superfície igual à metade do valor inicial, conforme a figura 30.

Figura 30 – Experimento “O arrastão” – Situação 2



Fonte: Arquivo pessoal do autor

Se na iminência do movimento das caixas, a distensão do dinamômetro for igual nas duas situações, corrobora-se que a força de Atrito não depende da área de contato entre as superfícies. E é exatamente o que é observado.

➤ **Materiais necessários**

- Uma tábua de madeira colada na sua superfície superior a uma lixa de madeira. Foi utilizada uma lixa de madeira com gramatura 220. É importante ressaltar que esta tábua deve ter largura suficiente para que uma capinha de CD fique totalmente apoiada por cima dela. Suas dimensões são: 60 cm x 15 cm.

Figura 31 - Tábua utilizada no experimento: “O arrastão”



Fonte: Arquivo pessoal

- Fita crepe larga

Figura 32 - Fita crepe larga utilizada no experimento: “ O arrastão”



Fonte: Arquivo pessoal

- Duas capinhas de CDs usadas, unidas em suas partes superiores por dois pedaços de fita crepe. Na extremidade direita da capinha à direita deve-se colocar um pedaço de fita crepe dobrada com um furinho no meio para servir de local de colocação do dinamômetro.

Figura 33 - Capinhas de CDs utilizadas no experimento: “O arrastão”



Fonte: Arquivo pessoal

- Um dinamômetro, que pode ser adquirido pela internet, por exemplo. O dinamômetro utilizado por mim é graduado em até 5 Newtons.

Figura 34 - Dinamômetro utilizado no experimento: “O arrastão”



Fonte: Arquivo pessoal

### ➤ Montagem

1. Colocam-se as capinhas de CDs unidas através da fita crepe sobre a tábua de forma que uma não fique sobre a outra, como se fosse um tapete estendido no chão, e com o dinamômetro, exercemos uma força paralela à superfície tentando tirar o conjunto do repouso. A força deve ser aplicada lentamente até que se tenha a iminência de movimento. Neste ponto deve-se fazer a leitura no dinamômetro.

Figura 35 - Capinhas de CDs sendo puxadas pelo dinamômetro. Situação 1



Fonte: Arquivo pessoal

2. Repete-se o procedimento 1, mas agora com as capinhas uma sobre a outra, formando uma pequena torre de capinhas.

Figura 36 - Capinhas de CDs sendo puxadas pelo dinamômetro. Situação 2



Fonte: Arquivo pessoal

### ➤ Comentários

Podemos observar que nas duas situações com as capinhas, a distensão no dinamômetro foi a mesma. O que nos dá indícios que a área de contato entre as superfícies aparentemente não afeta o Atrito entre elas.

Para não deixar essa relação ser somente empírica, mas dar a ela uma compreensão racional é necessário ter uma abordagem microscópica da situação. Uma explicação simples para a independência da área é dada por Lang (2010), baseando-se em três pressupostos:

1 - A área de contato EFETIVA em nível microscópico entre os dois sólidos é muito menor do que a área APARENTE (área em nível macroscópico tomada como área de contato), pois os dois corpos se tocam apenas em alguns pontos dessa área.

2 - A intensidade máxima da força de Atrito depende do número de pontos de contato entre os dois sólidos, ou dizendo de outra maneira, depende da área EFETIVA e não da área APARENTE.

3 - A área EFETIVA de contato, mantida a área APARENTE constante, é diretamente proporcional à intensidade da força de compressão (força normal à superfície de contato). Dizendo de outra forma, mantida a área APARENTE constante, a área EFETIVA aumenta conforme aumenta a pressão.

Imaginemos agora o seguinte, num caso em que a intensidade da força normal à superfície de contato seja mantida constante. Ao diminuirmos a área APARENTE, aumentamos a pressão. Ao aumentar a pressão, aumentaria proporcionalmente o número de pontos de contato caso a área APARENTE não tivesse sido diminuída. Como, por suposição, a área APARENTE diminuiu, o número total de pontos de contato PERMANECEU CONSTANTE. Permanecendo constante o número total de pontos de contato, a intensidade máxima da força de Atrito É CONSTANTE. Conclusão para este modelo: de fato a intensidade da máxima força de atrito depende da área EFETIVA de contato que permanece constante quando a área APARENTE diminui ou aumenta, desde que mantida constante a intensidade da força normal. Ou seja, em nível microscópico o modelo vai em acordo com a nossa intuição: a força de Atrito máximo depende da área, desde que a área considerada seja a área EFETIVA e não a área APARENTE.<sup>7</sup>

### 3.2.3 Experimento “A lixa”

O último dos três experimentos interativos deste módulo intitulado “A lixa”, no qual se pretende avaliar se há relação entre a força de Atrito que atua sobre um corpo sólido com a natureza das superfícies e o seu estado de polimento. O material utilizado nesta atividade é composto por uma caixa leve de madeira, contendo dois

---

<sup>7</sup> Texto retirado do artigo: “Por que o atrito não depende da área de contato do corpo?”. <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=56> Acesso em 20 de mar. 2017.

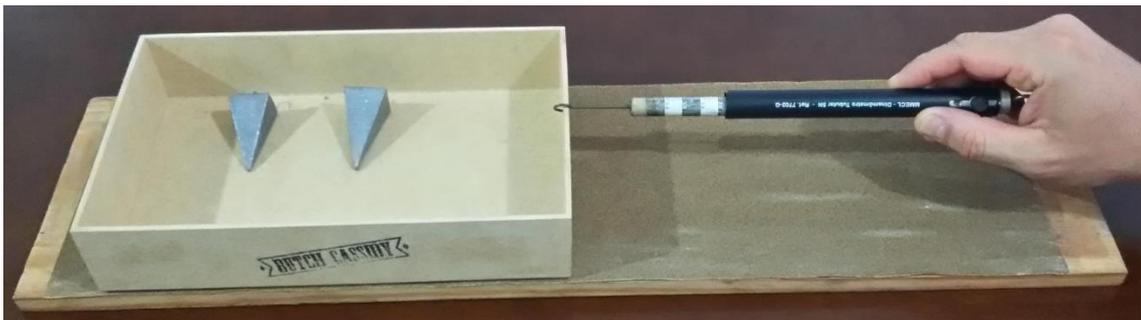
pesos de chumbo, puxada através de um dinamômetro sobre duas superfícies diferentes: uma taboa relativamente lisa, e outra com uma lixa colada em sua superfície conforme mostram as figuras 37 e 38.

Figura 37 – Conjunto do experimento “A lixa” sendo puxado sobre a tábua lisa



Fonte: Arquivo pessoal do autor

Figura 38 – Conjunto do experimento “A lixa” sendo puxado sobre a tábua com lixa



Fonte: Arquivo pessoal do autor

Considerando que o Atrito depende da natureza dos sólidos em contato (madeira sobre madeira, madeira sobre aço, aço sobre aço, etc.) e do estado de polimento das superfícies era esperado que quando puxássemos a caixa sobre a superfície de madeira sem a lixa (figura 37) a força necessária para romper o estado de estática deveria ser menor do que a força necessária para tal quando a caixa fosse puxada sobre a superfície com a lixa (figura 38).

As fotos contidas nas figuras 37 e 38 foram tiradas justamente na iminência do movimento, durante a aplicação da atividade. Podemos observar através delas que o dinamômetro está mais distendido na situação em que há a lixa, o que corrobora essa ideia.

➤ **Materiais necessários**

- Uma tábua de madeira lisa, com largura suficiente para que a caixa possa ficar totalmente sobre ela. A tábua utilizada tem as seguintes dimensões: 60 cm x 15 cm.

Figura 39 - Tábua lisa utilizada no experimento: "A lixa"



Fonte: Arquivo pessoal

- Uma tábua de madeira colada na sua superfície superior a uma lixa de madeira. Foi utilizada uma lixa de madeira com gramatura 220. A tábua deve ter largura suficiente para que a caixa utilizada no experimento possa ficar totalmente sobre ela. A tábua utilizada por mim tem as seguintes dimensões: 60 cm x 15 cm.

Figura 40 - Tábua com lixa utilizada no experimento: "A lixa"



Fonte: Arquivo pessoal

- Um dinamômetro, que pode ser adquirido pela internet, por exemplo. O dinamômetro utilizado por mim é graduado em até 5 Newtons.

Figura 41 - Dinamômetro utilizado no experimento: "A lixa"



Fonte: Arquivo pessoal

- Uma caixa qualquer, desde que as suas laterais sejam rígidas, contendo em seu interior duas massas de chumbo, cada uma com aproximadamente 150 gramas. A caixa utilizada é feita de um aglomerado de pó de madeira, e já não possuía utilidade. Suas dimensões são: 25 cm x 15 cm x 5 cm.

Figura 42 - Caixa com massas de chumbo utilizadas no experimento: “A caixa”



Fonte: Arquivo pessoal

#### ➤ Montagem

1. Coloca-se a caixa com as duas massas de chumbo sobre a tábua lisa e através do dinamômetro puxa-se o conjunto até que ele esteja na iminência do movimento. Neste momento deve-se fazer a leitura da distensão no dinamômetro.
2. Repete-se o procedimento 1, mas agora com a tábua que possui a lixa.

Figura 43 - Conjunto do experimento “A lixa” sendo puxado sobre a tábua lisa



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 44 - Conjunto do experimento “A lixa” sendo puxado sobre a tábua com lixa



Fonte: Arquivo pessoal

#### ➤ Comentário

Podemos perceber nas figuras 43 e 44 a diferença na distensão do dinamômetro. Na figura 43, onde não havia a lixa, a distensão do dinamômetro na iminência do movimento é menor do que na figura 44, onde há lixa.

### 3.2.4 Coeficiente de Atrito

Após o desenvolvimento das 3 primeiras atividades, é oportuno que o professor se valendo de um discurso de autoridade explique que a força de Atrito é proporcional à força normal através de uma constante denominada coeficiente de Atrito ( $\mu$ ) que depende da natureza das superfícies em contato e do seu grau de polimento, cujo valor é obtido através da relação  $\mu = \frac{\vec{f}_{at}}{\vec{f}_N}$ , em que:

$\vec{f}_{at}$  é a força de Atrito

$\vec{f}_N$  é a força normal

Desta relação, chega-se à expressão matemática que nos permite determinar o valor da força de Atrito:

$$\vec{F}_{at} = \mu \cdot \vec{N}$$

O professor pode adiantar que essa constante poderá ter valores diferentes para os mesmos materiais em contato, e isso dependerá de fatores que serão vistos no próximo módulo.

Após a aplicação dos experimentos foi abordada pelo professor uma situação cujo objetivo é avaliar através de cálculos a distância de frenagem de um veículo, relacionando-a com a sua velocidade inicial e as condições da pista.

Suponha que você está dirigindo um automóvel de 1200 kg e se deslocando a 72 km/h em três situações possíveis:

1. Numa pista asfaltada perfeitamente horizontal, em que o coeficiente de atrito entre os pneus e o chão vale 0,6 quando eles, os pneus, são totalmente travados e passam a derrapar sobre o chão.
2. Numa pista asfaltada com o mesmo coeficiente de atrito da situação 1, mas fazendo um ângulo de 30° com a horizontal em declive.
3. Nas mesmas condições da situação 2, porém em aclave.

Imagine que você tenha que frear bruscamente para não colidir com um obstáculo posicionado 35 metros a sua frente. Calcule a que distância deste obstáculo você parará nas três situações. Considere que  $g = 10 \text{ m/s}^2$ :

A seguir, a resolução do problema nas três situações:

#### Situação 1



$$- F_{at} = m \cdot a$$

$$- \mu \cdot N = m \cdot a$$

$$- \mu \cdot m \cdot g = m \cdot a$$

$$a = - \mu \cdot g$$

$$a = - 0,6 \cdot 10$$

$$a = - 6 \text{ m/s}^2$$

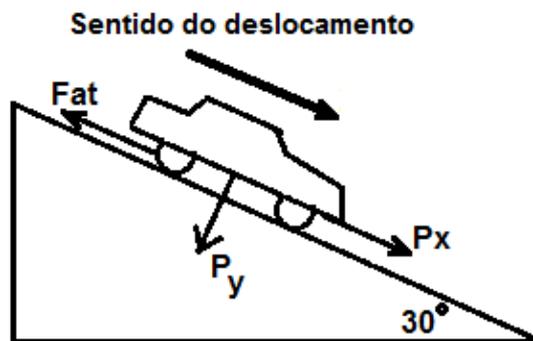
$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot d$$

$$0^2 = 20^2 + 2 \cdot (- 6) \cdot d$$

$$d = 33,3 \text{ m}$$

- Portanto, o carro consegue parar antes do obstáculo.

## Situação 2



$$Px - Fat = m.a$$

$$P.\text{sen } 30^\circ - \mu.N = m.a$$

$$m.g.0,5 - 0,6.m.g.\cos 30^\circ = m.a$$

$$5 - 5,22 = a$$

$$a = - 0,22 \text{ m/s}^2$$

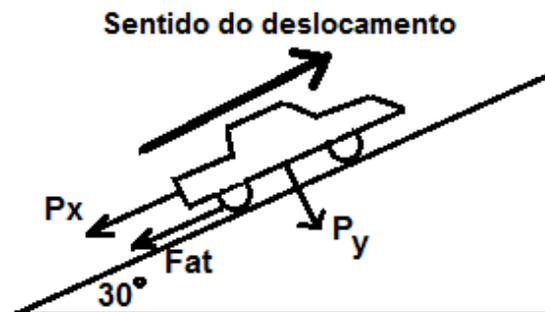
$$v^2 = v_0^2 + 2.a.d$$

$$0^2 = 20^2 + 2.(- 0,22).d$$

$$d = 909 \text{ m}$$

- Portanto o veículo não conseguiria parar antes do obstáculo.

## Situação 3



$$- Px - Fat = m.a$$

$$- P.\text{sen } 30^\circ - \mu.N = m.a$$

$$- m.g.0,5 - 0,6.m.g.\cos 30^\circ = m.a$$

$$- 5 - 5,2 = a$$

$$a = - 10,2 \text{ m/s}^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2.a.d$$

$$0^2 = 20^2 + 2.(- 10,22).d$$

$$d = 19,6 \text{ m}$$

- Portanto o veículo conseguiria parar antes do obstáculo.

Essa atividade foi utilizada para explorar a relação que há entre a distância de frenagem com a atuação da força peso com relação ao sentido do movimento. Por exemplo, na Situação 1, o peso não atuava na direção do deslocamento, diferente das outras situações.

Na Situação 2, parte dele atuava de forma a retardar a parada, visto que se opunha ao Atrito atuando no sentido do deslocamento, já na Situação 3, parte dele atuava de forma a tornar a parada mais rápida, visto que atuava na mesma direção e sentido que o Atrito e oposto ao deslocamento. Também é importante explorar o fato que nos casos de planos inclinados a força de Atrito é menor devido à diminuição no valor da reação normal, mas acima de tudo, deve-se ressaltar o fato de que a distância de frenagem aumenta ou diminui com o quadrado da velocidade inicial.

### **3.2.5 Lista de atividades**

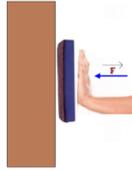
A última atividade deste módulo consistia numa lista de quatro exercícios que os alunos iriam resolver em duplas, contendo os conteúdos vistos durante a aplicação deste módulo. Aqui, diferentemente do que foi feito no Módulo 01, não foram utilizados elementos do Peer Instruction. Em vez disso, o método utilizado foi apresentar uma questão por vez às turmas, dando um tempo de 3 a 5 minutos para que os alunos pudessem tentar resolver a questão e em seguida era feita a coleta e registro das respostas através do Plickers.

O professor, então, dava a resposta correta e corrigia a questão no quadro, elucidando qualquer dúvida que surgisse. O procedimento foi repetido até que todas as quatro questões fossem resolvidas e corrigidas.

O objetivo principal foi proporcionar aos alunos a oportunidade de avaliar e clarificar os conceitos e conteúdos vistos na aula. Os exercícios utilizados são apresentados a seguir com breves comentários justificando a alternativa correta, destacando a resposta correta em negrito.

As forças contidas na resolução das questões também estão representadas em negrito. O primeiro exercício mostra que a força de Atrito pode não ter relação com o peso do corpo, mas sim com a força que o corpo exerce sobre a superfície.

**01.** Imagine o apagador do quadro da sua sala de aula sendo empurrado contra ele pelo professor conforme o esquema abaixo:



Analise cada uma das sentenças e marque a que for correta:

- a) Se o apagador não cai é porque a força que o professor está fazendo contra ele é igual ao seu peso;
- b) Se o apagador não cai é porque o Atrito entre ele e o quadro é maior do que o seu peso;
- c) O Atrito entre o apagador e o quadro independe da força com que o professor aperta o apagador;
- d) Na iminência do movimento o professor estará fazendo uma força que provoca no apagador um Atrito exatamente igual ao seu peso.**

No caso apresentado nessa questão, o Atrito não tem relação com o peso do apagador, mas sim com a força que o professor usa para pressioná-lo contra a parede. A força de Atrito será vertical e dirigida para cima, contrapondo-se ao peso. Quanto mais força o professor fizer, maior será o peso que ela poderá suportar. Na iminência da queda, em particular, a força de Atrito é igual ao peso do apagador, por isso ele não cai.

O segundo exercício utiliza a primeira Lei de Newton para encontrar a força que arrasta um bloco sobre a superfície áspera, numa situação idealizada.

**02.** (FATEC) O bloco da figura, de massa 5 Kg, move-se com velocidade constante de 1,0 m/s num plano horizontal, sob a ação da força **F**, constante e horizontal.



Se o coeficiente de atrito entre o bloco e o plano vale 0,20, e a aceleração da gravidade,  $10\text{m/s}^2$ , então o módulo da força **F**, em Newtons, vale:

- a) 25   b) 20   c) 15   **d) 10**

Como a velocidade do bloco do exercício contido na questão é constante, o somatório das forças que atuam sobre ele na direção do movimento é igual a zero.

Portanto:

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

$$F = F_{at}$$

$$F = \mu \cdot N$$

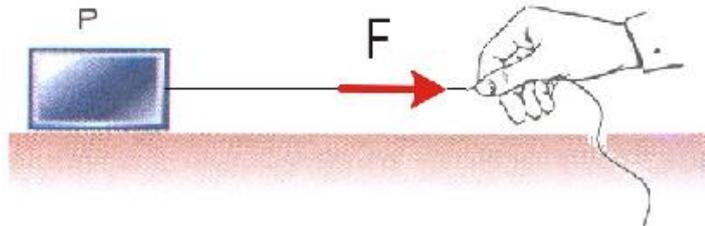
$$F = \mu \cdot m \cdot g$$

$$F = 0,25 \cdot 10$$

$$F = 10 \text{ N}$$

O terceiro exercício da sequência utiliza a segunda Lei de Newton para determinar a tração de um barbante que arrasta um bloco sobre uma superfície áspera numa situação idealizada.

**03.** (UNIFOR) Um bloco de massa 20 kg é puxado horizontalmente por um barbante. O coeficiente de atrito entre o bloco e o plano horizontal de apoio é 0,25. Adota-se  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Sabendo que o bloco tem aceleração de módulo igual a  $2,0 \text{ m/s}^2$ , concluímos que a força de tração no barbante tem intensidade igual a:



a) 40N b) 50N c) 60N **d) 90N**

Na situação apresentada nessa questão, ao aplicarmos a segunda Lei de Newton, temos:

$$F - F_{at} = m \cdot a$$

$$F - \mu \cdot N = m \cdot a$$

Lembrando que neste caso:  $N = m \cdot g$

$$F - \mu \cdot m \cdot g = m \cdot a$$

$$F = m \cdot a + \mu \cdot m \cdot g$$

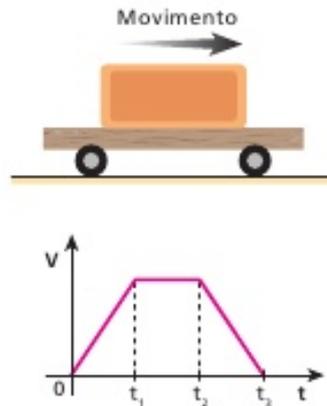
$$F = 20 \cdot 2 + 0,25 \cdot 20 \cdot 10$$

$$F = 40 + 50$$

$$F = 90 \text{ N}$$

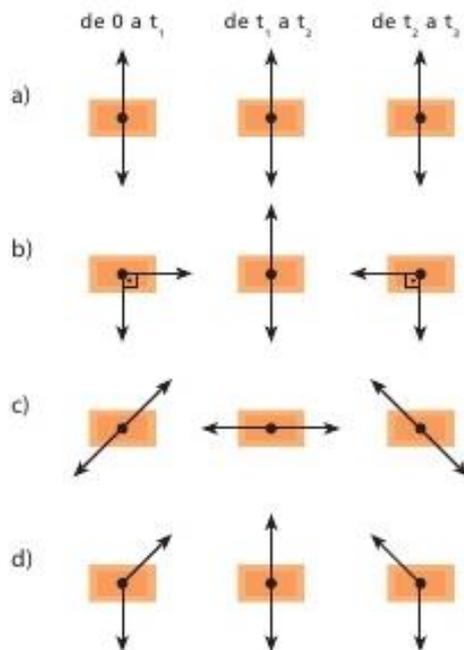
A quarta e última questão propõe uma situação em que, para se chegar à resposta correta, o aluno deve ter conhecimentos das Leis de Newton, das características do Atrito em regime de estática e de soma vetorial.

**04.** Considere a situação esquematizada na figura, em que um tijolo está apoiado sobre uma plataforma de madeira plana e horizontal. O conjunto parte do repouso no instante  $t_0 = 0$  e passa a descrever uma trajetória retilínea com velocidade de intensidade  $V$ , variável com o tempo, conforme o gráfico apresentado. No local, a influência do ar é desprezível.



Admitindo que não haja escorregamento do tijolo em relação à plataforma e adotando um referencial fixo no solo, aponte a alternativa que melhor representa as forças que agem no tijolo nos intervalos de 0 a  $t_1$ , de  $t_1$  a  $t_2$  e de  $t_2$  a  $t_3$ .

Obs.: Considere que as forças que possam provocar as variações na velocidade atuam somente sobre a plataforma, e não sobre o tijolo.



Em todas as situações dessa questão, há a força peso que sempre é vertical e dirigida para baixo. Na situação que vai do instante  $t_1$  ao instante  $t_2$  temos a força normal, que é vertical e para cima, a ausência do Atrito, visto que não há aceleração e a força peso. Entretanto nas situações que vão do instante zero até o instante  $t_1$  e do instante  $t_2$  ao instante  $t_3$  há uma soma vetorial da força normal, que será vertical e para cima com a força de Atrito que age horizontalmente e para frente do instante zero até  $t_1$  e horizontalmente e para trás do instante  $t_2$  ao  $t_3$ . Essas duas somas vetoriais resultam nos esquemas representados na **letra “d”**.

### 3.3 MÓDULO 03 – O ATRITO OU OS ATRITOS?

Este módulo aborda as diferenças entre o Atrito estático e o cinético e suas implicações nos contextos tecnológicos e de segurança no trânsito. Esta abordagem é feita seguindo a sequência: pergunta motivacional, perguntas para debate, duas situações idealizadas que tratam de características específicas do Atrito em diferentes contextos e a apresentação de um vídeo que fala sobre o sistema de freios ABS. Os aspectos conceituais relevantes para a construção do módulo estão dispostos a seguir no quadro 06.

Quadro 06 – Aspectos conceituais relevantes do Módulo 03 (Continua)

Aspectos Conceituais	Descrição
Tema Abordado	A força de Atrito no repouso e no movimento e suas consequências.
Objetivos Gerais (o que o aluno poderá aprender com essa aula)	1 - Saber diferenciar o Atrito dinâmico do estático. 2 - Como se calcula o coeficiente de Atrito estático e o cinético/dinâmico. 3 - Por que o freio ABS é mais eficaz que o sistema convencional. 4 - Saber resolver situações problema que envolvam os conceitos de Atrito dinâmico e estático.
Duração das atividades	100 minutos, duas aulas
Conhecimentos prévios	1 - Leis de Newton 2 - Soma vetorial

Quadro 06 – Aspectos conceituais relevantes do Módulo 03 (Conclusão)

Aspectos Conceituais	Descrição
Estratégias	1 - Aula expositiva dialogada 2 - Incitação da curiosidade sobre o tema através de uma pergunta de abertura e de perguntas para debate 3 - Exposição interativa e dialogada de um experimento para debate e análise de conceitos utilizando a abordagem POE 4 - Utilização de vídeo para melhor visualização dos conceitos abordados
Recursos	1 - Quadro, pincel e apagador 2 - Uso do Laboratório de Informática ou sala de vídeo

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme dito anteriormente, a introdução do assunto foi feita mediante a apresentação de uma pergunta motivacional, em que as respostas dos alunos foram anotadas em um material que eles receberam para posterior análise, seguida das perguntas para debate, onde o interesse era justamente o diálogo sobre o tema, por isso não houve o registro escrito dessas respostas. A análise das respostas às perguntas se encontra no relato deste módulo, após a descrição detalhada das atividades. O quadro 07 mostra as perguntas.

Quadro 07 – Perguntas do Módulo 3

Pergunta Motivacional	Perguntas para Debate
<p>O freio ABS ou travão ABS (acrônimo para a expressão alemã Antilockier-Bremssystem, embora mais frequentemente traduzido para a inglesa Anti-lock Breaking System) é um sistema de frenagem (travagem) que evita que a roda bloqueie (quando o pedal de freio é pisado fortemente) e entre em derrapagem. A derrapagem aumenta o espaço necessário para que o automóvel pare totalmente. Por que o carro para mais rápido usando o ABS do que quando não usa?</p>	1 - O que você entende através das expressões: “Atrito estático” e “Atrito dinâmico”?  2 - Imagine que um corpo está imóvel sobre uma superfície rugosa e horizontal sendo compelido por uma força paralela a essa superfície. Se ele está imóvel é porque a força feita sobre ele não é suficiente para vencer o Atrito entre ele e a superfície. Uma vez vencida essa força de Atrito, o corpo irá se mover. A partir deste instante, você acha que a força de Atrito permanece a mesma, aumenta ou diminui? Justifique.

Fonte: Elaborado pelo autor

Após a apresentação das perguntas, realizados os debates, que serão descritos posteriormente, e feitos os registros, deu-se início à sequência das três atividades que compõem este módulo.

Quadro 08 – Sequência de atividades

<b>Atividade 1</b>	Aula essencialmente expositiva, coordenada pelo professor, que aborda características do Atrito estático e do Atrito dinâmico.
<b>Atividade 2</b>	Aula essencialmente expositiva, coordenada pelo professor, que aborda características do Atrito que age sobre um corpo, diferenciando-o nos estados de repouso e movimento e utilizando um experimento simples envolvendo um plano inclinado e a abordagem POE para auxiliar a construção de significados.
<b>Atividade 3</b>	Apresentação de um vídeo que fala sobre os freios ABS.

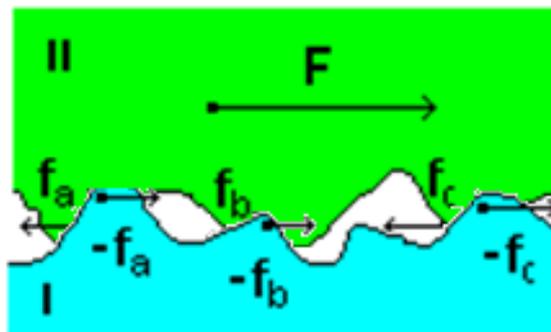
Fonte: Elaborado pelo autor

A primeira atividade deste módulo tem como principal objetivo ensinar sobre Atrito estático e dinâmico e, em particular, o que ocorre com a força de Atrito que age sobre um corpo quando ele é posto a deslizar sobre uma superfície. De acordo com Neide (2015):

[...] o modelo usualmente conhecido para descrever o Atrito macroscópico afirma que o coeficiente de Atrito estático é maior do que o coeficiente Atrito cinético. Este é um modelo antigo, remontando a Leonardo da Vinci (1452-1519) que qualitativamente já havia observado esse comportamento. Vale destacar que esse modelo descreve com aproximação razoável o Atrito apenas em condições especiais, de forma que é fácil encontrar situações do cotidiano e em laboratórios que o contradigam. Feynman em Lectures on Physics afirmava que as leis relacionadas a este modelo são “fracas” e que ainda não existe uma teoria fundamental para o Atrito. Porém, dependendo de como este tema for tratado, pode apresentar potencial de se tornar um exercício mental e experimental que possibilite aos alunos construir conhecimentos de Física. Após essas considerações, procede-se para a questão levantada. Para ir além do que este modelo pode oferecer, deve-se considerar o que acontece em escala microscópica. Quando dois corpos estão em contato, somente alguns dos pontos da superfície destes corpos participam efetivamente do contato, o conjunto destes pontos é chamado de área de contato real. Contato pode ser pensado como a configuração em que as moléculas da superfície de um corpo estão as mais próximas possíveis das moléculas da superfície de outro corpo, no limite em que as forças elétricas de repulsão os impeçam de se aproximar. Se dois corpos idênticos sem imperfeições em suas superfícies (planamente perfeitas) fossem aproximados, o que aconteceria? Nesse limite a área de contato real é máxima. Para um cristal, por exemplo, quando aproximadas essas superfícies perfeitas formar-se-ia uma superfície de contato perfeita, de forma que os dois cristais iriam fundir-se num único corpo. Portanto impurezas na superfície e rugosidades (macroscopicamente aspereza) impedem que isso aconteça. Quando um corpo está em repouso sobre

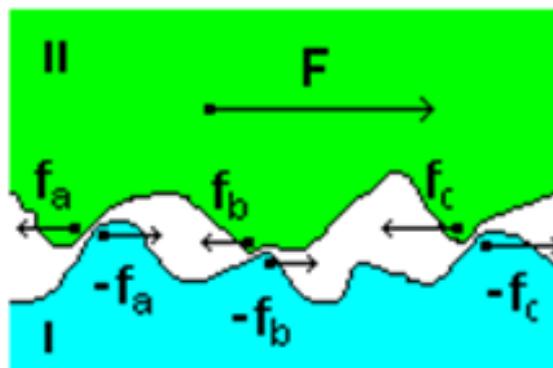
outro corpo, as impurezas e irregularidades em suas superfícies se acomodam estavelmente configurando uma distância média entre suas superfícies. Se uma superfície está em movimento relativo em relação a outra, duas coisas podem acontecer, ou alguns picos de rugosidades de uma superfície estão sendo cortados, ou a distância média entre as superfícies aumentou. Apenas em casos muito especiais a primeira condição não vem acompanhada da segunda, pois no momento da fissura dos picos de rugosidade forças elétricas mais intensas atuam sobre as moléculas da superfície contrária no sentido oposto do contato desfeito. Ao manter as superfícies em movimento, a distância média entre as superfícies converge para um valor maior do que quando elas estão em repouso. De acordo com o conceito de superfície de área real, quanto maior essa distância, menor a área de contato real, e, portanto, menor será o arraste, diminuindo a força contrária à direção do movimento, ou seja, menor Atrito.

Figura 45 – Situação de Atrito estático



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 46 – Situação de Atrito dinâmico



Fonte: Arquivo pessoal.

A partir dessa explicação, podemos construir representações de situações de Atrito estático e dinâmico em que o espaçamento entre as superfícies em contato é aumentado em caso de escorregamento (ver figuras 45 e 46). Essas figuras mostram que, quando não há movimento macroscópico entre as superfícies, as áreas de contato entre as imperfeições são maiores que na outra situação, o que

pode permitir uma força máxima se opondo ao movimento de maior intensidade na primeira situação do que na segunda.

Após a explicação sobre a situação descrita anteriormente, que se traduz como a primeira atividade do módulo, foi proposta a segunda atividade, uma situação experimental interativa, na qual seria possível dar mais sentido aos conceitos discutidos previamente.

Esta atividade visava analisar, de forma simplificada, se a força de Atrito entre um corpo e a superfície sobre a qual ele está se movendo é maior, menor ou igual, do que o limite máximo da força de Atrito estático que atua sobre ele. Essa análise foi feita utilizando um corpo, neste caso, uma moeda, sobre um plano inclinado.

Primeiramente, o professor, utilizando o quadro da sala de aula, representou as forças que estavam atuando no corpo quando ele se encontra em repouso e também quando ele se encontra em movimento no plano inclinado, explicitando quais as diferenças dinâmicas entre as duas situações.

O objetivo principal foi mostrar que as forças são as mesmas, entretanto, no caso do repouso a soma das forças que atuam na direção do movimento é igual à zero, e no caso do movimento com aceleração, ela é igual ao produto da massa do corpo por essa aceleração.

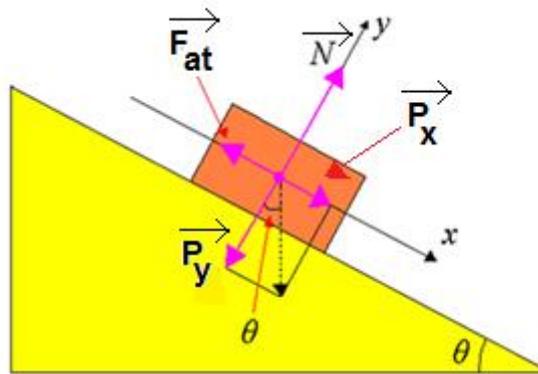
Após analisar com os alunos as representações e diferenças nas duas situações citadas acima, foi feita a demonstração matemática que nos leva a relação:

$$\mu_e = \operatorname{tg}\theta$$

Onde:

- $\mu_e$  = coeficiente de Atrito estático
- $\operatorname{tg}\theta$  = tangente do ângulo do plano inclinado na iminência do movimento

Figura 47 – Corpo sólido sobre uma superfície inclinada e as forças que atuam sobre ele



Fonte: Arquivo pessoal

Destacaremos em **negrito** os elementos que representam forças. Ao se aumentar vagarosamente, o valor do ângulo  $\theta$  chegará a um ponto em que o móvel estará na iminência de deslizar, e assim o ângulo  $\theta$  assume um valor limite no qual a força de Atrito estático máxima, representada aqui por  $F_{at_e}$  se iguala ao valor da força  $P_x$ .

Logo:  $P_x = F_{at_e}$   
 Então:  $F_{at_e} = P \cdot \text{sen}\theta$   
 Sabendo que:  $P_y = N$   
 Que equivale à relação:  $N = P \cdot \text{cos}\theta$   
 Como:  $F_{at_e} = \mu_e \cdot N$   
 Portanto:  $F_{at_e} = \mu_e \cdot P \cdot \text{cos}\theta$

O coeficiente de Atrito estático então é dado por:

$$\mu_e = P \cdot \text{sen}\theta / P \cdot \text{cos}\theta$$

$$\mu_e = \text{sen}\theta / \text{cos}\theta$$

Sendo assim:  $\mu_e = \text{tg}\theta$

Após a explicação, o professor realizou um experimento para determinar o coeficiente de Atrito estático, utilizando uma moeda e uma régua grande de acrílico, como plano inclinado. O acrílico é melhor do que a madeira, pois tem a superfície mais homogênea. Aumentando-se progressivamente o ângulo de inclinação horizontal da régua até a iminência do movimento, foi determinado o coeficiente de

Atrito estático através da medida do ângulo de inclinação com um transferidor na beirada de uma mesa.

Posteriormente, utilizando a lógica da abordagem POE, foi proposta à turma a seguinte questão: “*O que aconteceria se o valor do ângulo  $\theta$  fosse maior do que àquele em que se estabelece a iminência do movimento?*”. A resposta que se esperava é que o bloco entra em movimento, passando de uma situação de imobilidade para uma situação de movimento. Assim, o professor perguntou: “*O módulo de  $P_x$  continua igual ao módulo de  $F_{at}$ ? E como poderíamos determinar a aceleração do corpo nesta situação?*”.

O quadro 09 traz a demonstração teórica de como se calcula o valor da aceleração nas condições mencionadas, conforme feito durante a aula.

Quadro 09 – Cálculo do valor da aceleração

<b>Cálculo do Valor da Aceleração</b>
$P_x - F_{at} = m \cdot a$
$P \cdot \text{sen}\theta - \mu \cdot N = m \cdot a$
$m \cdot g \cdot \text{sen}\theta - \mu_c \cdot P_y = m \cdot a$
$m \cdot g \cdot \text{sen}\theta - \mu_c \cdot mg \cdot \text{cos}\theta = m \cdot a$
$a = g \cdot \text{sen}\theta - \mu_c \cdot g \cdot \text{cos}\theta$
$a = g (\text{sen}\theta - \mu_c \cdot \text{cos}\theta)$

Nota: Os valores de  $\text{sen}\theta$  e  $\text{cos}\theta$  podem ser medidos com transferidor e calculadora científica

Fonte: Elaborado pelo autor

O valor da aceleração também pode ser medido com uma fita métrica, uma calculadora e um cronômetro. Basta medirmos o deslocamento que o bloco teria a partir do repouso e o tempo que ele levaria para percorrer esse comprimento. Daí aplicam-se esses valores na função horária da posição do movimento retilíneo uniformemente variado e se obtém o valor esperado para a aceleração. Tomando a equação encontrada acima:  $a = g (\text{sen}\theta - \mu_c \cdot \text{cos}\theta)$ , e aplicando nela o valor determinado experimentalmente para a aceleração, podemos encontrar o valor do coeficiente de Atrito cinético  $\mu_c$ , que numericamente será menor do que o valor do coeficiente de Atrito estático.

Observe que, se manipularmos a equação anterior, isolando o  $\mu_c$ , chega-se à seguinte equação:  $\mu_c = \frac{a}{g \cdot \cos\theta}$ , que permite calcular diretamente o valor do  $\mu_c$ . Essa equação permite então determinar o coeficiente de Atrito cinético, mostrando que ele é menor do que o coeficiente de Atrito estático. Por questões de otimização do tempo, não foi feita a determinação quantitativa deste coeficiente. O professor mencionou, como exemplo que corrobora a ideia de que o coeficiente de Atrito estático é maior do que o dinâmico, um relatório disponível na internet<sup>8</sup>.

Após a aplicação dessas atividades, foi realizada a apresentação do vídeo que mostra como é o comportamento de um veículo ao frear bruscamente quando utiliza o sistema de freios ABS, e quando não o utiliza. O vídeo destaca o fato de que o sistema ABS não só diminui a distância de frenagem como também não anula a capacidade de manobrabilidade do veículo durante a frenagem.

Figura 48 – Imagem do vídeo: Frenagens com e sem ABS



Fonte: Retirada da internet<sup>9</sup>

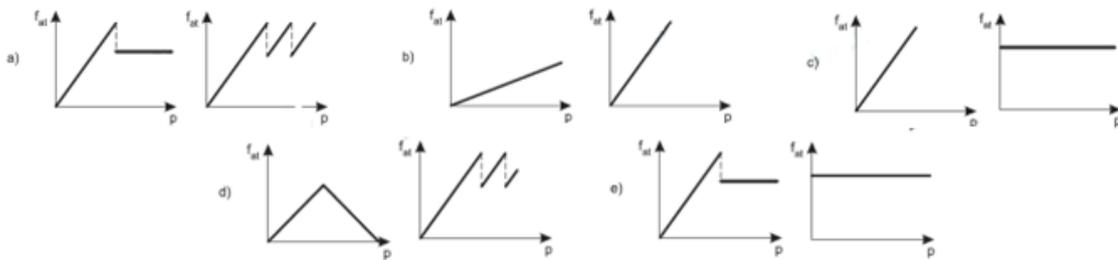
Caso o vídeo sugerido na figura 48 não esteja mais disponível na ocasião em que o leitor queira fazer uso dele, sugerimos procurar vídeos que destaquem esses dois aspectos.

<sup>8</sup> O relatório citado é disponível no seguinte link: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/321501/mod\\_wiki/attachments/254/Determina%C3%A7%C3%A3o%20do%20coeficiente%20de%20atrito%20est%C3%A1tico%20e%20cin%C3%A9tico..pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/321501/mod_wiki/attachments/254/Determina%C3%A7%C3%A3o%20do%20coeficiente%20de%20atrito%20est%C3%A1tico%20e%20cin%C3%A9tico..pdf) Acesso em 04/10/2018.

<sup>9</sup> Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=STdKcS54Gpk> Acesso em 24 de abr. 2017.

Finalizando as atividades deste módulo, foi corrigida e discutida com as turmas a questão 78 da prova do ENEM de 2012, que traz justamente a situação envolvendo os freios ABS. Eis a questão.

Os freios ABS são uma importante medida de segurança no trânsito, os quais funcionam para impedir o travamento das rodas do carro quando o sistema de freios é acionado, liberando as rodas quando estão no limiar do deslizamento. Quando as rodas travam, a força de frenagem é governada pelo Atrito cinético. As representações esquemáticas da força de Atrito  $f_{at}$  entre os pneus e a pista, em função da pressão  $p$  aplicada no pedal de freio, para carros sem ABS e com ABS, respectivamente, são:



O professor corrigiu a questão se apropriando de um discurso de autoridade no qual ele orientou o aluno no sentido de que a força de Atrito é estática até o limiar do deslizamento, aumentando proporcionalmente com o aumento da pressão no pedal até atingir um valor máximo representado por  $F_{at\text{-máximo}}$ , fazendo uma analogia com o experimento do plano inclinado realizado neste módulo. Sem os freios ABS, quando a pressão ultrapassa este valor, a força de Atrito é dinâmica, com um valor fixo abaixo do  $F_{at\text{-máximo}}$ , travando as rodas.

No caso dos freios ABS, eles impedem o travamento das rodas, através da liberação das rodas ao aproximar a pressão de seu valor limiar, fazendo isso sucessivas vezes, mantendo assim o Atrito em regime estático.

Assim, os gráficos  $f_{at} \times p$  apresentam uma função linear crescente até o valor da pressão limiar e após este valor apresenta outro menor que o máximo  $F_{at\text{-máximo}}$ , no caso da ausência de freios ABS; e valores variáveis sucessivas vezes, na presença dos freios ABS, e a média desses valores é superior ao valor de  $f_{at}$  no caso sem ABS. Resposta: **letra A**.

### 3.4 MÓDULO 04 – LISTA DE ATIVIDADES

O último módulo desta sequência didática traz uma lista com dez exercícios de múltipla escolha, que já foram cobrados em processos seletivos, abordando o Atrito. As atividades visam tentar desenvolver o raciocínio lógico e crítico dos alunos na resolução de exercícios de processos seletivos, que abordem o tema deste trabalho avaliando o seu desempenho com relação ao que é proposto nas questões e clarificando possíveis dúvidas.

A coletânea de atividades foi aplicada num total de quatro aulas, sendo que o tempo das duas primeiras foi destinado à resolução, pelos alunos de modo individual, e o tempo das duas últimas aulas foi destinado à sua correção. A correção foi feita pelo professor, no quadro, e não houve coleta de respostas através do Plickers, conforme havia ocorrido anteriormente nos módulos 01 e 02.

O professor simplesmente corrigiu questão por questão, elucidando as dúvidas que foram surgindo de acordo com a sequência que se encontra a seguir. Cada questão traz a alternativa correta destacada em negrito, seguida dos comentários importantes a seu respeito. As forças estão destacadas em negrito.

- 01.** (UNICAMP – 2011) O sistema de freios ABS (do alemão “Antiblockier-Bremssystem”) impede o travamento das rodas do veículo, de forma que elas não deslizem no chão, o que leva a um menor desgaste do pneu. Não havendo deslizamento, a distância percorrida pelo veículo até a parada completa é reduzida, pois a força de Atrito aplicada pelo chão nas rodas é estática, e seu valor máximo é sempre maior que a força de Atrito cinético. O coeficiente de Atrito estático entre os pneus e a pista é  $\mu_e = 0,80$  e o cinético vale  $\mu_c = 0,60$ . Sendo  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e a massa do carro  $m = 1200 \text{ kg}$ , o módulo da força de Atrito estática máxima e a da força de Atrito cinética são, respectivamente, iguais a:
- a) 1200 N e 12000 N
  - b) 12000 N e 120 N
  - c) 20000 N e 15000 N
  - d) 9600 N e 7200 N**
  - e) 9600 N e 1200 N

Esse exercício visa somente mostrar ao aluno que os valores das forças de Atrito que podem atuar no veículo possuem valores diferentes, dependendo do regime de frenagem. No caso, é melhor que o regime seja o estático, pois o Atrito é maior.

Força de Atrito estático máxima ( $F_{atM}$ ):

$$F_{atM} = \mu_e \cdot N$$

$$F_{atM} = \mu_e \cdot P$$

$$F_{atM} = \mu_e \cdot m \cdot g$$

$$F_{atM} = 0,8 \cdot 1200 \cdot 10$$

$$F_{atM} = 9600 \text{ N}$$

Força de Atrito cinético ( $F_{atc}$ ):

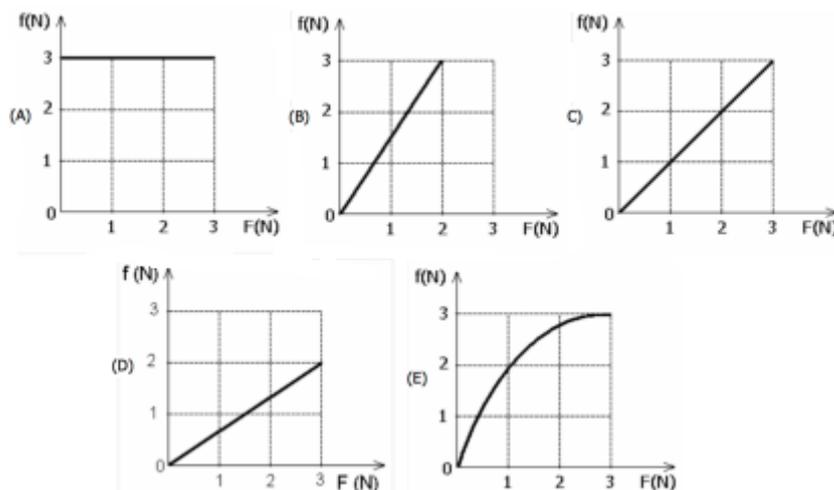
$$F_{atc} = \mu_c \cdot N$$

$$F_{atc} = \mu_c \cdot m \cdot g$$

$$F_{atc} = 0,6 \cdot 1200 \cdot 10$$

$$F_{atc} = 7200 \text{ N}$$

**02.** (UFRGS – 2011) Um cubo maciço e homogêneo, cuja massa é de 1,0 kg, está em repouso sobre uma superfície plana horizontal. O coeficiente de Atrito estático entre o cubo e a superfície vale 0,30. Uma força  $F$ , horizontal, é então aplicada sobre o centro de massa do cubo. (Considere o módulo da aceleração da gravidade igual a  $10 \text{ m/s}^2$ .) Assinale o gráfico que melhor representa a intensidade  $f(\text{N})$  da força de Atrito estático em função da intensidade  $F(\text{N})$  da força aplicada.



**Resposta: Letra C**

Essa atividade busca avaliar a capacidade do aluno de, através da leitura gráfica, indicar se as grandezas envolvidas são diretamente e linearmente proporcionais,

dentro de uma perspectiva matemática. Do ponto de vista físico, lembremos que a força de Atrito estático não possui um valor fixo, mas sim um valor fixo máximo. Suponha que numa dada situação esse valor máximo seja igual a 10 Newtons.

Nessa situação, qualquer força  $F(N)$  feita na tentativa de tirar o cubo do repouso provocará o surgimento de uma força de Atrito estático igual à  $F(N)$  atuando no sentido oposto. Por exemplo, se  $F(N) = 6 \text{ N}$ , o Atrito valerá os mesmos 6 N. Se  $F(N) = 8 \text{ N}$ , o Atrito valerá os mesmos 8 N, e assim por diante. Logo podemos dizer que  $F(N)$  e o Atrito, representado nos gráficos por  $f(N)$  são grandezas diretamente e linearmente proporcionais, cujos valores iniciais são nulos e crescem até 3 Newtons.

Cálculo da força de Atrito estático máxima ( $F_{atM}$ ):

$$F_{atM} = \mu_e \cdot N$$

$$F_{atM} = \mu_e \cdot P$$

$$F_{atM} = \mu_e \cdot m \cdot g$$

$$F_{atM} = 0,3 \cdot 1 \cdot 10$$

$$F_{atM} = 3 \text{ N}$$

As duas próximas questões (03 e 04) se referem ao enunciado apresentado na questão 02.

Um cubo de massa 1,0 kg, maciço e homogêneo, está em repouso sobre uma superfície plana horizontal. Os coeficientes de Atrito estático e cinético entre o cubo e a superfície valem, respectivamente, 0,30 e 0,25. Uma força  $\mathbf{F}$ , horizontal, é então aplicada sobre o centro de massa do cubo. (Considere o módulo da aceleração da gravidade igual a  $10,0 \text{ m/s}^2$ ).

**03.** (UFRGS – 2010) Se a intensidade da força  $\mathbf{F}$  é igual a 2,0 N, a força de Atrito estático vale:  
a) 0,0 N   **b) 2,0 N**   c) 2,5 N   d) 3,0 N   e) 10,0 N

Esta atividade tem como objetivo mostrar que a força de Atrito que atua sobre um corpo em situação de estática não será necessariamente, numericamente igual à força de Atrito estático máxima.

Cálculo da intensidade da força de Atrito estático máxima ( $F_{atM}$ ):

$$F_{atM} = \mu_e \cdot N$$

$$F_{atM} = \mu_e \cdot m \cdot g$$

$$F_{atM} = 0,3 \cdot 1 \cdot 10$$

$$F_{atM} = 3 \text{ N}$$

Como  $F_{atM} > F$ , o valor da força de Atrito que atuará no cubo terá o mesmo módulo de  $F$ .

**04.** (UFRGS – 2010) Se a intensidade da força  $F$  é igual a 6,0 N, o cubo sofre uma aceleração cujo módulo é igual a:

- a) 0,0 m/s<sup>2</sup> b) 2,5 m/s<sup>2</sup> **c) 3,5 m/s<sup>2</sup>** d) 6,0 m/s<sup>2</sup> e) 10,0 m/s<sup>2</sup>

Na quarta questão, temos como objetivo calcular a aceleração de um corpo em que o Atrito que atua sobre ele deixou de ser estático e passou a ser o cinético, uma vez que a força aplicada sobre ele foi maior do que a força máxima de Atrito estático ( $F_{atM}$ ) que poderia existir.

É importante ressaltar com a turma o fato de que quando isso ocorre, o Atrito diminui.

Como  $F > F_{atM}$ , o valor da força de Atrito que atuará no cubo será o valor da força de Atrito cinético.

Cálculo da força de Atrito cinético ( $F_{atc}$ ):

$$F_{atc} = \mu_c \cdot N$$

$$F_{atc} = \mu_c \cdot m \cdot g$$

$$F_{atc} = 0,25 \cdot 1 \cdot 10$$

$$F_{atc} = 2,5 \text{ N}$$

Pela segunda Lei de Newton, temos:

$$F - F_{atc} = m \cdot a$$

$$6 - 2,5 = 1 \cdot a$$

$$a = 3,5 \text{ m/s}^2$$

As próximas três questões (05, 06 e 07) estão relacionadas ao seguinte enunciado:

O tempo de reação  $t_R$  de um condutor de um automóvel é definido como o intervalo de tempo decorrido entre o instante em que o condutor se depara com uma situação de perigo e o instante em que aciona os freios. Considere  $d_R$  e  $d_F$ , respectivamente, a distância percorrida pelo veículo durante  $t_R$  e a distância percorrida pelo veículo durante o tempo em que os freios estiverem acionados; e  $d_T$ , a distância total percorrida. Então,  $d_T = d_R + d_F$ . Um automóvel trafega com velocidade constante de módulo  $v = 54 \text{ km/h}$  em uma pista horizontal. Em dado instante, o condutor visualiza uma situação de perigo, e seu tempo de reação a essa situação é de  $4/5$  segundos, como ilustra na sequência de figuras abaixo.



**05.** (UFRGS – 2012) Considerando-se que a velocidade do automóvel permaneceu inalterada durante o tempo de reação  $t_R$ , é correto afirmar que a distância  $d_R$  é de:

- a) 3,0m    **b) 12,0m**    c) 43,2m    d) 60,0m    e) 67,5m

Sabendo que a velocidade do automóvel permaneceu constante, podemos calcular o valor de  $d_R$  através da relação:

$$d_R = v \cdot t_R$$

$$d_R = (54/3,6) \cdot 4/5$$

$$d_R = 15 \cdot 0,8$$

$$d_R = 12 \text{ m}$$

**06.** (UFRGS – 2012) Ao reagir à situação de perigo iminente, motorista aciona os freios, e a velocidade do automóvel passa a diminuir gradativamente, a aceleração constante de módulo  $7,5 \text{ m/s}^2$ . Nessas condições, é correto afirmar que a distância  $d_F$  é de:

- a) 2,0m    b) 6,0m    **c) 15,0m**    d) 24,0m    e) 30,0m

Na situação relativa à questão 6, o movimento do veículo será regido pelas equações do MRUV. Logo:

$$d_F = v_0 \cdot t + 0,5 \cdot a \cdot t^2 \quad (1)$$

Como não temos o tempo que ele leva para parar, vamos calculá-lo através da relação:

$$v = v_0 + a.t \quad (2)$$

$$0 = 15 + (-7,5).t$$

$$t = 2 \text{ s}$$

Substituindo o valor de  $t$  na equação 1, temos:

$$d_F = 15.2 + 0,5.(-7,5).2^2$$

$$d_F = 30 - 15$$

$$d_F = 15 \text{ m}$$

**07.** (UFRGS – 2012) Em comparação com as distâncias  $d_R$  e  $d_F$ , já calculadas, e lembrando que  $d_T = d_R + d_F$ , considere as seguintes afirmações sobre as distâncias percorridas pelo automóvel, agora com o dobro da velocidade inicial, isto é, 108km/h.

I) A distância percorrida pelo automóvel durante o tempo de reação do condutor é  $2d_R$ .

II) A distância percorrida pelo automóvel durante a frenagem é de  $2d_F$ .

III) A distância total percorrida pelo automóvel é de  $2d_T$ .

Quais estão corretas?

**a) Apenas I**   b) Apenas II   c) Apenas III   d) Apenas I e III   e) I, II, III

O que deve ser ressaltado nesta atividade é que quando o movimento é uniforme, ao se dobrar a velocidade inicial, dobra-se a distância percorrida por unidade de tempo. Entretanto quando estamos falando de MRUV, ao dobrarmos a velocidade inicial de frenagem, mantendo o valor da desaceleração, a distância percorrida pelo móvel não dobra, mas quadruplica. Vamos analisar cada afirmação.

- Análise da afirmação I:

Chamaremos de  $d_{R'}$  a nova distância percorrida durante o tempo de reação.

$$d_{R'} = v.t_R$$

$$d_{R'} = (108/3,6).4/5$$

$$d_{R'} = 30.0,8$$

$$d_{R'} = 24 \text{ m}$$

$$d_{R'} = 2.d_R$$

I → Verdadeira

- Análise da afirmação II:

Nesta situação o movimento do veículo será regido pelas equações do MRUV. Logo:

$$d_F = v_0.t + 0,5.a.t^2 \quad (1)$$

Como não temos o tempo que ele leva para parar, vamos calculá-lo através da relação:

$$v = v_0 + a.t \quad (2)$$

$$0 = 30 + (-7,5).t$$

$$t = 4 \text{ s}$$

Chamaremos de  $d_{F'}$  a nova distância percorrida durante o tempo de frenagem.

Substituindo o valor de  $t$  na equação 1, temos:

$$d_{F'} = 30.4 + 0,5.(-7,5).4^2$$

$$d_{F'} = 120 - 60$$

$$d_{F'} = 60 \text{ m}$$

$$II \rightarrow \text{Falsa}$$

- Análise da afirmação III:

Chamaremos de  $d_{T'}$  a nova distância total percorrida.

Como  $d_{T'} = d_{R'} + d_{F'}$ , então teremos:

$$d_{T'} = 24 + 60$$

$$d_{T'} = 84 \text{ m}$$

Como  $d_T = 12 + 15$

$$d_T = 27 \text{ m}$$

Portanto,  $d_{T'} > 2d_T$

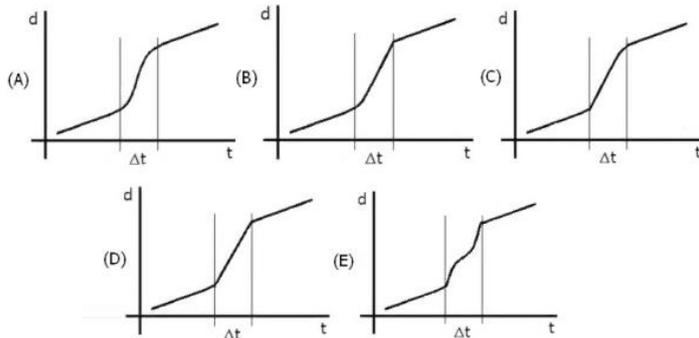
$$III \rightarrow \text{Falsa}$$

A seguir, uma informação base para as questões 08 e 09.

Um automóvel desloca-se por uma estrada retilínea plana e horizontal, com velocidade constante de módulo  $v$ .

**08.** (UFRGS – 2013) Em certo momento, o automóvel alcança um longo caminhão. A oportunidade de ultrapassagem surge e o automóvel é acelerado uniformemente até que fique completamente à frente do caminhão. Nesse instante, o motorista “alivia o pé” e o automóvel reduz a velocidade uniformemente até voltar à velocidade inicial  $v$ .

A figura abaixo apresenta cinco gráficos de distância ( $d$ ) x tempo ( $t$ ). Em cada um deles, está assinalado o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) em que houve variação de velocidade. Escolha qual dos gráficos melhor reproduz a situação descrita acima.



**Letra A**

Essa atividade tem como objetivo trabalhar no aluno a sua capacidade de realizar mudanças de representações. Uma vez conhecendo as equações, espera-se que o aluno seja capaz de descrever graficamente o comportamento do móvel que esteja sob os seus efeitos.

Como o veículo antes de iniciar a ultrapassagem se deslocava com velocidade constante, a equação horária da posição é dada pela equação  $d = v_0.t + d_0$ . Os alunos devem interpretar que o gráfico de posição em função do tempo nesse intervalo de tempo deve ser uma reta inclinada. No instante em que o carro inicia a ultrapassagem sua velocidade cresce uniformemente, indicando um M.R.U.V.! Neste caso, a função horária da posição é:

$$d = v_0.t + a.t^2/2$$

Os alunos devem interpretar que o gráfico deve ser uma curva com a concavidade voltada para cima, o que elimina a letra “C”, “D” e “E” que apresentam mudança instantânea da velocidade. Na etapa seguinte, de acordo com o enunciado, o motorista após a ultrapassagem alivia o pé, fazendo a velocidade do veículo reduzir. Nesta situação temos duas etapas! A primeira, onde o veículo passa andar num intervalo de tempo curto com a mesma velocidade, o que percebemos nos gráficos

da letra “A” e “B”. A segunda, quando a velocidade reduz, onde neste momento temos que observar uma curva com concavidade para baixo dada pela mesma equação:

$$d = v_0.t + a.t^2/2$$

O que elimina a letra “B”! Como ele retorna a ter a mesma velocidade que tinha no início, e constante, a reta deve ter a mesma inclinação da reta inicial.

**09. (UFRGS – 2013)** Após algum tempo, os freios são acionados e o automóvel percorre uma distância  $d$  com as rodas travadas até parar. Desconsiderando o Atrito com o ar, podemos afirmar corretamente que, se a velocidade inicial do automóvel fosse duas vezes maior à distância percorrida seria.

- a)  $d/4$     b)  $d/2$     c)  $d$     d)  $2d$     **e)  $4d$**

Essa questão aborda o mesmo tema da situação proposta no Módulo 02, em que foi calculada a distância de frenagem do veículo em três situações diferentes, no plano horizontal, no plano inclinado em declive e no mesmo plano inclinado, mas em acentuação. Nessas situações usamos o mesmo método de resolução, mas o mais importa é ressaltar o fato de que no plano horizontal a distância de frenagem aumenta com o quadrado da velocidade inicial.

Para determinar essa distância iremos primeiro determinar a primeira distância que chamaremos de  $d$ .

$$v_m = \frac{d}{\Delta t} \rightarrow d = v_m \cdot \Delta t \quad (1)$$

$$v_m = \frac{v_0 + v_f}{2} = \frac{v_0 + 0}{2} = \frac{v_0}{2} \quad (2)$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{v_f - v_0}{a} = \frac{0 - v_0}{a} = \frac{-v_0}{a} \quad (3)$$

Substituindo o resultado de (2) e (3) em (1) teremos:

$$d = v_m \cdot \Delta t = \frac{v_0}{2} \cdot \frac{-v_0}{a} = \frac{-v_0^2}{2a}$$

Como a distância percorrida depende do quadrado da velocidade inicial, então, para uma velocidade inicial  $2v_0$  teremos uma nova distância:

$$d' = \frac{-(2.v_0)^2}{2.a} = \frac{-4.v_0^2}{2.a}$$

Como  $d = -v_0^2/2a$ , então substituindo teremos:  $d' = 4d$ .

**10. (PUC-MG)** Muitos carros modernos estão equipados com um sistema de frenagem intitulado ABS, que evita que o pneu deslize quando os freios forem acionados. O sistema funciona através de um sensor que verifica dezenas de vezes por segundo, se a roda “travou”, ou seja, parou de girar. Se isso ocorrer, ele momentaneamente libera aquela roda da ação do freio, para só voltar a aplicá-lo quando a roda retomar seu movimento normal de rotação. Esse sistema garante frenagens mais seguras, e em espaço menor, por quê:

- a) quando a roda “trava”, há uma perda de energia mecânica do sistema que deve ser evitada.
- b) quando a roda “trava”, há um superaquecimento do sistema de freios que deve ser evitado.
- c) a inércia do carro é maior com a roda “travada” do que com a roda girando.
- d) a dirigibilidade do carro é maior com a roda “travada” do que com a roda girando.
- e) o coeficiente de Atrito estático é maior que o coeficiente de Atrito cinético.**

O interessante nesse exercício é mostrar que existe uma concepção alternativa nesta situação que dificulta o entendimento científico do evento. Quando o carro rola suas rodas sobre a superfície, o Atrito que atuará sobre elas é o estático e não o cinético, contrapondo-se ao que muitos acreditam devido ao fato de o carro estar em movimento.

Entretanto deve-se analisar o movimento da superfície do pneu em relação ao chão. E neste caso o pneu não desliza sobre o chão, portanto não há movimento relativo entre a superfície do pneu e o chão. Por isso o Atrito entre eles é o estático. Quando ocorre o travamento é que o Atrito se torna cinético pois passa a ocorrer o deslizamento de uma superfície sobre a outra.

Os freios ABS previnem o travamento das rodas e proporcionam uma distância de frenagem mais curta. Evitando o descontrole do veículo, ele mantém as rodas sempre na iminência de deslizar, aproveitando melhor o Atrito estático máximo, que é maior que o Atrito cinético que ocorre no deslizamento.

## REFERÊNCIAS

- BARQUINS M. **La tribologie ou l'art de froter**. Revue Du Palais de La découverte, 1991.
- BAUMBERGER, T.; HESLOT F.; PERRIN B. **Dynamique Du frottement solide: um système modele**. Bulletin de La Société Française de physique, 1994.
- BOWDEN F. P. & TABOR D. **The friction and lubrication of solids**. Clarendon Press, Oxford, 1964.
- CALDAS, Helena. **Atrito: o que diz a Física, o que os alunos pensam e o que os livros explicam**. Elaboração de Edith Saltiel. Vitória: EDUFES, 1999.
- FALL, A.; WEBER, B.; PAKPOUR; M., LENOIR, N.; Lenoir, N. Shahidzadeh; J. Fiscina; C. Wagner; BONN, D. **Sliding Friction on Wet and Dry Sand**. *Phys. Rev. Lett.* 112, 175502 – Published 29 April 2014.
- PERSSON B. N. J. **Sliding Friction**. Surface Science Reports, 1999.
- RABINOWICZ E. **Friction and wear of materials**. Jhon Wiley and Sons, New-York, 1965.
- SCHOLZ C. H. **The mechanics of earth-quakes and faulting**. Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

## APÊNDICES

### APÊNDICE 1

Material para o aluno, referente ao Módulo 01

➤ Pergunta Motivacional

Por que os carros de corrida usam pneus “carecas”, os chamados “slicks” (Fig.1), enquanto os carros comuns (Fig.2) são proibidos de trafegar com eles?



Figura 1 – Pneu Slick.

[http://edc-competition.fr/Photo/edc\\_PneuSLICK\\_SQ04.jpg](http://edc-competition.fr/Photo/edc_PneuSLICK_SQ04.jpg)

Acesso em: 29/11/2016.



Figura 2 – Pneu de carros de passeio.

[http://www.foxautocenter.com.br/images/uploads/BF\\_touring13\\_b.jpg](http://www.foxautocenter.com.br/images/uploads/BF_touring13_b.jpg)

Acesso em: 29/11/2016.

Resposta inicial

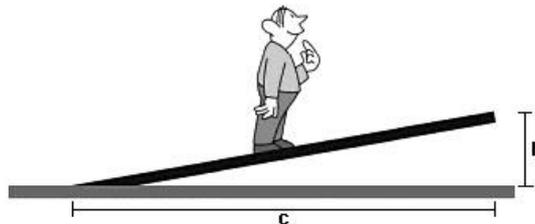
Resposta final (caso haja necessidade)

### Atividade

**01.** Sobre o Atrito entre os pneus de um carro de passeio em movimento e o piso asfáltico sobre o qual ele trafega, é correto afirmar:

- a) Ele pode aumentar nos dias chuvosos em que o piso fica molhado;
- b) Ele não depende do contato entre o pneu e o chão;
- c) Ele não tem influência no processo de frenagem do veículo;
- d) Sem ele, o carro não fará curvas.

**02.** ENEM 2013 – Uma pessoa necessita da força de Atrito em seus pés para se deslocar sobre uma superfície. Logo, uma pessoa que sobe uma rampa em linha reta será auxiliada pela força de Atrito exercida pelo chão em seus pés.



Pessoa subindo uma rampa, altura:  $h$ , deslocamento horizontal:  $c$ .  
<http://mistermdafisica.blogspot.com.br/2012/10/questoes-estilo-enem-4.html> em 18/03/2017.

Em relação ao movimento dessa pessoa, quais são a direção e o sentido da força de Atrito mencionada no texto?

- a) Perpendicular ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- b) Paralelo ao plano e no sentido contrário ao movimento.
- c) Paralelo ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- d) Horizontal e no mesmo sentido do movimento.

**03.** A utilização de ranhuras nos pneus dos carros se deve ao fato de:

- a) Diminuir a área de contato com o chão, diminuindo assim o Atrito entre os pneus do carro e a superfície de contato.
- b) Aumentar a área de contato com o chão, aumentando assim o Atrito entre o carro e a superfície de contato;
- c) Melhorar o escoamento da água entre o pneu e o chão, fazendo com que o contato entre os dois seja mais efetivo.
- d) Aumentar o fluxo de ar entre a superfície do pneu e o chão, para que se aumente a força de Atrito entre os pneus e a superfície.

**04.** (VUNESP - ADAPTADA) – Um trator se desloca em uma estrada, da esquerda para a direita, com movimento acelerado. O sentido das forças de Atrito que a estrada faz sobre as rodas do carro é indicado na figura a seguir:



É correto afirmar que:

- a) o trator tem tração nas quatro rodas;
- b) o trator tem tração traseira;
- c) o trator tem tração dianteira;
- d) o trator está com o motor desligado;

**05.** (PUC-RJ ADAPTADA) – Uma locomotiva puxa uma série de vagões, acelerando a partir do repouso. Qual é a análise correta da situação?

- a) A locomotiva pode mover o trem somente se for mais pesada do que os vagões.
- b) A força que a locomotiva exerce nos vagões é tão intensa quanto a que os vagões exercem na locomotiva; no entanto, a força de Atrito na locomotiva é grande e é para frente, enquanto que a que ocorre nos vagões é pequena e para trás.
- c) O trem se move porque a locomotiva dá um rápido puxão nos vagões, e, momentaneamente, esta força é maior do que a que os vagões exercem na locomotiva.
- d) O trem se move para frente porque a locomotiva puxa os vagões para frente com uma força maior do que a força com a qual os vagões puxam a locomotiva para trás.

**06.** (Tribunal Regional Federal/2014)

Algumas situações climáticas e naturais afetam as condições de segurança do trânsito. Sob estas condições, o condutor de veículo deverá adotar atitudes que garantam a sua segurança e a dos demais usuários da via. No caso de o condutor de um veículo ser surpreendido por uma situação de aquaplanagem ou hidroplanagem, este deve:

- a) acelerar o veículo para ultrapassar mais rapidamente a área empoçada.
- b) evitar a utilização dos freios do veículo quando estiver sobre poças de água.
- c) diminuir a marcha do veículo e manter-se próximo ao veículo que transita a sua frente.
- d) soltar o volante do veículo, objetivando evitar movimentos bruscos.
- e) acionar o pisca alerta e estacionar no acostamento.

**07.** (FCC 2001/TRF) Pode-se afirmar que a "aquaplanagem" ou "hidroplanagem", muito discutida em Direção Defensiva é:



[https://www.pneusfacil.com.br/info/qual\\_o\\_melhor\\_pneu\\_para\\_chuva](https://www.pneusfacil.com.br/info/qual_o_melhor_pneu_para_chuva)

- a) a falta de contato do pneu com o solo, em dia de chuva.
- b) a forma correta de dirigir, aumentando a velocidade.
- c) o aumento de contato do pneu com o solo, quando a velocidade aumenta.
- d) o acúmulo de ar no sistema de freio hidráulico dos veículos equipados com freio "ABS".
- e) a falta de estabilidade quando a pista está muito seca

## APÊNDICE 2

Material para o aluno, referente ao Módulo 02

### ➤ Pergunta Motivacional

Quando existe Atrito entre o corpo e a superfície, por que é mais fácil tirá-lo do repouso quando ele está sobre uma superfície inclinada, em declive, do que no plano horizontal?



Resposta inicial

Resposta final (caso haja necessidade)

### Atividade

**01.** Imagine o apagador do quadro da sua sala de aula sendo empurrado contra ele pelo professor conforme o esquema abaixo:

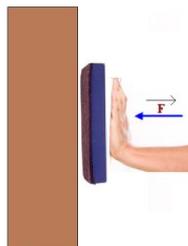


Figura 1 - Professor pressionando o apagador contra o quadro branco

Analise cada uma das sentenças e marque a que for correta:

- a) Se o apagador não cai é porque a força que o professor está fazendo contra ele é igual ao seu peso;
- b) Se o apagador não cai é porque o Atrito entre ele e o quadro é maior do que o seu peso;
- c) O Atrito entre o apagador e o quadro independe da força com que o professor aperta o apagador;
- d) Na iminência do movimento o professor estará fazendo uma força que provoca no apagador um Atrito exatamente igual ao seu peso.

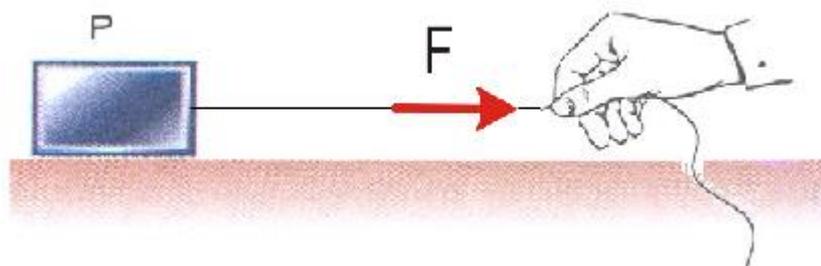
**02.** (FATEC) O bloco da figura, de massa 5 Kg, move-se com velocidade constante de 1,0 m/s num plano horizontal, sob a ação da força **F**, constante e horizontal.



Se o coeficiente de Atrito entre o bloco e o plano vale 0,20, e a aceleração da gravidade,  $10\text{m/s}^2$ , então o módulo da força **F**, em Newtons, vale:

- a) 25   b) 20   c) 15   d) 10

**03.** (UNIFOR) Um bloco de massa 20 kg é puxado horizontalmente por um barbante. O coeficiente de Atrito entre o bloco e o plano horizontal de apoio é 0,25. Adota-se  $g = 10\text{ m/s}^2$ . Sabendo que o bloco tem aceleração de módulo igual a  $2,0\text{ m/s}^2$ , concluímos que a força de tração no barbante tem intensidade igual a:



- a) 40N
- b) 50N
- c) 60N
- d) 90N

**04.** Considere a situação esquematizada na figura, em que um tijolo está apoiado sobre uma plataforma de madeira plana e horizontal. O conjunto parte do repouso no instante  $t_0 = 0$  e passa a descrever uma trajetória retilínea com velocidade de intensidade  $V$ , variável com o tempo, conforme o gráfico apresentado. No local, a influência do ar é desprezível.

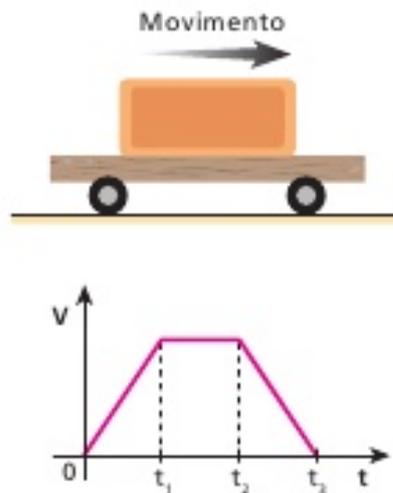
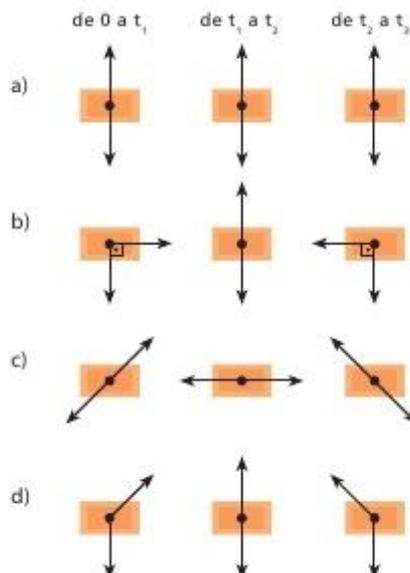


Figura 2 - Tijolo sobre a plataforma e o gráfico de como varia sua velocidade no tempo

Admitindo que não haja escorregamento do tijolo em relação à plataforma e adotando um referencial fixo no solo, aponte a alternativa que melhor representa as forças que agem no tijolo nos intervalos de  $0$  a  $t_1$ , de  $t_1$  a  $t_2$  e de  $t_2$  a  $t_3$ .

Obs.: Considere que as forças que possam provocar as variações na velocidade atuam somente sobre a plataforma, e não sobre o tijolo.

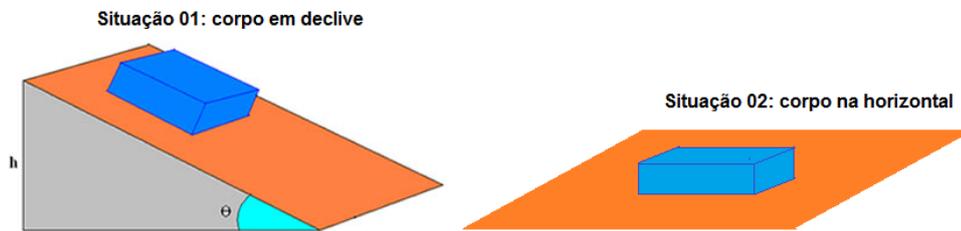


## APÊNDICE 3

Material para o aluno, referente ao Módulo 03

### ➤ Pergunta Motivacional

O freio ABS ou travão ABS (acrônimo para a expressão alemã Antiblockier-Bremssystem, embora mais frequentemente traduzido para a inglesa Anti-lock Breaking System) é um sistema de frenagem (travagem) que evita que a roda bloqueie (quando o pedal de freio é pisado fortemente) e entre em derrapagem, deixando o automóvel sem aderência à pista. Isto inevitavelmente aumenta o espaço necessário para que o automóvel pare totalmente. Por que o carro para mais rápido usando o ABS do que quando não usa?



Resposta inicial

Resposta final (caso haja necessidade)

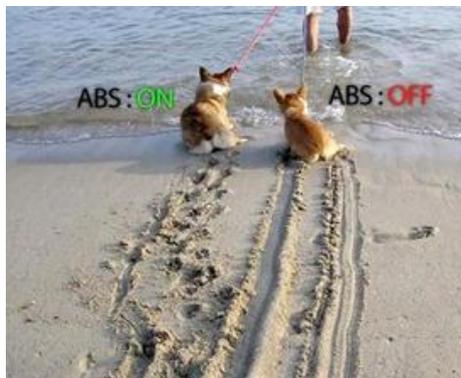


Figura 1 – Ilustração de forma alusiva e engraçada o funcionamento dos freios com ABS e sem.  
<https://www.especialistaemcarros.com.br/single-post/2015/06/25/Freios-ABS-o-Especialista-explica> -  
 Acesso em 24/04/2017.

## APÊNDICE 4

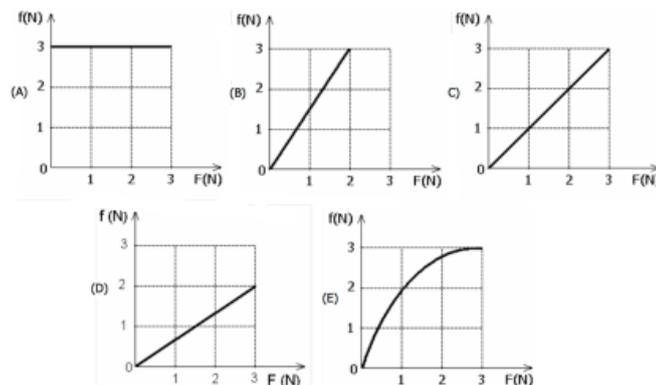
Material para o aluno, referente ao Módulo 04

### Atividade

**01.** (UNICAMP – 2011) O sistema de freios ABS (do alemão “Antiblockier-Bremssystem”) impede o travamento das rodas do veículo, de forma que elas não deslizem no chão, o que leva a um menor desgaste do pneu. Não havendo deslizamento, a distância percorrida pelo veículo até a parada completa é reduzida, pois a força de Atrito aplicada pelo chão nas rodas é estática, e seu valor máximo é sempre maior que a força de Atrito cinético. O coeficiente de Atrito estático entre os pneus e a pista é  $\mu_e = 0,80$  e o cinético vale  $\mu_c = 0,60$ . Sendo  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e a massa do carro  $m = 1200 \text{ kg}$ , o módulo da força de Atrito estática máxima e a da força de Atrito cinética são, respectivamente, iguais a:

- a) 1200 N e 12000 N
- b) 12000 N e 120 N
- c) 20000 N e 15000 N
- d) 9600 N e 7200 N
- e) 9600 N e 1200 N

**02.** (UFRGS – 2011) Um cubo maciço e homogêneo, cuja massa é de 1,0 kg, está em repouso sobre uma superfície plana horizontal. O coeficiente de Atrito estático entre o cubo e a superfície vale 0,30. Uma força  $F$ , horizontal, é então aplicada sobre o centro de massa do cubo. (Considere o módulo da aceleração da gravidade igual a  $10 \text{ m/s}^2$ .) Assinale o gráfico que melhor representa a intensidade  $f(\text{N})$  da força de Atrito estático em função da intensidade  $F(\text{N})$  da força aplicada.



As questões 03 e 04 se referem ao enunciado a seguir.

Um cubo de massa 1,0 kg, maciço e homogêneo, está em repouso sobre uma superfície plana horizontal. Os coeficientes de Atrito estático e cinético entre o cubo e a superfície valem, respectivamente, 0,30 e 0,25. Uma força  $F$ , horizontal, é então aplicada sobre o centro de massa do cubo. (Considere o módulo da aceleração da gravidade igual a  $10,0 \text{ m/s}^2$ ).

**03.** (UFRGS – 2010) Se a intensidade da força  $F$  é igual a 2,0 N, a força de Atrito estático vale:

- a) 0,0 N   b) 2,0 N   c) 2,5 N   d) 3,0 N   e) 10,0 N

**04.** (UFRGS – 2010) Se a intensidade da força  $F$  é igual a 6,0 N, o cubo sofre uma aceleração cujo módulo é igual a:

- a)  $0,0 \text{ m/s}^2$   
 b)  $2,5 \text{ m/s}^2$   
 c)  $3,5 \text{ m/s}^2$   
 d)  $6,0 \text{ m/s}^2$   
 e)  $10,0 \text{ m/s}^2$

As questões 05, 06 e 07 estão relacionadas ao seguinte enunciado:

O tempo de reação  $t_R$  de um condutor de um automóvel é definido como o intervalo de tempo decorrido entre o instante em que o condutor se depara com uma situação de perigo e o instante em que aciona os freios. Considere  $d_R$  e  $d_F$ , respectivamente, a distância percorrida pelo veículo durante  $t_R$  e a distância percorrida pelo veículo durante o tempo em que os freios estiverem acionados; e  $d_T$ , a distância total percorrida. Então,  $d_T = d_R + d_F$ . Um automóvel trafega com velocidade constante de módulo  $v = 54 \text{ km/h}$  em uma pista horizontal. Em dado instante, o condutor visualiza uma situação de perigo, e seu tempo de reação a essa situação é de  $4/5$  segundos, como ilustra na sequência de figuras abaixo.



**05.** (UFRGS – 2012) Considerando-se que a velocidade do automóvel permaneceu inalterada durante o tempo de reação  $t_R$ , é correto afirmar que a distância  $d_R$  é de:

- a) 3,0m    b) 12,0m    c) 43,2m    d) 60,0m    e) 67,5m

**06.** (UFRGS – 2012) Ao reagir à situação de perigo iminente, motorista aciona os freios, e a velocidade do automóvel passa a diminuir gradativamente, a aceleração constante de módulo  $7,5 \text{ m/s}^2$ . Nessas condições, é correto afirmar que a distância  $d_F$  é de:

- a) 2,0m    b) 6,0m    c) 15,0m    d) 24,0m    e) 30,0m

**07.** (UFRGS – 2012) Em comparação com as distâncias  $d_R$  e  $d_F$ , já calculadas, e lembrando que  $d_T = d_R + d_F$ , considere as seguintes afirmações sobre as distâncias percorridas pelo automóvel, agora com o dobro da velocidade inicial, isto é,  $108 \text{ km/h}$ .

- I) A distância percorrida pelo automóvel durante o tempo de reação do condutor é  $2d_R$ .  
II) A distância percorrida pelo automóvel durante a frenagem é de  $2d_F$ .  
III) A distância total percorrida pelo automóvel é de  $2d_T$ .

Quais estão corretas?

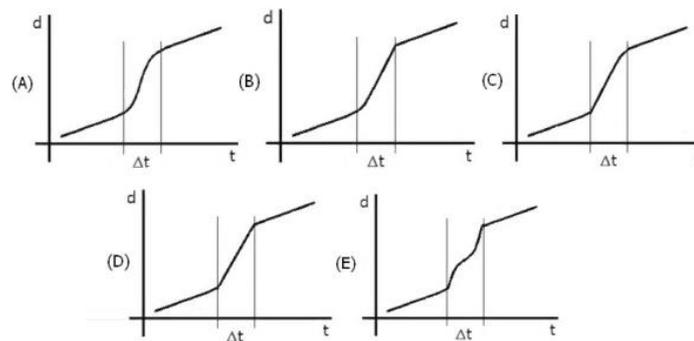
- a) Apenas I  
b) Apenas II  
c) Apenas III  
d) Apenas I e III  
e) I, II, III.

Leia o contexto a seguir, para resolver as questões 8 e 9.

Um automóvel desloca-se por uma estrada retilínea plana e horizontal, com velocidade constante de módulo  $v$ .

**08.** (UFRGS – 2013) Em certo momento, o automóvel alcança um longo caminhão. A oportunidade de ultrapassagem surge e o automóvel é acelerado uniformemente até que fique completamente à frente do caminhão. Nesse instante, o motorista “alivia o pé” e o automóvel reduz a velocidade uniformemente até voltar à velocidade inicial  $v$ . A figura abaixo apresenta cinco gráficos de distância ( $d$ ) x tempo ( $t$ ). Em cada um deles, está assinalado o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) em que houve variação de velocidade.

Escolha o gráfico que melhor reproduz a situação descrita acima.



**09.** (UFRGS – 2013) Após algum tempo, os freios são acionados e o automóvel percorre uma distância  $d$  com as rodas travadas até parar. Desconsiderando o Atrito com o ar, podemos afirmar corretamente que, se a velocidade inicial do automóvel fosse duas vezes maior à distância percorrida seria.

- a)  $d/4$       b)  $d/2$       c)  $d$       d)  $2d$       e)  $4d$

**10.** (PUC-MG) Muitos carros modernos estão equipados com um sistema de frenagem intitulado ABS, que evita que o pneu deslize quando os freios forem acionados. O sistema funciona através de um sensor que verifica dezenas de vezes por segundo, se a roda “travou”, ou seja, parou de girar. Se isso ocorrer, ele momentaneamente libera aquela roda da ação do freio, para só voltar a aplicá-lo quando a roda retomar seu movimento normal de rotação. Esse sistema garante frenagens mais seguras, e em espaço menor, por que

- a) quando a roda “trava”, há uma perda de energia mecânica do sistema que deve ser evitada.  
 b) quando a roda “trava”, há um superaquecimento do sistema de freios que deve ser evitado.  
 c) a inércia do carro é maior com a roda “travada” do que com a roda girando.  
 d) a dirigibilidade do carro é maior com a roda “travada” do que com a roda girando.  
 e) o coeficiente de Atrito estático é maior que o coeficiente de Atrito cinético.