



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

## **As forças de atrito e os freios ABS numa perspectiva de Ensino Médio**

Leonardo Raduan de Felice Abeid

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Alexandre Carlos Tort

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2010

# As forças de atrito e os freios ABS numa perspectiva de Ensino Médio

Leonardo Raduan de Felice Abeid

Orientador: Alexandre Carlos Tort

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

---

Presidente, Prof. Alexandre Carlos Tort

---

Prof. Marcus Venicus Cougo Pinto

---

Prof. José Abdalla Helayel Neto

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2010

## FICHA CATALOGRÁFICA

A138f Abeid, Leonardo Raduan de Felice

As forças de atrito e os freios ABS numa proposta para o Ensino Médio / Leonardo Raduan de Felice Abeid. – Rio de Janeiro: UFRJ/IF, 2010.

IX, 72. : il.19; 30 cm.

Orientador: Alexandre Carlos Tort.

Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de Física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2010.

Referências Bibliográficas: f. 73-76.

1. Força de atrito. 2. Freios ABS. 3. Ensino por investigação. I. Tort, Alexandre C. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. As forças de atrito e os freios ABS numa proposta para o Ensino Médio.

Dedico esta dissertação ao meu filho Bruno e à minha esposa Vivian.

## Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a todos os meus familiares, em especial a minha esposa Vivian, aos meus pais Cosme Lucio e Elizabeth, e a minha sogra Eva, pelo apoio durante a realização do mestrado.

Agradeço à professora Deise Miranda Vianna, pelas sugestões feitas durante a disciplina *Tópicos de ensino por investigação*, e aos colegas da turma de 2009 deste mestrado, pelas sugestões e colaboração durante todo curso.

Não posso deixar de agradecer aos professores Marcus Venicus Cougo Pinto e José Abdalla Helayel Neto que gentilmente aceitaram o convite da Comissão Deliberativa do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFRJ para participarem da banca examinadora.

E finalmente, agradeço ao professor Alexandre Carlos Tort pela paciência e disposição em me orientar, e pela confiança depositada em mim durante a realização deste trabalho.

## RESUMO

### As forças de atrito e os freios ABS numa perspectiva de Ensino Médio

Leonardo Raduan de Felice Abeid

Orientador: Alexandre Carlos Tort

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O ensino de física tem se baseado num modelo onde o professor, detentor de todo conhecimento, o transmite aos alunos, que acumulam grande quantidade de informação, que para eles, na maioria das vezes, não têm qualquer significado. Por outro lado, a ciência e a tecnologia têm avançado rapidamente, ficando cada vez mais evidente a necessidade de levar esse progresso, muitas vezes tem se baseado em conceitos físicos distantes da realidade da maioria dos professores do Ensino Médio, para o ensino de física. No entanto, quando se trata dos itens de segurança disponíveis nos automóveis, estamos falando de equipamentos que cujo funcionamento estão baseados em princípios físicos relativamente simples. Os freios ABS, em particular, procuram otimizar a frenagem, mantendo a força de atrito, entre os pneus e a pista, o mais próximo possível de seu valor máximo. Nesta dissertação fazemos uma discussão sobre a dinâmica da frenagem de um autôvel, e apresentamos um conjunto de atividades, baseadas na metodologia de ensino por investigação, a fim de possibilitar a construção do conceito de força de atrito, que em geral é apresentado de maneira muito abstrata apenas como uma fórmula, e a discussão sobre a dinâmica da frenagem no Ensino Médio. Além disso, também propomos atividades com enfoque em CTS (ciência, tecnologia e sociedade) que procuram aos alunos mostrar não só a importância da ciência e da tecnologia para a sociedade atual, mas também como o seu entendimento pode, e deve, auxiliar o cidadão na tomada de decisão nas circunstâncias que se apresentam em nosso cotidiano.

Palavras chave: Força de atrito, freios ABS, ensino por investigação.

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2010

# ABSTRACT

## Frictional forces and ABS breaking systems in the high school

Leonardo Raduan de Felice Abeid

Supervisor: Alexandre Carlos Tort

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

The teaching of physics in Brazil is generally based in a model where the teacher as the holder of all knowledge passes it on to the students that amass a vast amount of information that for them most of the times is meaningless. On the other hand, science and technology move forward with increasing speed and it is more and more evident the need of satisfying the students' necessity of relevant meaningful information on some of its aspects. Such is the case of new technologies related to the safety items available in modern cars. Most of the students want to know about some of those items. In particular, the ABS braking system tends to generate spontaneous discussions among them. ABS breaking systems try to optimize the breaking by keeping the friction force between the wheels and the road constant and as high as possible. In this thesis, we discuss the dynamics of breaking systems in general and the ABS system in particular in a way that we believe could be discussed in the high school level. The methodology employed is based on teaching by investigation. This will allows us to introduce the concept of frictional forces by a supervised hands-on investigation avoiding as much as possible the discussion of these forces in an abstract way. Moreover, we propose some activities with emphasis on Science, Technology and Society in order to show to the students not only the importance of science and technology in modern societies, but also as an ingredient when it comes to taking decisions in our daily lives.

Keywords: Frictional forces, ABS breaking system, teaching by investigation.

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2010

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Motivações . . . . .	1
1.2	A força de atrito e os freios ABS . . . . .	2
1.3	O ensino de física atual . . . . .	3
1.4	A estrutura da dissertação . . . . .	7
<b>2</b>	<b>As distâncias de frenagem</b>	<b>8</b>
2.1	Introdução . . . . .	8
2.2	Forças de atrito . . . . .	8
2.3	A dinâmica da frenagem . . . . .	11
2.3.1	Rodas rolando sem deslizar . . . . .	13
2.3.2	Rodas rolando com deslizamento ou travadas . . . . .	15
2.3.3	A transferência de peso . . . . .	15
2.3.4	O torque da força normal . . . . .	19
2.4	Os freios ABS . . . . .	21
2.4.1	A frenagem mais eficiente . . . . .	21
2.4.2	Como funcionam os freios ABS . . . . .	22
2.4.3	A dinâmica da frenagem com os freios ABS . . . . .	24
<b>3</b>	<b>O referencial teórico</b>	<b>27</b>
3.1	Ensino por investigação . . . . .	27
3.2	A dinâmica das atividades . . . . .	30
3.3	Ciência, tecnologia e sociedade (CTS) . . . . .	32
<b>4</b>	<b>As atividades propostas</b>	<b>34</b>
4.1	Introdução . . . . .	34
4.2	Tema de física abordado . . . . .	35
4.3	O conhecimento prévio dos alunos . . . . .	36
4.4	A dinâmica das atividades . . . . .	36
4.5	Materiais utilizados . . . . .	37
4.6	O acompanhamento das atividades . . . . .	38
4.7	1ª atividade - a corrida de carrinhos . . . . .	39
4.8	2ª atividade - por que a caixa não cai? . . . . .	44
4.9	3ª atividade - atrito estático e atrito cinético . . . . .	49
4.10	4ª atividade - a força de atrito é constante? . . . . .	50
4.11	$F_{at} = \mu N$ . . . . .	52
4.12	5ª atividade - a força de atrito é sempre contrária ao movimento? . . . . .	53
4.13	6ª atividade - os freios ABS . . . . .	56



4.13.1	1ª Etapa . . . . .	56
4.13.2	2ª Etapa . . . . .	60
4.14	A dinâmica da frenagem . . . . .	62
4.15	Os freios ABS numa perspectiva em CTS . . . . .	66
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>70</b>
	<b>Referências bibliográficas</b>	<b>73</b>

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Motivações

Ao longo dos anos trabalhando como professor de física, principalmente em escolas públicas, frequentemente tenho a clara impressão de que estou “falando grego” com meus alunos, que niguém entende o que digo, nem percebe a importância do que estou tentando ensinar. Essa opinião é compartilhada por vários colegas de profissão, ou seja, utilizamos uma linguagem que para nós é muito clara, mas muito obscura para os alunos, abordamos temas que julgamos fundamentais, mas que para eles não têm qualquer significado. Continuamos ensinando de acordo com o modelo no qual aprendemos.

Em geral nossos alunos aprendem apenas como resolver exercícios, o que o fazem, segundo McDermott [1], com base apenas na memorização de fórmulas, sem desenvolver o raciocínio necessário para aplicar os conceitos e princípios físicos. Dessa forma, o ensino de física tem se mostrado pouco eficiente, o que fica evidente, de acordo com Bonadiman e Nonenmacher [2], pelo “fraco desempenho dos alunos quando colocados diante de situações em que são solicitados a explicitar seu aprendizado”.

Como vemos, a tarefa de ensinar física no Ensino Médio apresenta uma série de dificuldades. A pesquisa em ensino de física tem procurado auxiliar na melhoria do processo de ensino-aprendizagem, no entanto concordo com Scarinci e Pacca [3] que afirmam que seus resultados não têm chegado às salas de aula, e não têm produzido “mudanças significativas nas concepções de ensino dos professores”.

Assim, consciente de que não existem receitas para o sucesso, acredito que seja necessário propor alternativas para o trabalho docente em sala de aula. Nesta dissertação apresento um conjunto de atividades que visam favorecer uma melhor compreensão dos conceitos físicos e despertar o interesse dos estudantes pela ciência. Além disso procuram mostrar não só a importância da ciência e da tecnologia para

a sociedade atual, mas também como o seu entendimento pode, e deve, auxiliar o cidadão na tomada de decisão nas circunstâncias que se apresentam em nosso cotidiano.

## 1.2 A força de atrito e os freios ABS

Nos últimos anos a ciência e a tecnologia têm avançado rapidamente, ficando cada vez mais presente em nossas vidas, e aumentando o desafio de levar esse progresso para o ensino de física. O desenvolvimento muitas vezes tem se baseado em conceitos físicos distantes da realidade da maioria dos professores do Ensino Médio, o que torna esse desafio ainda maior. No entanto, quando se trata dos itens de segurança disponíveis nos automóveis hoje em dia (cintos de segurança, *air bag*, freios ABS, *etc*), na maioria das vezes estamos falando de equipamentos cujo funcionamento estão baseados em princípios físicos relativamente simples.

Outro aspecto que devemos destacar é a aparente falta de consciência sobre a importância de tais equipamentos. Segundo a resolução nº 312 do Conselho Nacional de Trânsito (Contran) [4] os freios ABS (*Antiblockier-Bremssystem*), sistema antibloqueio de frenagem, só serão obrigatórios para 100% os veículos novos comercializados no Brasil a partir de janeiro de 2014, enquanto que para o *air bag* ainda não existe uma previsão. Por outro lado, os consumidores, ainda que não seja obrigatório, também não exigem tais equipamentos no momento da compra. Isso, somado ao grande número de acidentes de trânsito que poderiam ser evitados, ou pelo menos ter seus danos diminuídos, faz com que esse seja um bom tema para ser trabalhado no Ensino Médio. Em particular, abordaremos o sistema de freio ABS e sua influência nas distâncias de frenagem.

Quando vamos comprar um automóvel novo em muitos casos nos preocupamos primeiramente com sua aparência, e potência. Segundo Parker [5], em relação aos carros novos, uma das primeiras especificações informada nas revistas especializadas é o tempo que ele demora para acelerar de 0 a 100 km/h. Segundo Murray [6] numa colisão entre dois veículos, que passam a se locomover juntos após a mesma, a energia dissipada é proporcional ao quadrado da velocidade de aproximação dos automóveis, e portanto a gravidade de um acidente também é proporcional à essa velocidade. Assim podemos concluir que tão importante quanto saber a potência e a velocidade atingida por um veículo é saber como pará-lo, uma vez que quanto maior for essa velocidade, mais difícil será essa tarefa.

Para frear o automóvel o motorista depende da força de atrito entre os pneus e a pista, que como veremos, depende de diversas condições, sendo difícil para ele controlá-la a fim de obter uma frenagem mais eficiente. Os sistemas de freios mais

modernos, com o sistema ABS, auxiliam o motorista, procurando evitar o bloqueio das rodas, e manter a força de atrito entre os pneus e o solo o mais próximo possível do seu valor máximo.

### 1.3 O ensino de física atual

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional [7], aponta para a necessidade de uma reforma em todos os níveis educacionais, sendo fortemente inspirada nas visíveis transformações que vêm acontecendo na sociedade contemporânea [8]. Além disso, para o ensino médio foram elaborados documentos oficiais, as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM), os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e suas orientações complementares (PCN+), a fim de, segundo Ricardo e Zylbersztajn [9], "levar até as escolas os pressupostos fundamentais da nova lei e assegurar a mudança nas práticas educacionais até então correntes". De acordo com os PCN [10]:

*Os objetivos do Ensino Médio em cada área do conhecimento devem envolver, de forma combinada, o desenvolvimento de conhecimentos práticos, contextualizados, que respondam às necessidades da vida contemporânea, e o desenvolvimento de conhecimentos mais amplos e abstratos, que correspondam a uma cultura geral e a uma visão de mundo. Para a área das Ciências da Natureza, Matemática e Tecnologias, isto é particularmente verdadeiro, pois a crescente valorização do conhecimento e da capacidade de inovar demanda cidadãos capazes de aprender continuamente, para o que é essencial uma formação geral e não apenas um treinamento específico.*

No entanto, até hoje pouca coisa mudou. O ensino de física continua baseado num modelo onde o professor, detentor de todo conhecimento, o transmite aos alunos, que se comportam como receptores passivos. Os estudantes "aceitam", e acumulam grande quantidade de informação, que para eles, na maioria das vezes, não têm qualquer significado. Segundo Pereira [11]:

*O ensino de física é tradicionalmente baseado na transmissão e acúmulo de informações, num formalismo matemático fortemente abstrato, no estudo de fenômenos de modo descontextualizado e dissociado da vida cotidiana e na aceitação da ciência como detentora absoluta da verdade.*

Para Munford e Lima [12]:

*O ensino de ciências tem se realizado por meio de proposições científicas, apresentadas na forma de definições, leis e princípios e tomados como verdades de fato, sem maior problematização e sem que se promova um diálogo mais estreito entre teorias e evidências do mundo real. Em tal modelo de ensino, poucas são as oportunidades de se realizar investigações e de argumentar acerca dos temas e fenômenos em estudo. O resultado é que estudantes não aprendem conteúdos das ciências e constroem representações inadequadas sobre a ciência como empreendimento cultural e social.*

Nos PCN [10] o ensino de física foi assim descrito:

*O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas.*

Ainda que os PCN definam novas perspectivas para o ensino de física no país [13], passada mais de uma década a realidade do ensino de física continua inalterada. No convívio com diversos professores percebemos ainda muita dificuldade em levar os PCN para dentro da sala de aula, segundo Ricardo [8] “há uma distância entre o que está proposto nesses documentos e a prática escolar, cuja superação tem se mostrado difícil”. Ricardo [9] diz que uma das principais dificuldades para que as mudanças sugeridas tanto nas DCNEM como nos PCN cheguem na sala de aula é a “pouca compreensão que os professores têm acerca de temas fundamentais presentes nesses documentos, notadamente, um currículo estruturado por competências, a interdisciplinaridade e a contextualização” , que nos PCN ficam evidentes quando eles afirmam que [10]:

*No nível médio, esses objetivos envolvem, de um lado, o aprofundamento dos saberes disciplinares em Biologia, Física, Química e Matemática,*

*com procedimentos científicos pertinentes aos seus objetos de estudo, com metas formativas particulares, até mesmo com tratamentos didáticos específicos. De outro lado, envolvem a articulação interdisciplinar desses saberes, propiciada por várias circunstâncias, dentre as quais se destacam os conteúdos tecnológicos e práticos, já presentes junto a cada disciplina, mas particularmente apropriados para serem tratados desde uma perspectiva integradora.*

Outro ponto que devemos destacar diz respeito à finalidade da educação. Segundo Lei de Diretrizes e Bases da educação Nacional [7] a educação básica deve ter por finalidades:

*(...)o pleno desenvolvimento do educando, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho(...)*

*(...)desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores(...)*

E ainda segundo a LDB o ensino médio deve ter como finalidades [7]:

*I - a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos;*

*II - a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;*

*III - o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;*

*IV - a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.*

Para Ricardo [8] um dos pontos principais da LDB “é a nova identidade dada ao ensino médio como sendo a etapa final do que se entende por educação básica. Ou seja, espera-se que ao final desse nível de ensino o aluno esteja em condições de partir para a realização de seus projetos pessoais e coletivos; é a formação necessária para a constituição do cidadão”. De acordo com o PCN+ [14]:

*A ideia central expressa na nova Lei, e que orienta a transformação, estabelece o ensino médio como etapa conclusiva da educação básica de toda a população estudantil e não mais somente uma preparação para*

*outra etapa escolar ou para o exercício profissional. Isso desafia a comunidade educacional a pôr em prática propostas que superem as limitações do antigo ensino médio, organizado em duas principais tradições formativas, a pré-universitária e a profissionalizante.*

Essa preocupação também está expressa nos PCN, segundo o qual [10]:

*As modalidades exclusivamente pré-universitárias e exclusivamente profissionalizantes do Ensino Médio precisam ser superadas, de forma a garantir a pretendida universalidade desse nível de ensino, que igualmente contemple quem encerre no Ensino Médio sua formação escolar e quem se dirija a outras etapas de escolarização.*

Entretanto, embora a LDB destaque a necessidade de preparar os estudantes para o exercício da cidadania, desenvolver a autonomia intelectual e relacionar a teoria com a prática, a realidade ainda está distante destes objetivos. Enquanto o ensino médio profissionalizante se preocupa exclusivamente em preparar os alunos para o mercado de trabalho, o ensino médio regular tem um caráter estritamente propedêutico, voltado unicamente para preparar os estudantes para os vestibulares, e conseqüentemente ingressar na universidade, segundo Moreira [13] o ensino de física no nível médio está, atualmente, “distorcido pelos programas de vestibular; ensina-se o que cai no vestibular”. Entretanto o resultado obtido pelos estudantes em avaliações como o Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA), e o Exame Nacional do Ensino Médio (Enem), e nos próprios vestibulares mostra que este objetivo também não vem sendo alcançado. Para Bonadiman e Nonenmacher [2] o fraco desempenho dos estudantes nessas avaliações é um problema geral, não se limitando a uma área específica. No entanto, as dificuldades de aprendizagem se revelam mais claramente quando se trata do ensino das ciências da natureza.

É preciso, portanto, buscar alternativas para que esses objetivos sejam alcançados. A pesquisa em ensino de física, nos últimos anos tem produzido muito conhecimento, mas como já dissemos, ao nosso ver, talvez por falta de interesse dos professores ou, de incentivo para que eles possam procurá-lo, esse conhecimento fica, em grande parte, restrito aos meios acadêmicos. Acreditamos que agora seja hora de levar esse conhecimento para as escolas, para dentro das salas de aula.

## 1.4 A estrutura da dissertação

Iniciamos o capítulo 1 apresentamos nossas motivações, seções (1.1) e (1.2), para a realização desse trabalho, procurando mostrar algumas dificuldades encontradas pelos professores no Ensino Médio e a relevância dos assuntos que serão tratados. Em seguida, seção (1.3), fizemos uma breve abordagem sobre o panorama atual do ensino de física.

No capítulo 2 descrevemos a dinâmica da frenagem. Na seção (2.2) fazemos uma breve discussão sobre a força de atrito entre os pneus de um automóvel e a pista. Em seguida, seções (2.3.1) e (2.3.2), abordamos a dinâmica da frenagem adotando o modelo de atrito estático, quando as rodas rolam sem deslizar, e atrito cinético quando elas estão travadas e deslizando, considerando o peso do veículo igualmente distribuído em todas as rodas e sem levar em conta a deformação sofrida pelo pneu ao tocar o solo. Na seção (2.3.3) a discussão é feita considerando a transferência de peso, enquanto que na seção (2.3.4), a deformação do pneu. Na seção (2.4) abordamos os freios ABS, falando sobre a frenagem mais eficiente, seu funcionamento, e descrevendo a dinâmica da frenagem com o uso deste dispositivo.

No capítulo 3 apresentamos nosso referencial teórico. Ele está baseado na metodologia de ensino por investigação e na temática CTS (ciência, tecnologia e sociedade), e serviu como fundamentação teórica para a elaboração das atividades que propomos no capítulo seguinte.

As atividades que propomos, e que configuram o produto desta dissertação, são apresentadas no capítulo 4, que se inicia, após uma breve introdução, seção (4.1), com o tema de física abordado, e o conhecimento prévio que esperamos dos alunos, seções (4.2) e (4.3). Em seguida, seções (4.5), (4.4) e (4.6), descrevemos a dinâmica com a qual as atividades podem ser realizadas, além dos materiais nelas utilizados e como o professor pode fazer seu acompanhamento. Da seção (4.7) à (4.12) apresentamos as atividades que objetivam proporcionar aos alunos a construção dos conceitos relacionados à força de atrito (módulo, direção e sentido). Nas seções (4.13) e (4.14) propomos atividades onde são discutidos os freios ABS, e como otimizar a frenagem, e sua dinâmica. A seção (4.15) apresenta uma sugestão de como esses assuntos podem ser trabalhados com um enfoque na temática CTS.

No capítulo 5 fazemos alguns comentários finais, além de apresentar nossas conclusões e alguns pontos positivos, e negativos, das atividades propostas neste trabalho.



# Capítulo 2

## As distâncias de frenagem

### 2.1 Introdução

Neste trabalho os temas de física abordados são as leis de Newton, e em especial as forças de atrito entre sólidos. Na seções seguintes propomos uma discussão sobre a dinâmica da frenagem de um automóvel e o funcionamento dos freios ABS, que é projetado para impedir o travamento das rodas do veículo.

A dinâmica da frenagem com, ou sem, o uso do ABS não é trivial, e acreditamos que ela deva ser trabalhada no ensino médio apenas superficialmente. Apesar disso, nesta seção faremos uma descrição detalhada, pois entendemos que mesmo que não trabalhe nesse nível com seus alunos, o professor deve ter um conhecimento mais aprofundado do tema.

### 2.2 Forças de atrito

Desde os nossos antepassados mais remotos temos usado o atrito, como, por exemplo, para fazer fogo esfregando madeiras. Ele foi inicialmente estudado por Leonardo da Vinci (1452 - 1519), por volta de 1500 , ao descrever as leis que governam o movimento de um bloco retangular que desliza sobre uma superfície plana [15, 16]. Os resultados obtidos por ele podem ser resumidos nas seguintes leis [16]:

- O atrito provocado pelo mesmo peso terá a mesma resistência no início do movimento, embora as áreas ou comprimento de contato sejam diferentes.
- O atrito provoca o dobro do esforço se o peso for dobrado.
- O atrito depende da natureza dos materiais em contato.

Contudo foi o físico francês Guillaume Amontons (1663-1705), em 1699, estudando o deslizamento a seco de duas superfícies planas, que chegou às leis do atrito como conhecemos hoje [15–18]. Suas conclusões de Amontons foram as seguintes [15, 17]:

- A força de atrito se opõe ao movimento de um bloco que desliza sobre um plano.
- A força de atrito é proporcional a força normal que exerce o plano sobre o bloco.
- A força de atrito não depende da área aparente de contato.

O físico francês Charles Augustin Coulomb (1736-1806) [15–18], por volta de 1781, confirmou as leis de Da Vinci-Amontons, e acrescentou mais uma propriedade:

- A força de atrito é independente da velocidade, uma vez o movimento iniciado.

As forças de atrito são extremamente complicadas, e dependem fortemente do estado das superfícies em contato [18]. Assim, por simplicidade, o modelo mais utilizado é o que divide o atrito em dois tipos: estático e cinético.

Quando não há movimento relativo entre as superfícies em contato o atrito é chamado de estático, e seu módulo é dado por:

$$0 \leq F_{at} \leq \mu_e N, \quad (2.1)$$

onde  $\mu_e$  é o coeficiente de atrito estático, e  $N$  é o módulo da força normal de contato entre as duas superfícies.

Neste caso a força de atrito,  $F_{at}$ , não é constante, mas varia de zero até  $\mu_e N$ .

Quando há movimento relativo entre as superfícies em contato, o atrito é chamado de cinético, e o coeficiente de atrito é chamado de coeficiente de atrito cinético,  $\mu_c$ . Neste caso o módulo da força de atrito é constante, dado por:

$$F_{at} = \mu_c N, \quad (2.2)$$

As leis do atrito discutidas anteriormente, e este modelo de atrito estático e cinético, são apenas uma aproximação, onde consideramos as superfícies em contato rígidas e indeformáveis e secas [17, 18]. Como vamos analisar a influência do uso de freios ABS nas distâncias de frenagem, precisamos olhar com mais cuidado a força de atrito entre os pneus do veículo e a superfície da pista. Nesta situação, mais precisamente, o coeficiente de atrito depende da velocidade do veículo em relação ao solo,  $u$ , e da velocidade angular do pneu,  $\omega$ , portanto escrevemos  $\mu(u, \omega)$  [19].

Segundo Denny [19]  $\mu$  não depende separadamente de  $u$  e  $\omega$ , mas dos dois juntos. O coeficiente de atrito é uma função do coeficiente de deslizamento,  $s$ , dado por:

$$s = \frac{u - w}{u}, \quad 0 \leq s \leq 1, \quad (2.3)$$

onde  $w = \omega R$ , sendo  $R$  o raio efetivo da roda, ou seja é o raio do conjunto pneu e roda, a distância entre um ponto na superfície do pneu e seu eixo de rotação, como mostra a Figura (2.1).



Figura 2.1: em vermelho vemos marcado o raio efetivo da roda,  $R$ . (adaptado de <http://pt.wikipedia.org/wiki/Pneu>)

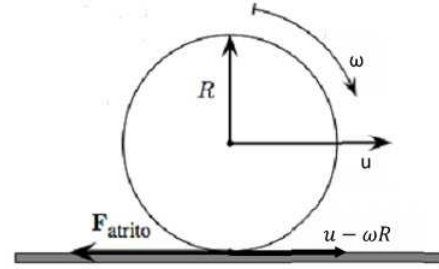


Figura 2.2: a roda gira com velocidade angular  $\omega$ , seu centro tem velocidade  $u$  e o ponto onde ela toca o solo tem velocidade  $u - \omega R$ .

Portanto quando as rodas rolam sem deslizar ( $u = w$ ),  $s = 0$ , e quando as rodas estão travadas ( $w = 0$ )  $s = 1$ . Entretanto,  $\mu(s)$  é um função complicada, e este modelo só pode ser resolvido numericamente [20], o que está fora do nosso interesse. Contudo se olharmos para os gráficos de  $\mu(s) \times s$ , Figura (2.3), feitos por Denny [19] com base nesse modelo, para diversos parâmetros, vemos que  $\mu(s)$  atinge um valor máximo quando o valor de  $s$  está próximo de zero, e começa a cair, enquanto o valor de  $s$  se aproxima de 1. Ou seja,  $\mu(s)$  tem seu valor máximo, aproximadamente, quando as rodas rolam sem deslizar ( $s \approx 0$ ), e seu valor mínimo quando as rodas estão travadas ( $s = 1$ ).

Percebendo isso, Tavares [20] propôs fazer a aproximação para o modelo de atrito estático e cinético, tomando o para  $\mu_e$  o valor máximo obtido para  $\mu(s)$ , e para  $\mu_c$  o valor mínimo, uma vez que  $\mu_e > \mu_c$ . As distâncias de frenagem, com o uso de freios ABS, encontradas por ele usando este modelo simplificado são bastante próximas às encontradas usando o modelo mais complexo, o que mostra que a aproximação é válida [20].

Assim adotaremos este modelo, descrevendo nas próximas seções a dinâmica da frenagem em três situações:

- Rodas rolando sem deslizar, sem o sistema ABS.

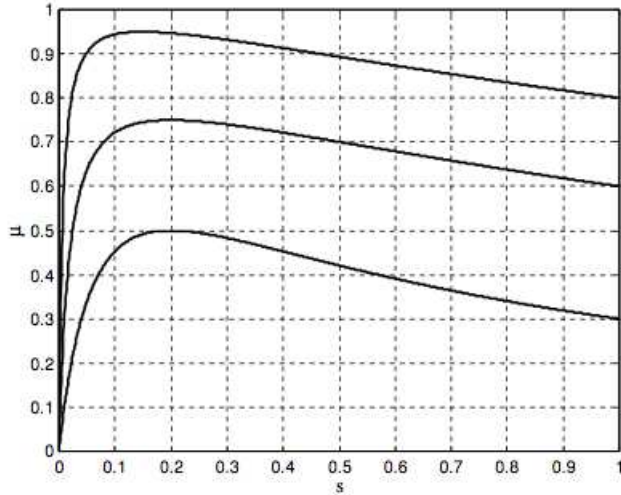


Figura 2.3: Gráfico  $\mu(s) \times s$ . A curva mais acima é típica do asfalto seco, enquanto a curva de baixo do asfalto molhado.(adaptado de [19])

- Rodas travadas, deslizando.
- Rodas com sistema ABS.

## 2.3 A dinâmica da frenagem

Agora vamos analisar o movimento de um automóvel durante a frenagem. Por simplicidade vamos considerar o peso do veículo igualmente distribuído nas quatro rodas, dessa forma a força normal,  $\mathbf{N}$ , é a mesma em todas elas. Também para simplificar vamos supor que o carro esteja se locomovendo apenas na direção horizontal, assim a soma de todas as forças que atuam no corpo na direção vertical é nula. Pela 2ª lei de Newton, para o movimento do centro de massa do carro, temos [20]:

$$Ma = -nF_{at}, \quad (2.4)$$

onde  $M$  é a massa, e  $n$  é o número de rodas do veículo e  $a$  é a aceleração do centro de massa do veículo e  $F_{at}$  é a força de atrito em cada roda.

Apenas com essa equação podemos calcular a distância mínima necessária para parar o veículo, no entanto, como vamos analisar a influência dos freios ABS, que tem por finalidade impedir o travamento das rodas, é interessante resolvê-la em função da pressão que o motorista exerce no pedal do freio no momento da freada.

Isto pode ser feito, olhando-se para as rodas do automóvel. De acordo com a dinâmica dos corpos rígidos vale a seguinte equação [18]:

$$\tau_{ext} = I\alpha, \quad (2.5)$$

onde  $\tau_{ext}$  é o torque das forças externas,  $I$  é o momento de inércia da roda e  $\alpha$  é a sua aceleração angular.

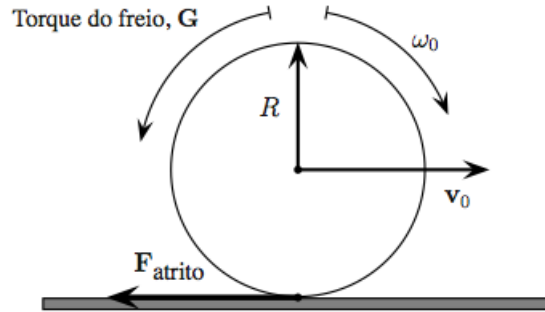


Figura 2.4: roda do veículo que trafega com velocidade inicial  $v_0$ , e velocidade angular inicial  $\omega_0$

Observando a Figura (2.4) vemos que, em cada roda, devemos considerar o torque feito pela força de atrito entre os pneus e o solo e o torque feito pelo sistema de freio ( $G$ ). Aplicando a Eq. (2.5) para cada roda obtemos [20]:

$$I\alpha = -G + RF_{at}, \quad (2.6)$$

onde  $G$  é o torque feito na roda pelo sistema de freio e está diretamente relacionado com a pressão que o motorista aplica no pedal do freio,  $R$  é o raio efetivo das rodas do automóvel, que, novamente por simplicidade, supomos sejam iguais em todas elas, dessa forma  $RF_{at}$  é o torque devido à força de atrito.

### 2.3.1 Rodas rolando sem deslizar

Primeiro vejamos a situação em que as rodas rolam sem deslizar. Neste caso o atrito entre elas e a pista é o atrito estático, e motorista deve controlar a pressão no freio, conseqüentemente controlando  $G$ , de tal forma que entre  $a$  e  $\alpha$  valha a relação:

$$a = \alpha R. \quad (2.7)$$

Como estamos interessados em calcular a distância de frenagem precisamos determinar a aceleração do automóvel, que deve obedecer à condição imposta pela Eq. (2.7). Substituindo  $F_{at}$ , obtido na Eq. (2.4), na Eq. (2.6), obtemos:

$$I \frac{a}{R} = -G - \frac{RMa}{n}. \quad (2.8)$$

Neste momento é interessante definir duas grandezas adimensionais, o torque reduzido,  $\Gamma$ , e o momento de inércia reduzido,  $\nu$ , dados por [20]:

$$\Gamma \equiv \frac{GR}{Ig}, \quad (2.9)$$

$$\nu \equiv \frac{MR^2}{In}, \quad (2.10)$$

onde  $g$  é a aceleração da gravidade.

Como podemos observar por suas definições  $\Gamma$  está relacionado ao torque feito nas rodas pelo sistema de freio, e portanto é controlado pelo motorista, enquanto  $\nu$  caracteriza o veículo.

Substituindo as Eqs. (2.9) e (2.10) na Eq. (2.8) temos:

$$a = -g\Gamma - \nu a. \quad (2.11)$$

Finalmente rearranjando a Eq. (2.11) encontramos a aceleração do veículo como função de  $\Gamma$  e  $\nu$  que se lê:

$$a = -g \frac{\Gamma}{1 + \nu}. \quad (2.12)$$

A Eq. (2.12) mostra que a aceleração, e portanto a distância percorrida durante a frenagem, depende, por meio de  $\Gamma$ , da força que o motorista faz ao acionar os freios. Se o torque exercido na roda pelo sistema de freios,  $G$ , for constante, a aceleração,  $a$ , do veículo também o será e, segundo a equação de Torricelli a distância,  $d$ , necessária para parar o automóvel, que viaja com uma velocidade inicial  $v_0$  é:

$$d = \frac{v_0^2}{2|a|}. \quad (2.13)$$

Substituindo a Eq. (2.12) na Eq. (2.13) obtemos a distância de frenagem,  $d_e$ , quando o atrito é o estático:

$$d_e = \frac{v_0^2}{2g} \frac{1 + \nu}{\Gamma}. \quad (2.14)$$

É preciso ressaltar que a Eq. (2.14) só vale quando as rodas rolam sem deslizar, portanto é interessante calcular o torque máximo que o sistema de freios pode exercer na roda sem travá-la. Vamos fazê-lo por meio do parâmetro  $\Gamma$ , ou seja, vejamos qual deve ser o seu valor máximo, a fim de que continue valendo a Eq. (2.7), o que deve acontecer quando a força de atrito tiver seu valor máximo, dado pela Eq. (2.1).

Podemos determinar  $\mu_e$  em função de  $\Gamma$  e  $\nu$ . Como no modelo que estamos utilizando o peso está igualmente distribuído pelas quatro rodas, a força normal em cada uma é  $\frac{Mg}{n}$ , assim da Eq. (2.1) temos:

$$F_{at} \leq \mu_e \frac{Mg}{n}. \quad (2.15)$$

A força de atrito em cada roda,  $F_{at}$ , é obtida substituindo a aceleração encontrada, Eq. (2.12), na Eq. (2.4):

$$F_{at} = \frac{Mg}{n} \frac{\Gamma}{1 + \nu}. \quad (2.16)$$

Substituindo a Eq. (2.16), na Eq. (2.15), obtemos:

$$\mu_e \geq \frac{\Gamma}{1 + \nu}. \quad (2.17)$$

Como estamos interessados no valor máximo de  $\Gamma$ , no qual as rodas rolam sem deslizar, rearranjando a Eq. (2.17):

$$\Gamma_{cr} = \mu_e(1 + \nu), \quad (2.18)$$

onde  $\Gamma_{cr}$  é o  $\Gamma$  crítico, ou seja, é o valor máximo que ele pode assumir sem provocar o travamento das rodas.

Nessa situação a distância de frenagem será a menor possível, e pode ser calculada substituindo a Eq. (2.18) na Eq.(2.14). O resultado é:

$$d_e = \frac{1}{\mu_e} \frac{v_0^2}{2g}. \quad (2.19)$$

Assim, se  $\Gamma \leq \Gamma_{cr}$  as rodas rolam sem deslizar, atuando, portanto, o atrito

estático, e se  $\Gamma > \Gamma_{cr}$  ocorre o travamento das rodas, que passam a deslizar, e dessa forma o atrito passa a ser cinético.

### 2.3.2 Rodas rolando com deslizamento ou travadas

Agora vejamos a situação onde  $\Gamma > \Gamma_c$ . Neste caso  $|a| < |\alpha|R$ , sendo assim a roda começa a rolar com deslizamento, e trava antes do carro parar. O atrito é cinético, e a sua intensidade, que é constante, é dada pela Eq. (2.2). Como o carro está se movendo horizontalmente, a intensidade da força normal em cada roda é dada pelo seu peso ( $Mg$ ) dividido pelo número de rodas ( $n$ ). Assim a força de atrito em cada roda é:

$$F_{at} = \frac{\mu_c Mg}{n} \quad (2.20)$$

Substituindo a Eq. (2.20) na Eq. (2.4) podemos calcular a aceleração do veículo:

$$a = -\mu_c g. \quad (2.21)$$

A distância de frenagem é obtida substituindo a Eq. (2.21) na Eq.(2.13):

$$d_c = \frac{1}{\mu_c} \frac{v_0^2}{2g}. \quad (2.22)$$

### 2.3.3 A transferência de peso

Nas seções anteriores, para simplificar, consideramos o peso igualmente distribuído nas quatro rodas, no entanto, de acordo com Whitmire e Alleman [21] durante a frenagem ocorre uma transferência de peso, da traseira para a frente do veículo, assim a força normal, que supomos iguais nas quatro rodas, seria maior nas dianteiras e menor nas traseiras.

Na seção (2.3.1) calculamos o valor máximo que  $\Gamma$  poderia assumir sem provocar o travamento da rodas. No entanto é preciso ressaltar que esse cálculo foi feito sem levar em conta a transferência de peso, sendo assim se  $\Gamma \leq \Gamma_c$  as quatro rodas rolam sem deslizar, e se  $\Gamma > \Gamma_c$  elas começam a deslizar. Sendo a força normal nas rodas traseiras menor que nas dianteiras, pode acontecer das traseiras começarem a deslizar, enquanto as dianteiras permanecem rolando sem deslizar. Assim precisamos refazer alguns cálculos, para obter a distância mínima para frenagem com as quatro rodas rolando sem deslizar. Se  $F_D$  e  $F_T$  a força de atrito nas rodas dianteiras e traseiras, respectivamente, precisamos reescrever a Eq. (2.6), trocando  $F_{at}$  por  $F_D$  e  $F_T$ , obtendo:



$$I_D \alpha_D = -G_D + R_D F_D, \quad (2.23)$$

$$I_T \alpha_T = -G_T + R_T F_T. \quad (2.24)$$

Se supusermos que as quatro rodas sejam idênticas, as acelerações angulares,  $\alpha_D$  e  $\alpha_T$  também devem ser iguais, e admitindo que o torque exercido pelo sistema de freios seja o mesmo em todas as rodas, ou seja  $G_D = G_T$ , podemos concluir que a força de atrito será a mesma em todas elas,  $F_D = F_T$ .

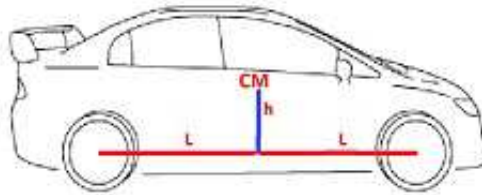


Figura 2.5: A altura do centro de massa,  $h$ , é a metade da distância dos eixos até o centro de massa,  $L$ .

Assim a força de atrito máxima nas rodas, para que todas continuem rolando sem deslizar, seria a força de atrito máxima nas rodas traseiras, dada por  $\mu_e N_T$ , onde  $N_T$  é a força normal nas rodas traseiras. Para determiná-la vamos supor que o centro de massa do veículo seja equidistante dos eixos traseiros e dianteiros, e que sua altura seja a metade dessa distância, como na Figura (2.5). Essa suposição foi feita por Whitmire e Alleman [21], resultando que:

$$N_T = \frac{Mg}{2(2 + \mu_e)}. \quad (2.25)$$

Dessa forma a força de atrito estático máxima nas rodas traseiras seria:

$$F_{T(MAX)} = \frac{\mu_e}{2(2 + \mu_e)} Mg. \quad (2.26)$$

Assim, se  $F_D = F_T = \frac{\mu_e}{2(2 + \mu_e)} Mg$ , a força total nas quatro rodas será  $\frac{2\mu_e}{2 + \mu_e} Mg$ , e a força de atrito em cada uma :

$$F_{at} = \frac{2\mu_e}{2 + \mu_e} \frac{Mg}{n}. \quad (2.27)$$

Substituindo o valor de  $F_{at}$  obtido na Eq. (2.27), na Eq. (2.4), podemos calcular a aceleração do automóvel, que será:

$$a = \frac{-2\mu_e}{2 + \mu_e} g. \quad (2.28)$$

Agora podemos determinar a distância mínima para parar o veículo ( $d_{ettrans}$ ), com as quatro rodas rolando e levando-se em conta a transferência de peso. Substituindo a aceleração encontrada na Eq. (2.28), na equação de Torricelli, obtemos:

$$d_{ettrans} = \frac{2 + \mu_e}{2\mu_e} \frac{v_0^2}{2g}. \quad (2.29)$$

Vamos comparar essa distância  $d_{ettrans}$  com a obtida sem levar em consideração a transferência de peso,  $d_e$ , dividindo a Eq. (2.29) pela (2.19):

$$\frac{d_{ettrans}}{d_e} = \frac{2 + \mu_e}{2}. \quad (2.30)$$

Como  $\mu_e$  é positivo, podemos concluir que  $d_{ettrans} > d_e$ .

Outra hipótese que devemos considerar é a possibilidade, quando se leva em conta a transferência de peso, das rodas traseiras travarem, enquanto as dianteiras continuam rolando sem deslizar. Como a força normal é menor no eixo traseiro, a força de atrito estático máxima também o é. Sendo assim o torque feito pelo sistema de freios, nas rodas traseiras, pode ser maior que o feito pela força de atrito, provocando o travamento das mesmas, e menor do que o da força de atrito nas rodas dianteiras, permitindo que elas continuem rolando sem deslizar.

Nessa situação, segundo Whitmire e Alleman [21], a força normal nos eixos, dianteiro e traseiro, admitindo-se as aproximações feitas anteriormente em relação à posição do centro de massa, seriam dadas por:

$$N_D = \frac{2 + \mu_c}{4 + \mu_c - \mu_e} Mg, \quad (2.31)$$

e

$$N_T = \frac{2 - \mu_e}{4 + \mu_c - \mu_e} Mg. \quad (2.32)$$

O atrito nas rodas traseiras seria cinético, dado por  $\mu_c N_T$ , e nas rodas dianteiras seria estático. Para calcularmos a distância mínima necessária para frenagem, devemos considerar esse atrito como tendo seu valor máximo, dado por  $\mu_e N_D$ . Dessa forma a força de atrito total nas quatro rodas seria  $\mu_c N_T + \mu_e N_D$ . A 2ª lei de Newton, seria assim escrita:

$$Ma = \mu_c N_T + \mu_e N_D. \quad (2.33)$$

Substituindo os valores de  $N_D$  e  $N_T$ , Eqs. (2.31) e (2.32), na Eq. (2.33), podemos calcular a aceleração do veículo:

$$a = \frac{2(\mu_c + \mu_e)}{4 + \mu_c - \mu_e} g. \quad (2.34)$$

Para calcular a distância de frenagem, com as rodas traseiras travadas e as dianteiras rolando sem deslizar ( $d_{ctrans}$ ), basta substituir a aceleração encontrada na equação de Torricelli, obtendo:

$$d_{ctrans} = \frac{4 + \mu_c - \mu_e}{2(\mu_c + \mu_e)} \frac{v_0^2}{2g}. \quad (2.35)$$

Agora podemos comparar essa distância com a menor distância necessária para parar o veículo com as quatro rodas rolando, sem considerar a transferência de peso, obtida na Eq. (2.19), onde temos:

$$\frac{d_{ctrans}}{d_e} = \frac{4 + \mu_c - \mu_e}{2(\mu_c + \mu_e)} \mu_e. \quad (2.36)$$

Observando a Eq. (2.36) vemos que determinar qual distância é a maior não é trivial, e uma opção que temos é substituir nela os valores de  $\mu_e$  e  $\mu_c$ . No entanto, segundo afirma Tavares [20], esses valores são difíceis de ser encontrados. Sendo assim utilizaremos aqui valores médios, que encontramos em alguns artigos, e na internet. Em geral [21, 23–25] o coeficiente de atrito estático entre os pneus e a pista, tem valores próximos de 1, enquanto o coeficiente de atrito cinético tem valores menores que um, considerando o asfalto seco. Sendo assim usaremos  $\mu_e = 1$ , e  $\mu_c = 0,8$ , obtendo:

$$\frac{d_{ctrans}}{d_e} = 1,05. \quad (2.37)$$

Como podemos ver, neste tipo de frenagem com as quatro rodas rolando, supondo o peso igualmente distribuído nas quatro rodas, seria mais eficiente do que com as rodas traseiras travadas e as dianteiras rolando sem deslizar, considerando a transferência de peso.

Outra situação que pode ocorrer é o travamento tanto das rodas dianteiras, quanto das traseiras. Neste caso acreditamos que a transferência de peso não teria efeito sobre a distância de frenagem, pois nos dois eixos o atrito seria cinético, resultando que:

$$F_D = \mu_c N_D, \quad (2.38)$$

e

$$F_T = \mu_c N_T. \quad (2.39)$$

Sendo assim a força de atrito total sobre o veículo é  $F_D + F_T = \mu_c(N_D + N_T)$ . Como  $N_D + N_T = Mg$ , reobtemos a Eq. (2.20).

### 2.3.4 O torque da força normal

Outro ponto que devemos destacar é a deformação dos pneus na região em contato com a pista. De acordo com Silveira [26], essa deformação faz com que a pressão na região de contato com o solo não seja uniforme, mas cresça no sentido do movimento, fazendo com que a força normal seja deslocada para frente em relação ao centro da região de contato de uma distância  $x$ , como mostra a Figura (2.6). adaptado

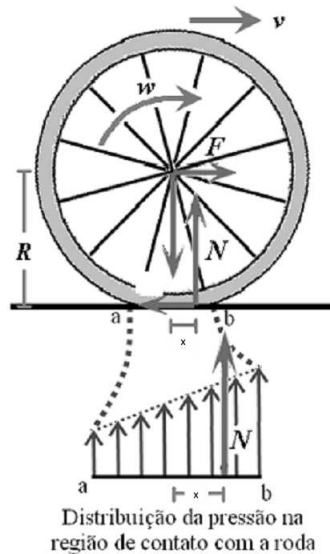


Figura 2.6: a força normal é deslocada para frente em relação ao eixo de rotação da roda, fazendo com que seu torque, em relação ao mesmo, não seja nulo. ( Adaptado de [26])

Sendo assim o torque da força normal, em relação ao eixo de rotação da roda, não é nulo, sendo dado por  $x \frac{Mg}{n}$ , uma vez que a força normal em cada roda é  $\frac{Mg}{n}$ . Esse torque deve ser considerado, dessa forma devemos acrescentar um termo relativo à força normal na Eq. (2.6), obtendo:

$$I\alpha = -G - x \frac{Mg}{n} + RF_{at}. \quad (2.40)$$

Repetindo o processo utilizado para obter a Eq. (2.8) temos:

$$I \frac{a}{R} = -G - \frac{x MRg}{R n} - \frac{RMa}{n}. \quad (2.41)$$

Substituindo  $\nu$  na Eq. (2.41), obtemos:

$$a = -g\Gamma - kg\nu - \nu a, \quad (2.42)$$

onde  $k = \frac{x}{R}$ .

Finalmente, rearranjando a Eq. (2.42) encontramos a aceleração:

$$a = -g \frac{\Gamma + k\nu}{1 + \nu}. \quad (2.43)$$

A distância necessária para a frenagem é dada por:

$$d = \frac{v_0^2}{2g} \frac{1 + \nu}{\Gamma + k\nu}. \quad (2.44)$$

Assim o valor máximo,  $\Gamma_{cr}$ , que o parâmetro  $\Gamma$ , pode assumir sem provocar o travamento das rodas, seria dado por:

$$\Gamma_{cr} = \mu_e(1 + \nu) - k\nu, \quad (2.45)$$

Observando as Eqs. (2.44) e (2.45), percebemos que a distância mínima de frenagem seria a mesma, considerando, ou não, o torque normal, uma vez, que nos dois casos, a força máxima na direção horizontal que pode atuar no veículo é dada pela Eq. (2.1). No entanto, o torque máximo que pode ser feito nas rodas sem travá-las é menor quando levamos em conta o torque da força normal.

## 2.4 Os freios ABS

### 2.4.1 A frenagem mais eficiente

Nas seções anteriores calculamos as distâncias de frenagem de um automóvel nos regimes de atrito estático e cinético, e considerando  $\mu_e > \mu_c$ . Pelas Eqs. (2.19) e (2.22) a distância de frenagem com as rodas travadas é maior que a menor distância de frenagem possível com as rodas rolando sem deslizar, quando a força de atrito for máxima. Isto pode nos levar a concluir que quando as rodas estiverem rolando sem deslizar, a frenagem será mais eficiente, entretanto, como a força de atrito estático não tem um valor fixo, podemos deduzir que:

$$d_e \geq \frac{1}{\mu_e} \frac{v_0^2}{2g}, \quad (2.46)$$

ou seja, só é possível afirmar que a distância de frenagem com as rodas rolando é menor dos que com as rodas travadas, quando elas estiverem na iminência de começar a deslizar.

Na Eq. (2.19) determinamos a distância mínima necessária para parar o carro uma vez que utilizamos a força de atrito máxima. Portanto, de acordo com a Eq. (2.1), podemos concluir que:

$$\frac{v_0^2}{2g} \frac{1+\nu}{\Gamma_{cr}} \leq d_e \leq \frac{v_0^2}{2g} \frac{1+\nu}{\Gamma}, \quad (2.47)$$

ou

$$\frac{v_0^2}{2g} \frac{1+\nu}{\Gamma_{cr}} \leq d_e < \infty, \quad (2.48)$$

se  $\Gamma \rightarrow 0$ .

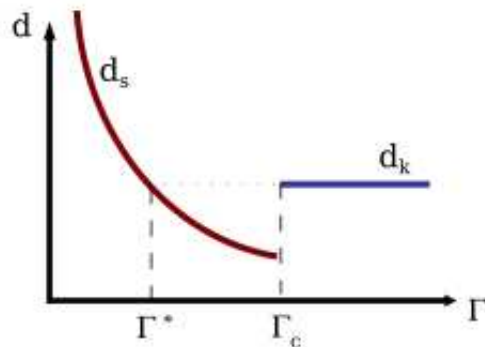


Figura 2.7: para  $\Gamma = \Gamma^*$ ,  $d_e = d_k$ . (adaptado de [20])

Assim, deve haver um certo valor para  $\Gamma$ , para o qual as distâncias de frenagem,

nos regimes de atrito cinético e estático, têm o mesmo valor (Figura 2.7), ou seja onde  $d_e = d_c$ . Podemos obtê-lo igualando as Eqs. (2.22) e (2.14):

$$\frac{1}{\mu_c} \frac{v_0^2}{2g} = \frac{v_0^2}{2g} \frac{1 + \nu}{\Gamma^*},$$

$$\frac{1}{\mu_c} = \frac{1 + \nu}{\Gamma^*},$$

$$\Gamma^* = \mu_c(1 + \nu), \quad (2.49)$$

onde  $\Gamma^*$  é o torque reduzido para o qual  $d_e = d_c$ .

É importante lembrar que a  $\Gamma$  está relacionado à força que o sistema de freios faz na roda do carro, portanto quando pisamos no pedal, a fim de parar o veículo, o que desejamos ter é que  $\Gamma^* < \Gamma < \Gamma_{cr}$ , uma vez que para  $\Gamma < \Gamma^*$  as rodas rolam sem deslizar e, embora o atrito seja estático, pisamos tão leve que a frenagem é menos eficiente do que com as rodas travadas, e com  $\Gamma > \Gamma_{cr}$  as rodas travam, entrando no regime de atrito cinético.

Numa situação ideal teríamos  $\Gamma = \Gamma_{cr}$ , no entanto é difícil para o motorista, usando apenas sua sensibilidade ao volante, conseguir controlar a força aplicada a fim de não ultrapassar  $\Gamma_{cr}$ . Por isso foi desenvolvido o sistema de freios ABS, que não só evita o travamento das rodas, como procura fazer com que a força de atrito, entre os pneus e o solo, fique o mais próximo possível de  $\mu_e N$ .

## 2.4.2 Como funcionam os freios ABS

Para entendermos como funciona o sistema ABS, vamos primeiro ver, de maneira simplificada, o sistema de freios de um automóvel, que funciona devido ao atrito resultante do contato entre um componente preso à estrutura do veículo e um disco, ou tambor, que gira com a roda [27, 28]. A Figura (2.8) mostra o esquema simplificado de um freio a disco, cujos principais componentes são [29]:

- A pinça, que contém um pistão
- As pastilhas de freio
- O disco de freio

Ao pisarmos no pedal do freio, a força que aplicamos é transmitida até o pinça por um sistema hidráulico. Então o pistão empurra as pastilhas contra o disco de freio, que gira junto com a roda. O atrito entre as pastilhas e o disco dissipa a energia mecânica do veículo, convertendo-a em calor [27–29].

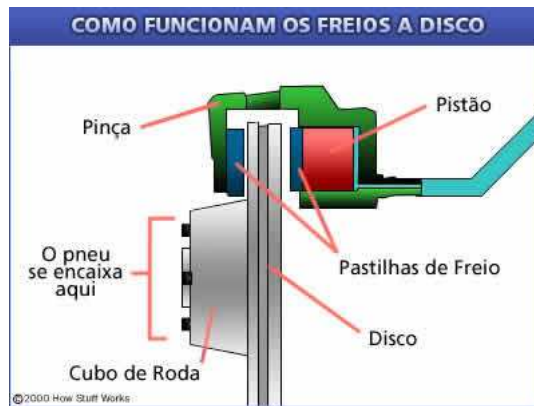


Figura 2.8: esquema simplificado de um freio a disco. (adaptado de <http://carros.hsw.uol.com.br/freios-a-disco1.htm>)

Em frenagens de emergência, quando “pisamos fundo” no pedal do freio pode ocorrer o travamento das rodas, que como mostramos anteriormente aumenta a distância necessária para parar o automóvel, e, além disso, provoca frequentemente uma derrapagem lateral, no caso do travamento das rodas traseiras, e a perda do domínio da direção por parte do motorista, no caso das dianteiras [27–31].

Para evitar que isso aconteça, foi desenvolvido o sistema ABS, que reconhece a tendência de bloqueio de uma ou mais rodas em um primeiro momento, e reduz a pressão de frenagem na roda ou rodas envolvidas [30], evitando assim o travamento das mesmas. O sistema ABS, Figura (2.9), lançado primeiramente pela Bosch em 1978 [30], possui quatro componentes principais [27, 29, 32]:

- Sensores de velocidade

São responsáveis por verificar a velocidade, e fornecer informação de cada roda a unidade controladora, possibilitando ao sistema perceber quando uma roda está prestes a travar.

- Válvulas

Controlam a pressão nos freios repassada à cada roda.

- Bomba

A bomba realimenta o sistema, garantindo que a pressão aliviada ou interrompida pela válvula retorne à ele.

- Unidade controladora

A unidade controladora é um computador no automóvel, responsável por todo o sistema. Ela monitora os sensores de rotação, procurando desacelerações incomuns das rodas, controla as válvulas e a bomba.



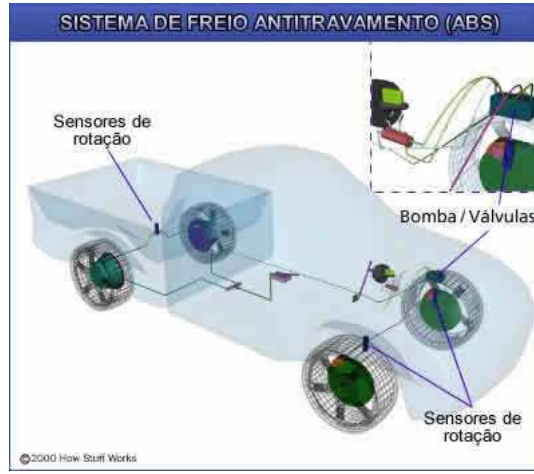


Figura 2.9: principais componentes do sistema ABS. (adaptado de [29])

A unidade controladora monitora os sensores de rotação o tempo todo, comparando a velocidade de cada roda com a velocidade do carro. Quando a velocidade da roda cai em relação à do carro é que o sistema “entra em ação”, diminuindo, ou aumentando a pressão no freio de cada roda, a fim de manter para cada uma a relação  $a = \alpha R$ . Esta operação se repete 15 vezes, ou mais, por segundo, antes que o pneu possa mudar de aceleração angular de forma significativa, assim o sistema mantém os pneus muito próximos do ponto onde eles começam a deslizar, oferecendo ao sistema o máximo poder de frenagem.

### 2.4.3 A dinâmica da frenagem com os freios ABS

Como dissemos, o sistema ABS possui sensores nas rodas que detectam quando  $\Gamma = \Gamma_{cr}$ , e diminuem seu valor, durante um certo intervalo de tempo  $\Delta t$ , de um fator  $\Delta\Gamma$ , ou seja, até que  $\Gamma = \Gamma_{cr} - \Delta\Gamma_{cr}$ . Em seguida o torque aplicado é aumentado até atingir novamente  $\Gamma_{cr}$ . Este ciclo é repetido continuamente até que o veículo pare, assim o torque médio aplicado nas rodas é dado por:

$$\Gamma_{ABS} = \frac{\Gamma_{cr} + (\Gamma_{cr} - \Delta\Gamma_{cr})}{2},$$

$$\Gamma_{ABS} = \Gamma_{cr} - \frac{\Delta\Gamma_{cr}}{2}. \quad (2.50)$$

Nesta situação as rodas rolam sem deslizar, valendo portanto o regime de atrito estático. Substituindo a Eq. (2.50) na (2.12) temos a aceleração para veículos que dispõem do sistema ABS:

$$a_{ABS} = -\frac{g}{1 + \nu} \left( \Gamma_{cr} - \frac{\Delta\Gamma_{cr}}{2} \right). \quad (2.51)$$

Também podemos determinar a distância de frenagem, no entanto temos de fazer algumas considerações. Quando calculamos a distância de frenagem para o regime de atrito estático supusemos que  $G$ , e portanto  $\Gamma$ , era constante. Agora, no entanto, temos  $\Gamma$  variando entre  $\Gamma_{cr}$  e  $\Gamma_{cr} - \Delta\Gamma_{cr}$ . Contudo, se considerarmos  $\Delta t$  suficientemente pequeno, podemos considerar  $\Gamma$  como sendo constante e dado pela Eq. (2.50), assim podemos determinar a distância de frenagem substituindo a Eq. (2.50) na (2.14):

$$d_{ABS} = \frac{v_0^2}{2g} \frac{1 + \nu}{\left( \Gamma_{cr} - \frac{\Delta\Gamma_{cr}}{2} \right)}. \quad (2.52)$$

Se dividirmos a Eq. (2.52) pela Eq. (2.14), podemos comparar a distância de frenagem com o uso do ABS, com a distância mínima de frenagem com as quatro rodas rolando sem deslizar ( $\Gamma = \Gamma_{cr}$ ). O resultado é:

$$\frac{d_{ABS}}{d_e} = \frac{\Gamma}{\left( \Gamma_{cr} - \frac{\Delta\Gamma_{cr}}{2} \right)}. \quad (2.53)$$

A Eq. (2.53) nos mostra que quanto menor for o valor de  $\Delta\Gamma_{cr}$ , mais a distância de frenagem se aproxima do menor valor possível, no entanto seria interessante calculá-la em função do coeficiente de atrito, como fizemos, nas seções anteriores, quando não consideramos o uso do ABS. Substituindo  $\Gamma_{cr}$ , Eq. (2.18), podemos calcular  $\Delta\Gamma_{cr}$ :

$$\Delta\Gamma_{cr} = \Delta[\mu_e(1 + \nu)], \quad (2.54)$$

Considerando  $\nu$  constante temos:

$$\Delta\Gamma_c = (1 + \nu)\Delta\mu_e, \quad (2.55)$$

Assim, substituindo as Eq. (2.18) e (2.55) em (2.50), podemos calcular  $\Gamma_{ABS}$ :

$$\Gamma_{ABS} = \mu_e(1 + \nu) - \frac{\Delta\mu_e}{2}(1 + \nu). \quad (2.56)$$

Substituindo a Eq. (2.56) em (2.52) obtemos:

$$d_{ABS} = \frac{v_0^2}{2g} \frac{1 + \nu}{\mu_e(1 + \nu) - \frac{\Delta\mu_e}{2}(1 + \nu)}. \quad (2.57)$$

E finalmente:

$$d_{ABS} = \frac{1}{\mu_{ABS}} \frac{v_0^2}{2g}, \quad (2.58)$$

onde  $\mu_{ABS} = \mu_e - \frac{\Delta\mu_e}{2}$ .

Com o uso do ABS, a força de atrito entre os pneus e a pista não é constante, mas podemos calcular uma média, que seria dada por:

$$F_{at} = \mu_{ABS}N, \quad (2.59)$$

De acordo com Toresan Jr. [22], perito criminal, esse modelo é utilizado para calcular a velocidade de veículos equipados com ABS.

# Capítulo 3

## O referencial teórico

### 3.1 Ensino por investigação

Nos últimos anos, várias metodologias para o ensino de física tem sido propostas, para Moreira [13] cada uma delas tem seu valor, assim como limitações, e até mesmo prejuízos para o ensino de física, se forem aplicadas de maneira exclusiva. Bastos e Nardi [33] argumentam ser difícil “propor uma abordagem de ensino que seja igualmente apropriada para crianças e jovens, de todas as faixas etárias”, e aos diversos conteúdos, abordados no ensino de ciências, ou seja, não existem “receitas mágicas” para o sucesso. O professor deve procurar adequar suas aulas não apenas aos conteúdos, mas também aos alunos com os quais está trabalhando.

A metodologia que utilizamos para a elaboração das atividades apresentadas neste trabalho foi a do ensino de ciências por investigação. Não devemos encará-la como tábua de salvação, nem como solução milagrosa para os problemas do ensino de Física, mas apenas como uma alternativa à que o professor pode recorrer em seu trabalho docente. Segundo Munford e Lima [12], é “uma estratégia entre outras que o professor poderia selecionar ao procurar diversificar sua prática de forma inovadora”.

Quando falamos de atividades investigativas, estamos falando de atividades onde um problema é proposto aos alunos, que então buscam resolvê-lo. Este problema pode ser colocado pelo professor ou pelos próprios alunos, podendo ser mais, ou menos, abertos, privilegiando-se aqueles mais próximos da realidade e do contexto onde a escola está inserida. Segundo Munford e Lima [12] é corrente a noção de que o ensino de ciências por investigação tem de envolver, necessariamente, atividades bastante abertas, no entanto muitos educadores discordam desse ponto de vista e “apresentam a possibilidade de múltiplas configurações com diferentes níveis de direcionamento por parte do professor”.

A organização das atividades investigativas em diferentes níveis de abertura ou

controle possibilita a aprendizagem por meio de investigação entre alunos de diferentes faixas etárias e com diferentes perfis, inclusive aqueles com maiores dificuldades na área de ciências, da vida, e da natureza. Azevedo [34] argumenta que:

*Essas atividades, porém, devem ser fundamentadas, ou seja, é importante que uma atividade de investigação faça sentido para o aluno, de modo que ele saiba o porquê de estar investigando o fenômeno que a ele é apresentado.*

Segundo Azevedo [34] o ensino por investigação visa levar os alunos a “pensar, debater, justificar suas idéias e aplicar seus conhecimentos em situações novas, usando conhecimentos teóricos e matemáticos”. De acordo com Julio e Vaz [35] as atividades investigativas, propiciam aos alunos desenvolver autonomia e estratégias, além do conhecimento específico, para a solução dos problemas propostos. Munford e Lima [12] dizem que:

*Uma visão comumente aceita é de que a curiosidade é uma característica natural (e essencial) do ser humano e que, conseqüentemente, todas as atividades humanas deveriam ser guiadas pela curiosidade e pela investigação. Assim, nada seria mais “natural”, simples e espontâneo do que pensar em ensino de ciências como ensino de ciências por investigação.*

Locatelli e Carvalho [36] argumentam que:

*É necessário oferecermos condições aos estudantes para que, por meio de um ambiente interativo, possam vivenciar e desenvolver importantes aspectos presentes na cultura científica, como a argumentação e o raciocínio hipotético-dedutivo.*

Numa abordagem de ensino por investigação o aluno deixa de ter uma postura passiva, participando ativamente do processo de ensino-aprendizagem. Por outro lado o professor não atua mais como um mero transmissor de conhecimento, mas sim como um guia, auxiliando os alunos na resolução dos problemas propostos. Azevedo [34] afirma que para que uma atividade de investigação possa ser assim considerada, o aluno não pode apenas observar ou realizar um experimento, “ela deve também conter características de um trabalho científico: o aluno deve refletir, discutir, explicar, relatar, o que dará ao seu trabalho as características de uma investigação científica”. Sá *et al.* [37] dizem que:

*As atividades investigativas têm seu potencial pedagógico aumentado na medida em que contribuem para um ensino mais interativo, dialógico e*

*capaz de persuadir os alunos a compreender a validade das explicações científicas dentro de certos contextos. Desse modo, superar-se-ia um ensino de ciências centrado em discursos autoritrários, prescritivos e dogmáticos (...)*

*(...) Neste tipo de atividade, o professor propõe e discute questões, contribui no planejamento da investigação dos alunos, orienta no levantamento de evidências, auxilia no estabelecimento de relações entre evidências e explicações teóricas, incentiva a discussão e a argumentação entre os estudantes e promove a sistematização do conhecimento.*

Ao discutir e defender seus pontos de vista, junto aos colegas de classe, o aluno percebe que o conhecimento científico não é algo pronto e acabado, e que o seu desenvolvimento não se dá apenas por critérios técnicos. Na busca de soluções para os problemas investigados, os fatores sociais, políticos e econômicos também são de fundamental importância. Reis e Galvão [38] afirmam que:

*Muitas aulas de ciências, privilegiando a ilustração, verificação e memorização de um corpo de conhecimentos perfeitamente estabelecido, não controverso, apresentam a ciência como um processo objetivo, isento de valores, que conduz a verdades absolutas, inquestionáveis, através da observação rigorosa de regularidades nos fenômenos e do estabelecimento de generalizações. No entanto, a ciência real é bem diferente. Os especialistas entram frequentemente em conflito pois as controvérsias sócio-científicas não podem ser resolvidas simplesmente numa base técnica, uma vez que envolvem hierarquizações de valores, conveniências pessoais, pressões de grupos sociais e econômicos, etc.*

Outro aspecto a se destacar é que a solução do problema não constitui o único conhecimento produzido numa atividade investigativa; a metodologia e a estratégia utilizada pelos alunos para resolver o problema também o são. Para Azevedo [34] “a aprendizagem de procedimentos e atitudes se torna, dentro do processo de aprendizagem, tão importante quanto a aprendizagem de conceitos e, ou, conteúdos”. Segundo Sá *et al.* [37]:

*O que distingue uma atividade investigativa das outras é um conjunto de características e circunstâncias que contribuem para que o aluno inicie uma atividade dotada de motivações, inquietações e demandas que vão acabar por conduzi-lo a construção de novos saberes, valores e atitudes.*

Devemos observar que quando falamos em atividades investigativas não nos referimos apenas às atividades práticas ou experimentais. De acordo com Sá *et al.* [37]

as atividades investigativas podem ser práticas, ou teóricas, feitas com a utilização de simulação em computador, com a apresentação de vídeos, ou com diversos outros recursos. A esse respeito, Munford e Lima [12] afirmam que uma atividade experimental, muitas vezes, não apresenta características essenciais da investigação, e que atividades que não são práticas podem ser até mais investigativas do que aquelas experimentais, dependendo da situação. Nessa mesma linha Azevedo [34] afirma que as investigações, propostas aos alunos, tanto podem ser resolvidas na forma de “práticas de laboratório como de problemas de lápis e papel”. Gil *et al.* afirmam que ([39] *apud* [34]):

*Pode-se pensar, pois, em abraçar as práticas de laboratório e a resolução de problemas de lápis e papel como variantes de uma mesma atividade: o tratamento de situações problemáticas abertas com uma orientação próxima do que constitui o trabalho científico. De fato, o teste de uma hipótese, em uma investigação real pode e deve fazer-se tanto experimentalmente como mostrando a coerência de suas implicações com o corpo de conhecimentos aceito pela comunidade científica.*

### 3.2 A dinâmica das atividades

As atividades que propomos têm a mesma sistemática:

1. O professor divide a turma em grupos, de 4 ou 5 alunos, e apresenta o problema.
2. Os alunos debatem e procuram as soluções com seus colegas de grupo.
3. A turma toda é reunida novamente, cada grupo expõe suas conclusões e os processos utilizados para obtê-las.

Julio e Vaz [35] afirmam que o trabalho em grupo permite que “os alunos discutam com os colegas, reflitam sobre suas ideias e ações, desenvolvam o senso crítico e uma percepção potencialmente mais rica da atividade científica”.

No ensino tradicional o uso da palavra é quase uma exclusividade do professor, Carlsen [46] afirma que ele é “caracterizado por direitos de conversação assimétricos que sempre favorecem o professor”. Ao pedir que os estudantes expressem seu pensamento, primeiramente dentro do grupo, e depois para a turma toda, o professor estimula o aluno a falar. De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais [10]:

*O aprendizado não deve ser centrado na interação individual de alunos com materiais instrucionais, nem se resumir à exposição de alunos ao*

*discurso professoral, mas se realizar pela participação ativa de cada um e do coletivo educacional numa prática de elaboração cultural.*

Para Capecchi e Carvalho [47]:

*O incentivo à participação dos alunos em discussões sobre os temas a serem estudados em aula e os trabalhos em grupos envolvem dimensões importantes na formação geral dos estudantes, tais como, o aprendizado de uma convivência cooperativa com os colegas, o respeito às diferentes formas de pensar, o cuidado na avaliação de uma afirmação e a autoconfiança para a defesa de pontos de vista.*

A divisão da turma em grupos possibilita uma participação mais efetiva de cada aluno, que ao invés de debater com a turma toda, num primeiro momento o faz apenas com um grupo reduzido. Além disso ao participar de um grupo com alunos com os quais tem mais afinidades, ele se sente mais a vontade, para expor suas ideias e defender suas opiniões. Segundo Julio e Vaz [35] o trabalho em grupo estimula os alunos à participar das atividades propostas e à resolver os problemas, e dessa forma promove a melhora do desempenho individual. Capecchi e Carvalho [47] afirmam que:

*O espaço para a fala dos alunos e, mais especificamente, para a argumentação em sala de aula é fundamental. Através da argumentação, os estudantes entram em contato com algumas habilidades importantes dentro do processo de construção do conhecimento científico, tais como, reconhecimento entre afirmações contraditórias, identificação de evidências e confronto de evidências com teorias.*

Na condução da atividade o professor passa a compreender melhor o discurso de seus alunos. Ele vai lapidando o linguajar dos estudantes, que têm a oportunidade de se familiarizar com linguagem científica. Carlsen [46] diz que “o conhecimento humano é discursivo por natureza, reproduzido através da linguagem e artefatos em instituições sociais como a escola”. De acordo com Capecchi e Carvalho [47] “aprender ciências é também apropriar-se desta nova linguagem e é através do espaço para falar que esta apropriação torna-se possível”.



### 3.3 Ciência, tecnologia e sociedade (CTS)

Ainda hoje o que se espera de um aluno ao concluir o ensino médio é que ele seja capaz de resolver alguns problemas padrões, e muitas vezes somos confrontados uma pergunta para a qual não temos uma resposta satisfatória, que é: *professor por que eu tenho que aprender isso?* Bonadiman e Nonenmacher [2] dizem que para motivar o aluno é preciso que ele perceba a importância, “para a sua formação e para a sua vida, dos conteúdos desenvolvidos em sala de aula”, caso contrário ele rapidamente perderá a motivação, e passará a encarar o estudo de física, burocraticamente, apenas como uma obrigação que deve ser cumprida. Fica então o desafio de como alcançar este objetivo.

Como já dissemos o ensino médio não deve preparar o aluno apenas para os vestibulares ou para o mercado de trabalho, mas sim para o exercício da cidadania. De acordo com o PCN+ [14]:

*O novo ensino médio, nos termos da lei, de sua regulamentação e de seu encaminhamento, deixa de ser, portanto, simplesmente preparatório para o ensino superior ou estritamente profissionalizante, para assumir necessariamente a responsabilidade de completar a educação básica. Em qualquer de suas modalidades, isso significa preparar para a vida, qualificar para a cidadania e capacitar para o aprendizado permanente, em eventual prosseguimento dos estudos ou diretamente no mundo do trabalho.*

Há algum tempo tem se falado na necessidade do ensino de ciências promover a alfabetização científica. Santos e Mortimer [40] afirmam que atualmente alfabetizar os cidadãos em ciência e tecnologia trata-se de uma necessidade. Para Amaral *et al.* [41] a alfabetização científica “busca compreender o conhecimento científico, suas condições de produção e sua aplicação, possibilitando ao indivíduo interagir com os elementos científicos e tecnológicos da vida social”. Concordamos com Silva e Carvalho [42] que dizem que alfabetizar em ciências significa:

*Promover um ensino mais válido e útil para a maioria, ou seja, que contribua para a formação de cidadãos responsáveis, que possam tomar decisões a respeito de questões da vida real que estão relacionadas com a Ciência e a Tecnologia.*

Essa tem sido a principal proposição dos currículos com ênfase em CTS [40]. Numa sociedade fortemente influenciada pelo desenvolvimento da ciência e da tecnologia a perspectiva CTS possibilita ao estudante deixar de ser um mero espectador da realidade, passando a participar das discussões e capacitando-o à tomada de

decisão. Segundo Acevedo [44] o objetivo principal da abordagem CTS é dar uma formação em conhecimento e, principalmente, em valores que favoreçam a participação cidadã responsável e democrática e na avaliação e controle das implicações sociais da ciência e tecnologia. Nessa mesma linha Santos e Mortimer [40] afirmam que a educação de CTS não só capacita os estudantes à tomada de decisão em questões de ciência e tecnologia na sociedade, como também em atuar na solução das mesmas. De acordo com Silva e Carvalho [42] “de modo geral, a proposta CTS chama a atenção para a necessidade de uma avaliação dos riscos e benefícios associados à aplicação da Ciência e da Tecnologia”. Para Zuin et al. [45] dentro dessa concepção, a ciência também deixa de ser exclusividade dos cientistas, passando a fazer parte do cotidiano da população de um modo geral.

Não se trata, portanto, apenas de entender o funcionamento, ou a operação, de algum equipamento tecnológico, mas sim em ser capaz de utilizar o conhecimento científico na tomada de decisões conscientes. Poder analisar, por exemplo, os prós e os contras dos diversos meios de geração de energia, avaliar se um empresa é ambientalmente responsável ou não, ou discutir sobre as propostas dos candidatos a cargos eletivos. O que pretendemos, então, é que os cidadãos independentemente de possuírem, ou não, formação específica nas carreiras tecnológicas possam contribuir e participar do desenvolvimento da sociedade.

# Capítulo 4

## As atividades propostas

### 4.1 Introdução

Neste capítulo descreveremos as atividades que propomos, sendo todas, como já foi dito, baseadas na metodologia de ensino por investigação. Além de descrevê-las também apresentamos algumas sugestões sobre como o professor pode atuar em algumas situações, que imaginamos possam acontecer. Devemos ressaltar que não se trata de um roteiro rígido, ou de uma fórmula mágica para o sucesso, mas apenas de algumas orientações, e sugestões, que devem ser adaptadas pelo professor às especificidades de cada turma.

Ao longo de nossa experiência profissional, tendo trabalhado em escolas, e com alunos, de perfis diferentes, temos identificado algumas de suas dificuldades e concepções não-científicas. Baseado nisso é que apontamos algumas ideias, e comportamentos, que esperamos dos alunos, nas diversas situações que se apresentam em cada atividade.

Na última atividade, seção (4.15), propomos um enfoque em CTS, com o objetivo não só de mostrar ao aluno como a ciência, e a tecnologia, podem ser utilizadas, em prol da sociedade, e sua importância, mas também como o conhecimento científico e tecnológico é importante no momento em que o cidadão precisa fazer escolhas. No nosso caso em especial, o que pretendemos é mostrar que o consumidor, cidadão, deve estar atento à outros fatores não menos importantes, além do preço do produto, ao tomar sua decisão.

## 4.2 Tema de física abordado

Neste trabalho abordamos as forças de atrito entre dois corpos sólidos, planejando atividades diferentes para trabalhar seu módulo, direção e sentido, baseadas nas seguintes questões:

1. O módulo da força de atrito depende:
  - (a) do peso dos corpos em contato;
  - (b) do tamanho dos corpos;
  - (c) da forma dos corpos;
  - (d) do material do qual os corpos são feitos;
  - (e) da força de contato entre os corpos (força normal).
2. Qual será a direção da força de atrito?
3. O sentido da força de atrito é:
  - (a) contrário ao movimento;
  - (b) a favor do movimento;
  - (c) contrário à tendência de movimento relativo entre as superfícies.
4. A força de atrito tem um valor fixo, ou seja, ela é constante?
5. Há diferenças, na força de atrito, quando há, e quando não há, movimento relativo entre as superfícies em contato?
6. Como distinguir em uma determinada situação se o atrito é estático ou cinético?

Além disso também propomos uma atividade a fim de possibilitar aos alunos perceber como a ciência e a tecnologia podem contribuir para o desenvolvimento da sociedade, e a melhoria da vida dos cidadãos. Nela abordamos o funcionamento e as vantagens do sistema de freios ABS, um equipamento de segurança com o qual apenas uma parte dos automóveis comercializados no Brasil está equipada.

## 4.3 O conhecimento prévio dos alunos

Antes de começar a descrever as atividades que propomos é preciso ressaltar o conhecimento prévio que os alunos devem ter, afim de que elas possam ser realizadas com êxito. Como o tema abordado nas atividades são as forças de atrito, é necessário que tenham sido trabalhados com a turma os seguintes assuntos:

1. Vetores.
  - (a) o que são vetores;
  - (b) diferença entre direção e sentido;
  - (c) soma vetorial.
2. Leis de Newton.
  - (a) 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> lei de Newton;
  - (b) aplicações da 2<sup>a</sup> lei.

Em particular achamos importante abordar a aplicação da 2<sup>a</sup> lei de Newton, sem no entanto falar das forças de atrito, em algumas situações simples, e em especial num plano inclinado.

## 4.4 A dinâmica das atividades

Agora vamos descrever a dinâmica das atividades. Em todas as etapas é importante que o professor observe a linguagem utilizada pelos estudantes, procurando aproximá-la da linguagem científica. As atividades são divididas nas seguintes etapas:

1. **O professor divide a turma em grupos, de 4 ou 5 alunos, e apresenta o problema**

O professor deve pedir que os alunos se dividam em grupos, e eles devem fazê-lo de acordo com seus próprios interesses. Ele deve evitar influenciá-los na escolha dos grupos, pois é importante que cada aluno se sinta bem dentro do seu grupo, e tenha toda liberdade para conversar com seus colegas. Após os grupos estarem formados o problema é apresentado à turma, e o professor orienta os grupos a buscarem a solução.

2. **Os alunos debatem e procuram as soluções com seus colegas de grupo**

Nesta etapa os alunos devem trabalhar dentro dos seus respectivos grupos. Eles devem levantar hipóteses e pensar em como confirmá-las ou não, além de

buscar argumentos a fim de convencer seus colegas de grupo de que suas ideias estão corretas, e ao final chegar a uma conclusão de consenso dentro do grupo.

O professor deve circular pela sala e acompanhar os trabalhos de cada grupo. Cabe a ele estimular o debate e cooperação dentro dos grupos, e orientá-los na busca da solução, sem no entanto dar as respostas, sem dizer se as hipóteses levantadas estão certas ou erradas, mas incentivando-os a testá-las e avaliá-las.

Caso o professor perceba que algum grupo não consegue chegar a conclusão alguma ele pode sugerir como eles podem testar suas hipóteses, e havendo opiniões diferentes pedir que cada um exponha suas ideias aos colegas, e o porquê de acreditar que elas estejam corretas.

### **3. A turma toda é reunida novamente, cada grupo expõe suas conclusões e os processos utilizados pra obtê-las**

Aqui cada grupo deve expor suas conclusões a cerca do problema proposto, e com chegaram até elas. O professor deve estimular o debate entre os grupos, com o cuidado de ao mesmo tempo não dizer a resposta e orientá-los de tal maneira que, ao final, a turma tenha uma opinião de consenso.

## **4.5 Materiais utilizados**

Para realização das atividades sugerimos materiais de baixo custo, e de fácil acesso, de tal forma que sua aquisição não se torne mais um problema a ser enfrentado pelo professor.

São eles:

- Carrinhos de brinquedo.

Os carrinhos devem ter formas, tamanhos e massas diferentes, e é preciso que uma parte tenha rodinhas de plástico e outra parte rodinhas de borracha.

- Rampa de alumínio ou madeira.

A rampa pode ser feita de alumínio, madeira, ou algum outro material liso. Caso ela seja feita de madeira é preciso lixar sua superfície, o que além de alisá-la, elimina o risco de ela soltar farpas. Ela deve ter entre 1,0m e 1,5m de comprimento e sua largura depende do tamanho dos carrinhos, que nela vão deslizar. Por isso é importante que ela tenha abas nas laterais, para evitar que eles caiam por ali.

- Lixa d'água .

- Caixas de sapato.
- Bicicleta.

Na seção (4.13), descrevemos uma atividade onde abordamos os freios de um automóvel. Como o sistema de freios desse tipo de veículo é difícil de ser visualizado sugerimos o uso de uma bicicleta.

## 4.6 O acompanhamento das atividades

O acompanhamento de todas atividades pode ser feito de três formas diferentes:

### 1. Gravação da aula em vídeo

A gravação da aula em vídeo permite uma avaliação posterior da turma, ou de um grupo particular de alunos. O professor pode observar com mais calma o comportamento e as estratégias utilizadas pelos alunos na resolução do problema.

Outro aspecto a se destacar é que, ao rever sua aula, o professor pode avaliar seu próprio comportamento, reavaliando e aprimorando suas práticas. Para Silva e Schnetzler [51] reflexões críticas, por parte do professor, sobre a própria prática pedagógica são indispensáveis para a melhoria efetiva do processo de ensino-aprendizagem.

### 2. Gravação do áudio

O áudio da aula pode ser gravado colocando-se um gravador próximo de cada grupo. A análise do que foi dito, dentro dos grupos, permite ao professor acompanhar o desempenho dos mesmos. Outro ponto importante é que a partir disso ele pode avaliar a linguagem utilizada pelos alunos, o que é importante a fim de pensar em como aproximá-la da linguagem científica.

### 3. Confecção de relatórios

O professor pode pedir, ao final de cada atividade, que os alunos descrevam num relatório tudo o que fizeram, o que pode ser feito em grupo, ou individualmente. Esse relatório deve conter as hipóteses levantadas pelo grupo, as estratégias utilizadas para testá-las e as conclusões obtidas.

## 4.7 1ª atividade - a corrida de carrinhos

Para realização desta atividade dispomos de duas rampas iguais, Figura (4.1), e carrinhos de massas, tamanhos e formas diferentes, alguns com rodinhas de borracha, e outros com rodinhas de plástico, Figura (4.2). O tempo necessário para que ela seja realizada é de aproximadamente 90 minutos.

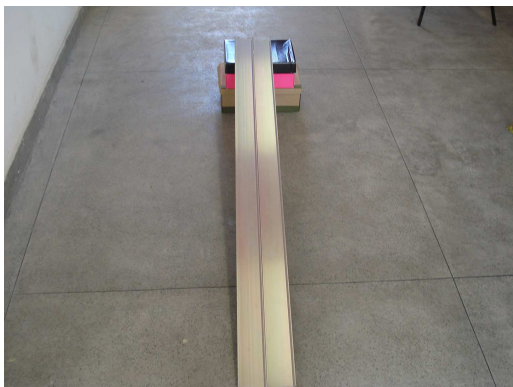


Figura 4.1: duas rampas iguais.



Figura 4.2: carrinhos de massas, tamanhos e formas diferentes, alguns com rodinhas de borracha, e outros com rodinhas de plástico.

A atividade tem dois objetivos:

1. Verificar que da interação entre dois corpos resulta, além da força normal, a força de atrito.
2. Proporcionar aos alunos a compreensão de que a força de atrito depende do material das superfícies que estão em contato.

Ela consiste em soltar simultaneamente, Figura (4.3), dois carrinhos e ver qual chega primeiro ao final da rampa. Deve-se ter o cuidado de não colocar as rampas muito inclinadas, o que faria com que os carrinhos descessem muito rápido, dificultando a observação.

Os alunos estão divididos em grupos e para motivá-los pedimos que cada grupo escolha um carrinho para apostar uma “corrida” e ver qual ganha. Após realizar as corridas o professor faz à turma as seguintes perguntas:

- Por que alguns carrinhos ganham dos outros, e alguns chegam empatados?
- Quais são as forças que atuam nos carrinhos?
- Estas forças são feitas por quem?





Figura 4.3: os carrinhos devem ser seguros por uma mesma pessoa, com apenas uma das mãos, para garantir que eles serão soltos ao mesmo tempo.

Após a discussão nos grupos, o professor deve reunir a turma e pedir que cada grupo exponha suas conclusões. Esperamos que eles concluam que além da força peso e da força normal, alguma outra força deve estar atuando nos carrinhos, pois como dissemos antes de realizar esta atividade as leis de Newton já devem ter sido trabalhadas com a turma, portanto imaginamos que os alunos saibam aplicar a 2ª lei em um plano inclinado.

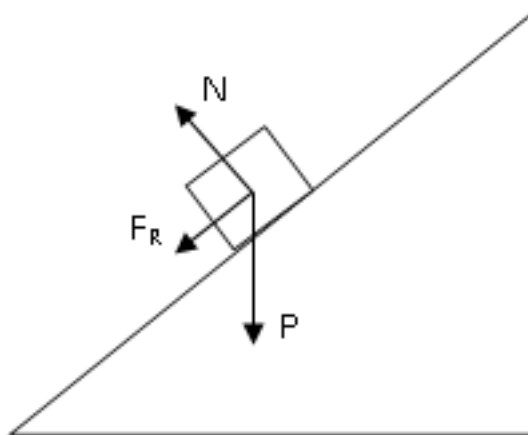


Figura 4.4: diagrama de forças que atuam em uma caixa sobre um plano inclinado sem atrito.

Se um corpo desce um plano inclinado, sem atrito, as forças que atuam sobre ele são a força normal,  $N$ , e a força peso,  $P$ . A força resultante,  $F_R$ , representada na

Figura (4.4) neste caso é dada por:

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{P} + \mathbf{N}. \quad (4.1)$$

A força resultante, e conseqüentemente a aceleração,  $a$ , estão atuando na direção do plano, e seus módulos são dados por:

$$F_R = mg \sen \theta, \quad (4.2)$$

$$a = g \sen \theta, \quad (4.3)$$

onde  $m$  é a massa do corpo, e  $g$  é a aceleração da gravidade.

A Eq. (4.3) mostra que neste caso a aceleração do objeto depende apenas da aceleração da gravidade, e da inclinação do plano, não dependendo, portanto, do objeto em si. Assim é esperado que os alunos percebam que além da força normal e da força peso alguma outra força deve estar atuando nos carrinhos, pois caso contrário todos deveriam chegar empatados, uma vez que a aceleração seria igual para todos. Antes mesmo do professor, é provável que alguns alunos chamem essa força de força de atrito, caso contrário, à essa altura ele já pode denominá-la.

Outra conclusão esperada é que essa força deve ser feita pela rampa, pois além da Terra, responsável pelo peso, é com ela que os carrinhos estão interagindo, além disso ela deve estar na direção do plano, da superfície de contato. Como os carrinhos realizam um movimento retilíneo na direção do plano, a força resultante tem esta mesma direção. Uma vez que a soma da força peso com a força normal, e está nesta direção, para que uma terceira força seja somada à elas e o resultado continue nesta direção, esta força deve ter a direção do plano.

Caso o professor perceba que estas conclusões não estejam sendo atingidas, ele pode pedir a algum aluno voluntário para desenhar no quadro o diagrama das forças que estão atuando nos carrinhos, e então orientar a discussão para que em conjunto a turma chegue a um denominador comum.

Depois de fazer um apanhado das ideias colocadas, e das conclusões obtidas, o professor pede que os alunos se reúnam em seus grupos e coloca outra questão:

- Essa outra força que está atuando, depende de que?

A partir daí eles devem começar a buscar a resposta. Algumas hipóteses devem ser levantadas pelos grupos, tais como:

- A influência do peso.

Ao longo de nossa experiência como professores, percebemos que os alunos tendem a imaginar que os corpos mais pesados “caem mais rápido”.

- A influência do tamanho, e da forma dos carrinhos.
- A influência do material das rodinhas.

É importante que nesta etapa as rampas e os carrinhos estejam à disposição dos alunos. O que desejamos é que eles comecem a manipulá-los, repetindo as corridas e tentando verificar, e convencer seus colegas de grupo, que suas hipóteses são verdadeiras.

O professor tem um papel fundamental, ele deve estimular o debate entre os integrantes de cada grupo, sem dizer se as hipóteses estão certas ou erradas, mas orientando-os a testá-las e avaliá-las. Por exemplo, se alguém perguntar: *professor, o mais pesado chega primeiro, não é?* Ele pode responder: *não sei, faça o teste. Pegue carrinhos de pesos diferentes e veja se é isso mesmo que acontece.* Também pode acontecer de algum aluno, que já tenha visto a “fórmula”, diga: *eu já sei, a força de atrito é  $\mu N$ .* Ao que o professor pode responder: *tudo bem, mas, que força é essa? O que quer dizer  $\mu N$ ? A força de atrito é sempre dada por  $\mu N$ ?*

Ao perceber que algum grupo não consegue chegar a conclusão alguma ele pode sugerir como eles podem testar suas hipóteses, e havendo opiniões diferentes pedir que cada um exponha suas ideias aos colegas, e o porquê de acreditar que elas estejam corretas.

O que desejamos é que após algum tempo os grupos comecem a perceber que o que faz com que os carrinhos ganhem ou percam as corridas é o material de que são feitas suas rodinhas (carrinhos com rodinhas de borracha ganham dos carrinhos com rodinhas de plástico) e que portanto a força que atua no carrinho depende do material que está em contato com a rampa.

Caso o professor note que isso não está acontecendo, para auxiliar os alunos, ele pode colocar sobre as rampas duas borrachas, Figura (4.5), uma com capa de plástico e outra sem, e ir aumentando a inclinação até que elas comecem a deslizar. A borracha com capa de plástico desliza primeiro, e como elas têm, aproximadamente, o mesmo peso, a mesma forma e o mesmo tamanho fica mais evidente que o que faz com que isso aconteça é o material, borracha ou plástico, que está em contato com a rampa.

Depois de algum tempo o professor reúne a turma toda novamente e pede para que cada grupo exponha suas resposta para a questão e como chegaram a tais conclusões. Opiniões e argumentos diferentes são confrontados, e o professor deve ter o cuidado de não dar as respostas, e, ao mesmo tempo, conduzir o debate entre os grupos, a fim de chegar à resposta desejada.

Concluído que a força de atrito depende do material das rodinhas dos carrinhos, o professor deve colocar a seguinte pergunta:



Figura 4.5: duas borrachas, uma com capa de plástico e outra sem.

- Quando os carrinhos estão descendo a rampa, além da força normal e da força peso, atua sobre ele a força de atrito. Essa força depende do material das rodinhas, mas será que ela depende também da superfície da rampa?

Para verificar essa dependência sugerimos uma atividade rápida. O professor deve colocar uma lixa sobre uma das rampas, e uma borracha sobre cada uma, como mostra a Figura (4.6). A inclinação das rampas deve então ser ajustada de tal forma que as borrachas comecem a deslizar. O que observamos é que a borracha que está sobre a rampa com a lixa precisa de uma inclinação maior para que isso ocorra, ou seja, ao aumentarmos a inclinação a borracha que está sobre a rampa sem a lixa começa a deslizar, enquanto a outra continua parada.

Os alunos devem discutir sobre a questão dentro dos seus grupos, e depois novamente expor suas conclusões para o restante da turma num debate orientado pelo professor. O que esperamos é que eles cheguem à conclusão de que a força de atrito também depende da superfície da rampa.

Para finalizar deve ser feito um apanhado de todas as ideias, das conclusões obtidas e dos processos utilizados para obtê-las.



Figura 4.6: uma borracha sobre a rampa, e outra sobre a rampa coberta com uma lixa.

## 4.8 2ª atividade - por que a caixa não cai?

Esta atividade pode ser desenvolvida também em aproximadamente 90 min, e para realizá-la utilizamos algumas caixas de sapato e alguns livros de física. Seus objetivos são:

1. Reforçar a atuação da força de atrito;
2. Estabelecer a ideia de que a força de atrito também depende da força normal entre as superfícies em contato.

Ao iniciar a atividade, o professor deve solicitar que os alunos se dividam em grupos e pede para que um ou mais alunos, de grupos diferentes, empurrem uma caixa de sapato contra a parede, Figura (4.7), de tal forma que ela não caia.

Durante toda atividade o professor deixa as caixas disponíveis para os alunos, e faz a seguinte pergunta:

- Por que a caixa não cai?

Esperamos que alguns alunos digam que ela não cai porque está sendo empurrada contra a parede, e outros digam que a força de atrito “anula” o peso.

Para orientar melhor a discussão podemos pedir que cada grupo faça um diagrama das forças que atuam sobre a caixa. Nesta etapa acreditamos que os alunos consigam apontar na direção horizontal, porém com sentidos contrários, a força que a mão faz na caixa ( $F_1$ ) e a força normal ( $N$ ) entre a caixa e a parede, além da



Figura 4.7: a caixa é empurrada contra a parede.

força peso ( $P$ ) vertical para baixo, em virtude delas já terem sido trabalhadas com a turma em aulas anteriores.

Como o atrito ainda será uma novidade, imaginamos que alguns grupos podem não citar a força de atrito ( $F_{at}$ ) entre a caixa e a parede, que é vertical para cima, ou fazê-lo de maneira incorreta. Caso perceba que isto está acontecendo, o professor deve orientar a discussão, a fim de se estabelecer que, para que a caixa não caia, é necessário que entre ela e a parede atue também a força de atrito, e que ela deve ser vertical para cima.

Neste sentido ele pode pedir que cada grupo desenhe o diagrama das forças que estão atuando sobre a caixa, e fazer a seguinte pergunta:

- Qual é a soma de todas as forças que atuam na caixa?

Acreditamos que eles façam diagramas como os da Figura (4.8), e como a 2ª lei de Newton já foi trabalhada anteriormente, em respostas do tipo: *a soma é nula. Se a caixa está parada, sua aceleração é zero, portanto a força resultante é nula.*

Caso algum grupo tenha feito o diagrama de forças corretamente, como na Figura (4.9), o professor pode pedir que ele explique aos demais porque o fez daquele jeito, e o que o leva a acreditar que esteja correto. Nesta situação o professor deve apenas coordenar o debate, confrontando a resposta correta com a obtida por outros grupos, e encaminhando a discussão para uma solução única.

Se isto não acontecer, ou seja, se nenhum grupo desenhar o diagrama de forças corretamente, ele deve fazer aos grupos a seguinte colocação e pergunta:

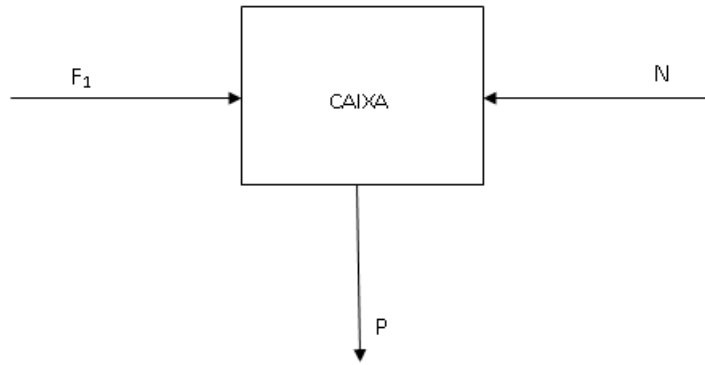


Figura 4.8: diagrama de forças incorreto, sem a força de atrito.

- Se a força resultante que atua sobre a caixa é nula, a soma de todas as forças que atuam sobre ela deve ser zero. Se somarmos a força que a mão faz na caixa, e a força normal entre a caixa e a parede, que estão na direção horizontal, com a força peso que é vertical e para baixo, essa soma pode dar zero?

A representação gráfica permite uma compreensão mais fácil de que, para que a força resultante seja nula, é preciso que sobre a caixa atue uma força vertical para cima, que é a força de atrito. Como na primeira atividade o processo se repete, o professor incentiva o debate dentro dos grupo, e após um tempo para as discussões sobre as perguntas, ele pede que cada grupo coloque para a turma suas repostas e como chegaram à elas.

Estabelecido que a força de atrito é vertical para cima, começamos uma nova etapa, agora a fim de concluir que a intensidade da força depende da força normal. Novamente o professor solicita que um ou mais alunos, de grupos diferentes, empurrem uma caixa contra a parede de tal forma que ela não caia, Figura (4.7). Ele então coloca um livro dentro de cada caixa, e pede para os alunos segurá-las novamente contra a parede e faz a seguinte pergunta:

- O que vocês tiveram que fazer para que as caixas não caíssem?

Eles devem responder que tiveram que empurrá-las com mais força contra a parede.

A seguir o professor relembra o que foi feito e as conclusões tiradas na primeira etapa e pergunta:

- Quando colocamos o livro dentro da caixa, considerando os dois como um corpo só, o diagrama de forças muda?

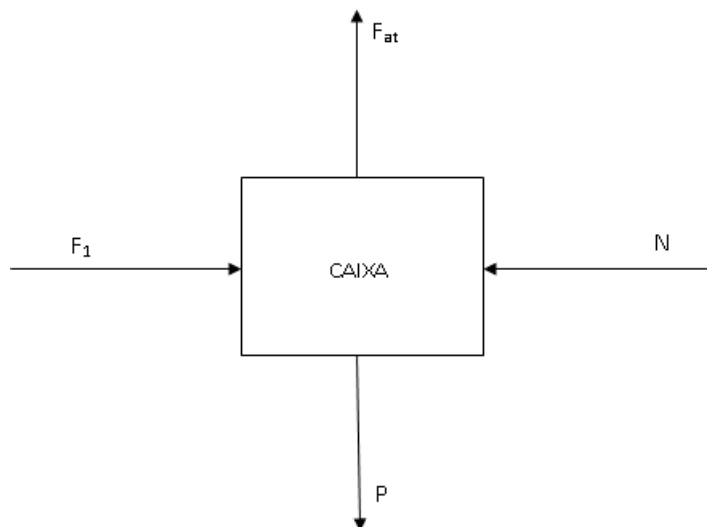


Figura 4.9: diagrama de forças incorreto, sem a força de atrito.

As forças que atuam sobre a caixa<sup>1</sup> são as mesmas, entretanto suas intensidades mudam, e o que desejamos é concluir que um aumento da força normal entre as superfícies provoca o aumento da força de atrito. Imaginamos que os grupos percebam que o diagrama de forças não se altera, embora com relação ao aumento das intensidades possa haver alguma dificuldade. Caso algum grupo responda que ele muda, o professor deve pedir que ele diga que forças atuam sobre a caixa e quem faz cada força. De novo ele orienta o debate até concluir que o diagrama de forças não se altera.

Devemos, então, argumentar que ao colocar o livro dentro da caixa o peso aumentou, e perguntar o que acontece com as outras forças. Naturalmente esperamos que, após repetir o experimento os grupos afirmem que  $F_1$  aumentou uma vez que foi necessário empurrar a caixa com mais força contra a parede. Para  $N$  e  $F_{at}$  acreditamos que possa haver alguma dificuldade. Para superá-la, o que pode ser feito é, circulando entre os grupos, orientá-los a separar as forças que estão na direção horizontal das que estão na vertical, e escrever a equação da 2ª lei de Newton para cada direção, lembrando que como a caixa está parada, em ambas a aceleração é nula, o que resulta que:

$$\mathbf{F}_1 + \mathbf{N} = 0, \quad (4.4)$$

$$\mathbf{F}_{at} + \mathbf{P} = 0. \quad (4.5)$$

---

<sup>1</sup>Considerando a caixa e o livro como um corpo só.



E em módulo temos:

$$F_1 = N, \quad (4.6)$$

$$F_{at} = P. \quad (4.7)$$

A Eq. (4.6) mostra que o aumento da força feita sobre a caixa, provoca o aumento da força normal. Com o livro dentro da caixa, para que ela não caísse, foi necessário empurrá-la com mais força contra a parede, logo a força normal também aumentou. Por outro lado a Eq. (4.7) mostra que se o peso aumenta e a caixa permanece parada, como aconteceu quando o livro foi colocado dentro dela, significa que a força de atrito também aumentou.

De novo os grupos são reunidos e expressam suas conclusões. Depois de concluir que todas as forças aumentaram outra questão deve ser colocada:

- O que provocou o aumento da força de atrito?

Os alunos debatem dentro dos seus grupos enquanto o professor circula pela sala. Imaginamos que eles repetirão a experiência, e algumas hipóteses, como o aumento da  $F_{at}$  ter sido provocado pelo aumento de  $F_1$ , de  $N$ , ou de  $P$ , serão levantadas. Caso se verifique que as conversações não estão avançando, podemos levantar algumas questões, tais como:

- A força peso é devida à interação entre a caixa e a Terra, ela pode influenciar a força de atrito que é devida à interação entre a caixa e a parede?
- A interação entre a mão e caixa,  $F_1$ , pode influenciar a interação entre a caixa e a parede?
- A força normal é devida à interação entre a caixa e a parede, ela pode influenciar a força de atrito, que também é devida à interação entre a caixa e a parede?

Para finalizar repete-se o processo, cada grupo expõe suas conclusões e como chegaram até elas. O professor conduz o debate, faz uma síntese e uma recapitulação do que os grupos disseram, até se chegar na resposta desejada.

## 4.9 3ª atividade - atrito estático e atrito cinético

Agora planejamos uma atividade para verificar que há diferença entre o atrito estático e o cinético. Ela pode ser realizada em aproximadamente 30 minutos, e os materiais necessários são as mesmas rampas e borrachas, uma com capa de plástico e outra sem, utilizadas anteriormente.

O professor deve mostrar aos alunos duas situações diferentes, e pedir que eles verifiquem o que está acontecendo em cada uma delas. Na primeira ele deve colocar uma borracha em cima de uma rampa e a outra borracha com capa de plástico em cima da outra rampa, Figura (4.5), que não deve estar muito inclinada, de maneira que as borrachas não deslizem imediatamente.

Ele deve começar a elevar as rampas lentamente, o que fará com que em uma determinada inclinação, a borracha com capa de plástico comece a deslizar, enquanto a outra continuará parada, e então colocar a seguinte questão aos grupos:

- O que podemos dizer com relação às forças de atrito que atuam nas duas borrachas, nesta situação?

Os alunos devem dizer que a força de atrito que atua na borracha sem capa de plástico é maior que a força de atrito sobre a outra, uma vez que ela permaneceu parada, enquanto a outra começou a deslizar, ou seja, nela a força de atrito foi suficiente para “segurar seu peso”, enquanto que na outra não. Essa resposta é esperada uma vez que esse fato já foi trabalhado na 1ª atividade.

A seguir o professor deve colocar as rampas bastante inclinadas, de tal forma que ao serem colocadas sobre elas as duas borrachas deslizem imediatamente. O que acontece é que nesta situação as duas borrachas, com e sem capa de plástico, chegam ao final da rampa praticamente juntas. Os grupos devem então reponder à mesma pergunta feita anteriormente:

- O que podemos dizer com relação às forças de atrito que atuam nas duas borrachas, nesta situação?

Escrevendo a equação da 2ª lei de Newton para as duas borrachas obtemos:

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{P} + \mathbf{N} + \mathbf{F}_{at} \quad (4.8)$$

Elas chegam juntas ao final das rampas, o que nos permite concluir que ambas têm a mesma aceleração. Como elas têm a mesma massa, têm também o mesmo peso, e conseqüentemente a força normal sobre elas também têm a mesma intensidade, portanto, de acordo com a Eq. (4.8), as intensidades das forças de atrito que atuam sobre elas devem ser as mesmas.

Imaginamos que os alunos tenham mais dificuldades em chegar a esta conclusão, devendo o professor estimular novamente o debate entre os colegas de grupo. Ele pode também sugerir que os alunos relembrem o que foi feito, e as conclusões obtidas, nas atividades anteriormente, principalmente com relação à aceleração das borrachas quando estão descendo a rampa. Outra atitude que pode ajudar é pedir que eles escrevam no papel a equação da 2ª lei de Newton para cada borracha, uma vez que em muitos casos, eles conversam, debatem, mas têm dificuldade em representar o pesamento de maneira mais formal.

Concluindo que nesta situação as borrachas têm a mesma aceleração, a próxima etapa é comparar as duas situações, o que pode ser feito, fazendo aos grupos a seguinte pergunta:

- O que podemos dizer das forças de atrito nas duas borrachas, comparando a 1ª situação com a 2ª?

O que desejamos é comparar as duas situações, para que ao final os estudantes percebam que quando as borrachas estão em repouso as forças de atrito que atuam sobre elas têm intensidades diferentes, e quando elas estão deslizando as forças de atrito têm a mesma intensidade, ou seja, que as forças de atrito quando não há movimento relativo entre as borrachas e as rampas são diferentes das forças de atrito quando há movimento relativo.

Mais uma vez o professor deve deixar as rampas e as borrachas disponíveis para que os alunos repitam as duas situações se acharem necessário. Ele deve estimular o debate e o confronto das ideias divergentes, e após reunir a turma toda, cada grupo expor suas conclusões e como chegaram até elas, conduzir o debate a fim de se chegar à conclusão esperada.

## 4.10 4ª atividade - a força de atrito é constante?

Nesta atividade utilizaremos as mesmas rampas da anterior, e algumas borrachas. O tempo necessário para que ela seja realizada é de aproximadamente 30 minutos, e seu objetivo é verificar se a intensidade da força de atrito estático tem um valor fixo ou não.

Após a realização da 1ª atividade os alunos já estão aptos a analisar as forças que atuam sobre um corpo que está parado em cima plano inclinado. Como mostra a Eq. (2.1), a força de atrito estático não tem um valor fixo, podendo variar de zero até um valor máximo, dado por  $\mu N$ . Como o corpo se encontra em repouso, sua aceleração é nula, portanto temos:

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{P} + \mathbf{N} + \mathbf{F}_{at} = 0 \quad (4.9)$$

E segue que, em módulo,

$$F_{at} = mg \sen \theta \quad (4.10)$$

Como vemos na Eq. (4.10) a força de atrito neste caso depende da inclinação ( $\sen \theta$ ) da reta, portanto ao aumentá-la, a força de atrito também aumenta, sendo este um exemplo de que a força de atrito estático não tem um valor constante. Ao longo de nossa experiência profissional, o que verificamos, entretanto, é que a maioria dos estudantes tem muita dificuldade em lidar com isso, acreditando que seu valor é sempre  $\mu N$ , assim propomos uma atividade simples a fim de auxiliá-los na superação desta dificuldade.

Ela consiste em colocar uma borracha, Figura (4.5), sobre a rampa, e ir aumentando e diminuindo sua inclinação, sem que, entretanto, a borracha deslize. O professor, então faz a seguinte pergunta aos grupos:

- O que acontece com a força de atrito?

A resposta esperada é que quando aumentamos a inclinação da rampa, a força de atrito aumenta, e quando diminuimos a inclinação ela diminui. Caso os grupos tenham dificuldade em chegar à essa conclusão o professor pode fazer a seguinte pergunta:

- Quando a rampa está muito inclinada, a força de atrito tem o mesmo valor que quando ela está pouco inclinada, ou em algum caso ela é maior?

Novamente, a rampa e a borracha devem estar à disposição dos alunos. Imaginamos que alguns acreditem que em qualquer situação a força de atrito tenha o mesmo valor, e que alguns possam desenvolver o seguinte raciocínio: *quando a inclinação da rampa aumenta, a força que puxa a borracha para baixo também aumenta, logo para que ela não caia é preciso empurrá-la com mais força para cima, então podemos concluir que a força de atrito também aumenta.*

Este raciocínio não está completamente errado, mas precisa ser melhorado. Cabe ao professor acompanhar as discussões nos grupos, procurando adequar a linguagem dos alunos à linguagem científica, sempre procurando incentivar o confronto de ideias divergentes, e a participação de todos os alunos dentro de cada grupo. É importante que ele fique atento, procurando identificar as dificuldades dos alunos, e dando sugestões, de como superá-las. Neste caso, por exemplo, pode-se sugerir que eles façam o diagrama das forças que estão atuando sobre a borracha, além de escrever a 2ª lei de Newton para ela, ou perguntar o que aconteceria com a borracha caso ela estivesse num plano inclinado sem atrito, e comparar essa situação com a borracha que está parada sobre a rampa.

Novamente a turma toda é reunida, cada grupo expõe suas conclusões e como chegaram até elas, e o professor conduz o debate a fim de se chegar à resposta desejada.

#### 4.11 $F_{at} = \mu N$

Ao final destas atividades o professor pode lembrar todas as conclusões obtidas:

1. A força de atrito depende das superfícies em contato (1ª atividade) e da força normal (2ª atividade).
2. A força de atrito quando não há movimento relativo entre as superfícies em contato é diferente da força de atrito quando há movimento relativo (3ª atividade).
3. A força de atrito estático não é constante (4ª atividade)

Neste momento ele já pode introduzir a “fórmula” da força de atrito,  $F_{at} = \mu N$ , procurando relacioná-la às atividades desenvolvidas. Esperamos que assim essa equação não pareça algo tão abstrato para o aluno, mas que ela venha carregada com todo significado trabalhado anteriormente. Nesse sentido, algumas relações diretas podem ser feitas, tais como:

- O parâmetro  $\mu$ , chamado de coeficiente de atrito, depende das superfícies que estão em contato.

Isso implica que  $F_{at}$  tem a mesma dependência, como pode ser constatado durante a realização da “corrida” de carrinhos.

- O parâmetro  $\mu$  tem valores diferentes quando há movimento relativo entre as superfícies em contato e quando não há movimento relativo.

Ao colocarmos as borrachas, com e sem capa de plástico, sobre a rampa, em inclinações diferentes, constatamos que as forças de atrito têm valores diferentes quando há, e quando não há, movimento relativo entre as superfícies. Como a força normal não varia de uma situação para a outra, podemos concluir que o que varia é o coeficiente de atrito. Assim quando não há movimento relativo entre as superfícies ele é chamado de *coeficiente de atrito estático*, e representado por  $\mu_e$ , e quando há movimento relativo entre as superfícies ele é chamado de *coeficiente de atrito cinético*, sendo representado por  $\mu_c$ .

- A força de atrito estático varia de zero até um valor máximo dado por  $\mu_e N$ , ou seja  $0 \leq F_{at} \leq \mu_e N$ .

Quando colocamos a borracha sobre a rampa, percebemos que mesmo aumentando sua inclinação ela permanecia parada, até que para uma determinada inclinação máxima ela começava a deslizar, ou seja se a rampa está na posição horizontal a força de atrito é nula, quando aumentamos a inclinação ela aumenta até atingir  $\mu_e N$ , aumentando mais ainda a inclinação, a borracha começa a deslizar.

- A força de atrito cinético é constante, sendo seu módulo dado por  $\mu_c N$ .

## 4.12 5ª atividade - a força de atrito é sempre contrária ao movimento?

Esta atividade pode ser feita em aproximadamente 45 min. Nela desejamos responder à seguinte pergunta:

- A força de atrito é sempre contrária ao movimento?

Consideramos ser o senso comum entre os alunos, que a força de atrito é sempre contrária ao movimento, sendo muitas vezes difícil fazê-los compreender que ela não é contrária ao movimento, mas sim à tendência de movimento relativo entre as superfícies em contato. À esse respeito, Caldas e Saltiel [52] analisaram alguns livros de física utilizados no ensino superior e concluíram que:

*A escolha de um quadro restritivo para falar sobre as leis do atrito, talvez na tentativa de simplificar e tornar mais acessível um assunto, que não é tão evidente assim, omite pontos importantes, quando não deixa outros tantos ambíguos ou aparentemente contraditórios, levando muitas vezes a incorreções ou interpretações que poderiam ser evitadas.*

*Desta forma, os livros analisados não dão a contribuição que poderiam dar para ajudar a colocar em causa o status adquirido pelas forças de atrito, no que diz respeito ao sentido destas forças, e mesmo, muitas vezes, contribuem para reforçá-lo.*

Assim acreditamos ser importante a realização de uma atividade apenas com o objetivo de superar essa concepção. Para realizá-la, utilizamos duas caixas de sapato, e ela consiste em colocar uma caixa sobre a outra, Figura (4.10), e depois empurrar a caixa de baixo, Figura (4.11), de tal forma que as duas caixas “caminhem” juntas. Então, com a turma dividida em grupos, fazemos a seguinte pergunta:

- Quais são as forças que atuam sobre a caixa de cima?



Figura 4.10: as caixas devem ser colocadas uma sobre a outra, e caso necessário, para uma melhor visualização, podem ser colocadas sobre uma mesa.



Figura 4.11: a caixa de baixo pode ser empurrada de tal forma que as duas “caminhem” juntas.

Com já dissemos as leis de Newton vêm sendo trabalhadas junto à turma desde antes das primeiras atividades, sendo por elas reforçadas. Assim, a força peso e força normal devem ser apontadas por todos corretamente, inclusive a direção e o sentido. No entanto com relação à força de atrito, os alunos devem ter maior dificuldade.

Além disso alguns podem citar a força que a mão, que está empurrando a caixa de baixo, faz na caixa de cima. Com relação a isso podemos fazer algumas perguntas a fim de levar o aluno a refletir sobre a resposta dada, tais como:

- A mão está interagindo com a caixa de cima?

Caso algum grupo responda de maneira afirmativa, a pergunta seguinte pode ser:

- A mão não está em contato com a caixa de cima, então de que maneira elas interagem?

O que desejamos é concluir que a mão não interage com a caixa de cima, para então concluir que ela não a empurra, o que pode ser feito colocando-se a seguinte questão:

- Se elas não interagem, como a mão pode estar empurrando a caixa de cima?

Mais uma vez, devemos destacar que ao longo dessas etapas o professor não deve dar as respostas, mas apenas servir como um guia, para que os próprios alunos cheguem às suas conclusões.

O professor deve então pedir aos grupos que retomem a discussão com relação às forças que estão atuando sobre a caixa de cima. Novamente ele orienta o debate

entre os alunos, e imaginamos que agora todos já serão capazes de chegar à conclusão de que as forças que atuam sobre a caixa são a normal, o peso e o atrito.

Contudo, como foi dito anteriormente, o sentido da força de atrito muitas vezes não é bem compreendido, dessa forma acreditamos que muitos grupos ainda o apontem como sendo contrário ao sentido do movimento que a caixa adquiriu ao ser empurrada pela caixa de baixo, portanto achamos importante insistir nesse ponto, pedindo que os grupos apontem a direção e o sentido das forças que estão atuando sobre a caixa de cima.

Como já dissemos, em relação ao peso e à normal não deve haver problemas, contudo a maioria dos grupos deve concluir que a força de atrito é horizontal para trás, considerando-se que ao empurrarmos a caixa de baixo, as duas se movimentaram para frente. A opinião de que o atrito é sempre contrário ao movimento é muito forte entre os alunos. Essa questão pode ser enfrentada fazendo à eles a seguinte provocação:

- A única força que atua sobre a caixa na direção horizontal, a força de atrito, vocês disseram que é para trás. Pode acontecer de empurrarmos uma caixa para trás e ela andar para frente?

Após isso esperamos que alguns alunos continuem dizendo que o atrito é para trás e outros que ele é para frente. Alguns podem utilizar o seguinte argumento: *a força de atrito é horizontal para trás, no entanto ela anda para frente pois está sobre a caixa de baixo, que é empurrada para frente pela mão*, ou seja, a caixa de cima é “obrigada” a andar para frente por estar sobre a caixa de baixo. Para ajudar a superar essa ideia podemos pedir que um aluno de um empurrão bem forte na caixa de baixo, o que faz com que ela se movimente para frente, enquanto a caixa de cima permanece praticamente em repouso.

Devemos então sugerir que os alunos refaçam a experiência, e que cada um dicuta com seus colegas se o atrito é para trás ou para frente. Depois de um tempo para o debate intragrupos, a turma toda é reunida e repete-se a sistemática, cada grupo coloca suas opiniões e em que elas estão fundamentadas. Após conduzir o debate entre os grupos podemos citar situações diferentes, algumas onde o atrito é contrário ao movimento, e outras onde o atrito é a favor do movimento, para então concluir que na verdade ele é contrário a tendência de movimento relativo entre as superfícies.



## 4.13 6ª atividade - os freios ABS

Na seção (2.4) dissemos que, basicamente, a função do sistema de freios ABS é evitar o travamento das rodas durante a frenagem, sendo o uso desse dispositivo é importante na medida em que é muito difícil, até mesmo para um motorista experiente, fazê-lo apenas com sua sensibilidade ao pisar no pedal.

Com as rodas rolando sem deslizar, o atrito entre os pneus e a pista é estático, e com as rodas travadas, deslizando na pista é cinético. Como o coeficiente de atrito estático é maior que o cinético, a força de atrito máxima também o é, sendo assim, ao evitar o travamento das rodas, os freios ABS otimizam a frenagem, tornando-a mais segura e diminuindo a distância necessária para parar o veículo, como foi mostrado na seção (2.4.3). No entanto a maioria das pessoas acredita justamente no contrário, que para parar o carro mais rapidamente, o melhor a fazer é travar as rodas.

Nesta atividade, que dividimos em duas etapas, estas questões são abordadas, e temos por objetivo responder às seguintes perguntas:

1. Ao pisarmos no pedal do freio, o que faz um automóvel parar?
2. Quando o atrito entre os pneus e a pista é estático, e quando é cinético?
3. Se quiséssemos otimizar a frenagem, criando um dispositivo que possibilitasse minimizar a distância necessária para parar o veículo, o que o motorista poderia fazer?

### 4.13.1 1ª Etapa

Esta etapa pode ser feita em aproximadamente 50 min, e nela utilizamos uma bicicleta, e também um dispositivo de vídeo, que pode ser um computador com datashow, ou mesmo uma televisão com aparelho de DVD.

O que pretendemos é analisar o sistema de freios de um automóvel, que, no entanto, fica escondido em baixo da carroceria do veículo. Assim achamos mais interessante analisar os freios de uma bicicleta, com o qual a maioria dos estudantes está familiarizado, e que além de ser mais simples, e ter o mesmo princípio básico de funcionamento, está bem à vista.

No início da atividade, o professor pede que os alunos formem seus grupos, e sentem-se, deixando um corredor livre no meio da sala de maneira que possa passar com a bicicleta e ser visto por todos. Ele deve mostrar um esquema do sistema de freios de um automóvel, Figura (2.8), e da bicicleta, Figura (4.12), descrevendo o que acontece ao acionarmos cada um. No automóvel as pastilhas são pressionadas contra os discos de freio, e na bicicleta as borrachinhas são pressionadas contra os aros das rodas, e em seguida perguntar:

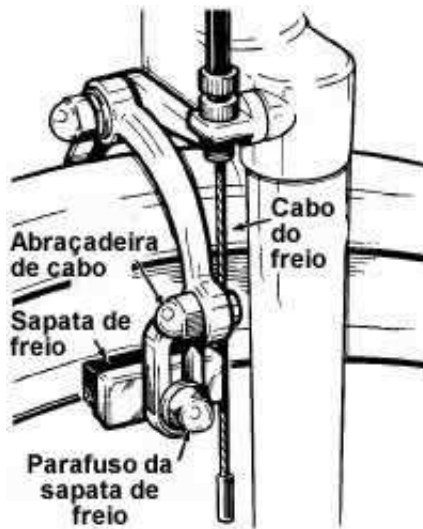


Figura 4.12: sistema de freio de uma bicicleta. (adaptado de <http://viagem.hsw.uol.com.br/como-reparar-uma-bicicleta4.htm>)

- Imaginem que eu esteja andando numa rua plana e horizontal, de bicicleta, ou de carro, e visse um sinal vermelho. Ao acionar o freio, o que faria o meu veículo parar?

Como a única força externa ao veículo é a força de atrito entre os pneus e a pista, ela é a responsável por pará-lo. No entanto o que imaginamos é que a maioria dos grupos dirá que o faz com que ele pare é o atrito entre o sistema de freios e a roda. Ainda que essa ideia seja muito forte entre eles, devemos lembrar também que este é um assunto presente em nosso cotidiano, assim todos sempre ouvimos falar, por exemplo, que em pista molhada, devemos diminuir a velocidade, portanto alguns grupos devem citar também a força de atrito entre os pneus e a pista.

Neste momento o professor deve deixar a bicicleta à disposição dos estudantes, sem o entanto permitir que qualquer aluno tente andar nela dentro da sala, o que poderia causar acidentes. Novamente ele deve apenas orientá-los em seus debates. Para isso podem ser feitas algumas perguntas, tais como:

- O que faz a bicicleta parar é o atrito entre as borrachinhas e os aros, então se não apertarmos o freio ela não parará nunca?
- A força de atrito entre a borrachinha e o aro é uma força interna, ou externa à bicicleta?

Como esses conceitos, de força externa e força interna, já foi trabalhado anteriormente, esperamos que os alunos respondam corretamente que esta é uma força interna.

- Pode uma força interna, como essa, parar o veículo?

Após dar algum tempo para que os grupos cheguem às suas conclusões, ele pede para que cada um as exponha para o resto da turma, e antes de promover o debate entre os grupos sugerimos que mostre aos alunos dois pequenos vídeos, ambos disponíveis na internet<sup>2</sup>.



Figura 4.13: O primeiro vídeo mostra um carro tentando parar numa rua coberta com um fina camada de gelo.

O primeiro vídeo<sup>3</sup> tem 36s de duração e mostra um carro que fica descontrolado ao passar por uma rua com uma fina camada de gelo. Nele é possível perceber que embora esteja em baixa velocidade e com as rodas travadas o veículo não pára.



Figura 4.14: O segundo vídeo mostra um carro tentando arrancar em uma rua coberta com uma fina camada de gelo.

O segundo vídeo<sup>4</sup> tem 72s de duração, e mostra um motorista tentando arrancar com um veículo em uma pista também com uma camada de gelo. Ao assistí-lo podemos perceber que embora, em alguns momentos, as rodas girem com grande velocidade, o carro praticamente não sai do lugar.

---

<sup>2</sup>Os vídeos também estão disponíveis num CD anexo à essa dissertação.

<sup>3</sup>Disponível em [www.youtube.com/watch?v=0ZPq8DmVYBE](http://www.youtube.com/watch?v=0ZPq8DmVYBE), acessado em 30/08/10.

<sup>4</sup>Disponível em [www.youtube.com/watch?v=5S\\_NzD5Pzx0](http://www.youtube.com/watch?v=5S_NzD5Pzx0), acessado em 30/08/10.

A escolha desses dois vídeos foi feita a fim de mostrar o que parece ser uma contradição. No primeiro o automóvel continua em movimento, embora as rodas estejam travadas, e no segundo ele permanece parado, embora as rodas estejam girando. Após sua apresentação, esperamos que todos cheguem à conclusão desejada, de que é o atrito entre os pneus e a pista que param os veículos.

Agora o professor deve pedir que todos prestem atenção, e empurrar a bicicleta de duas maneiras, primeiro sem apertar os freios, de tal forma que as rodas possam rolar sem deslizar, depois apertando os freios, de maneira que as rodas permaneçam travadas, sem rolar, apenas deslizando, e aí fazer a seguinte pergunta:

- Em qual situação o atrito entre os pneus e a pista é estático, e em qual ele é cinético?

Na seção (4.9) propusemos uma atividade a fim de verificar que a força de atrito é diferente quando há, e quando não há, movimento relativo entre as superfícies em contato. O que pretendemos agora é mostrar que para saber se o atrito é cinético, ou estático, devemos observar se há ou não movimento relativo entre as superfícies.

Quando as rodas estão travadas, a superfície do pneu desliza em relação à pista, o atrito é cinético, e quando elas rolam sem deslizar o atrito é estático. O que percebemos, entretanto, é que em situações como esta a maioria dos estudantes pensa exatamente de forma contrária, e uma resposta comum é a seguinte: *quando as rodas estão travadas elas estão paradas, logo o atrito é estático, e quando elas rolam, estão em movimento, logo o atrito é cinético.*

Novamente aqui o professor deve ter o cuidado de não dar a resposta, mas apenas conduzir os grupos até ela. Sem dar respostas, e nem dizer se as respostas dadas pelos alunos estão corretas, o professor pode repetir as duas situações, salientando que o que deve ser observado, em cada uma, é se há ou não movimento relativo entre as superfícies do pneu e da bicicleta.

Na situação em que a roda está travada podemos auxiliá-los à perceber que o atrito é cinético com as perguntas a seguir:

- A superfície do pneu está em movimento em relação ao chão?  
Imaginamos que a maioria dirá que não, que ela está parada.
- Um objeto parado pode se deslocar?
- A roda permanece o tempo todo na mesma posição, em relação ao solo?

O que desejamos é que eles percebam que embora as rodas não estejam rolando, elas estão em movimento em relação ao solo.

Para mostrar que quando as rodas estão rolando, sem deslizar, o atrito é estático, o que sugerimos é abordar situações semelhantes para que os alunos possam refletir sobre elas, como por exemplo uma pessoa caminhando. Podemos pedir que uma alguém caminhe pela sala e perguntar:

- A força de atrito entre a sola do sapato e o chão é estático ou cinético?
- A sola do sapato está deslizando em relação ao solo?

Com essa comparação acreditamos seja mais fácil perceber que, assim como ao caminharmos a parte do sapato que toca o chão não desliza no solo, embora estejamos em movimento, quando a superfície do pneu toca o solo ela não desliza, embora a bicicleta também esteja em movimento.

Novamente repete-se o processo, com cada grupo expondo suas conclusões e como chegaram até elas e o professor conduz o debate.

### 4.13.2 2ª Etapa

Esta etapa pode ser feita também em aproximadamente 30 min, e antes de iniciá-la o professor deve lembrar as seguintes conclusões obtidas anteriormente:

- Quando acionamos o freio o que faz com que o carro pare é a força de atrito entre os pneus e a pista.
- A força de atrito estático máxima, é maior que a força de atrito cinético.
- Quando as rodas rolam sem deslizar o atrito entre os pneus e o solo é estático, e quando as rodas estão travadas ele é cinético.

Nosso objetivo agora é que os alunos percebam que para que a frenagem seja mais eficiente é preciso que o atrito entre os pneus e a pista seja estático, ou seja que as rodas rolem sem deslizar. No entanto esta não é a única condição, como vimos anteriormente a força de atrito estático varia de zero até  $\mu_e N$ , quando as rodas estão na iminência de começar a deslizar, enquanto a força de atrito cinético é constante e dada por  $\mu_c N$ , ou seja em determinadas condições a força de atrito estático pode ser menor que a força de atrito cinético. Assim o desejável é que não só o atrito seja estático, mas também que sua intensidade esteja entre  $\mu_c N$  e  $\mu_e N$ , ou seja:

$$\mu_c N < F_{at} < \mu_e N \quad (4.11)$$

Entretanto é difícil para o motorista controlar a freada a fim de que isso aconteça, fazendo com que a roda role sem deslizar, o mais próximo possível da situação limite

onde ela está na iminência de começar a deslizar, e ao mesmo tempo impedir o travamento das rodas. Assim podemos propor aos grupos o seguinte problema:

- Lembrando das conclusões obtidas anteriormente, em que situação a frenagem seria mais eficiente?

Com esta pergunta esperamos concluir que o melhor é frear evitando o travamento das rodas, e assim, tendo atrito estático entre as mesmas e o solo. No entanto é possível que de imediato os alunos não cheguem à essa conclusão, pois imaginamos que muitos ainda acreditem que o melhor a ser feito é “pisar fundo” no pedal do freio, o que acaba provocando o travamento das rodas. Nessa situação, assumindo o papel de apenas conduzir o debate, podemos fazer mais algumas perguntas para auxiliá-los, tal como:

- Já concluímos que o que pára o automóvel é a força de atrito entre os pneus e a pista, assim sendo, para que ele pare numa distância menor, essa força deve ser a maior, ou a menor possível?

Queremos levá-los a pensar que para parar o carro na menor distância, a força de atrito tem que ser a maior possível, neste caso tem que ser atrito estático, próximo à situação limite. Após terem chegado à essa conclusão, o professor pode retomar a primeira pergunta, sobre em que situação isso ocorre.

Dado um tempo para que os grupos discutam, o professor deve reuni-los novamente, e mais uma vez escutar todas as suas opiniões. Provavelmente nem todos chegarão à resposta desejada, sendo assim necessário conduzir o debate, pedindo para que cada um coloque seus argumentos e confrontando as opiniões divergentes.

Concluído que a frenagem mais eficiente ocorre quando se evita o travamento das rodas, podemos fazer as seguintes perguntas:

- Imagine que vocês estejam andando de bicicleta, quando, de repente, avistam uma criança atravessando a rua e precisam frear bruscamente. Vocês conseguiriam controlar a força aplicada nos freios, e evitar o travamento das rodas?
- E um motorista dirigindo um automóvel, consegue?

Embora essa seja uma experiência apenas imaginária, acreditamos que, senão todos, a maioria dos alunos já deva ter passado por uma situação semelhante, tendo assim condições de responder à pergunta. O que queremos é que eles percebam que essa é uma tarefa difícil de ser realizada pelo motorista.

Uma outra questão deve ser levantada:

- Para otimizar a frenagem, diminuindo a distância necessária para parar o veículo, basta evitar o travamento das rodas?

Queremos levá-los à conclusão de que não basta evitar o travamento das rodas, sendo preciso também mantê-las o mais próximo possível da situação limite, na iminência de começar a deslizar.

Mais uma vez deve ser dado um tempo para o debate tro dos grupos, após o que o professor deve reunir a turma e repetir o processo, pedindo que cada grupo coloque suas conclusões.

## 4.14 A dinâmica da frenagem

Neste momento o professor pode começar a discutir com os alunos o funcionamento dos freios ABS, e a dinâmica da frenagem, que tratamos no capítulo 3, procurando adequar o conteúdo às especificidades de cada turma. Ou seja, a critério do professor essa discussão pode ser mais qualitativa ou quantitativa, mais ou menos aprofundada. Esse pode ser um bom momento para abordar alguns conceitos, como torque, momento angular e momento de inércia, entre outros, que normalmente não são trabalhados no Ensino Médio.

Um aspecto que deve ser enfatizado é o modelo que utilizamos. Acreditamos que possa ser trabalhadas a utilização de modelos, abordando os seguintes aspectos:

- O que é um modelo?
- Por que construir um modelo?
- Qual é a sua validade?

A partir daí pode ser feita uma discussão específica em relação ao modelo que adotamos, procurando, responder à algumas perguntas, tais como:

- Consideramos que durante a frenagem o peso do veículo estava igualmente distribuído nas quatro rodas. O que aconteceria caso isso não fosse verdadeiro? O que esperamos é que eles reflitam sobre o assunto, e percebam que se o peso não estiver igualmente distribuído, a força normal, e conseqüentemente a força de atrito entre o pneu e o solo, terá valores diferentes em cada roda. Dessa forma a tarefa de evitar o travamento das mesma será ainda mais difícil, assim os sistemas ABS mais modernos possuem sensores em cada roda, sendo capaz de detectar, e evitar, o bloqueio de cada uma separadamente.

- Com as rodas estão rolando usamos o atrito estático, e com elas deslizando usamos o atrito cinético. Podemos garantir que não acontece das rodas rolarem com deslizamento?

O que queremos é levantar uma discussão com relação ao coeficiente de atrito, para que os alunos percebam que essa separação entre atrito cinético e estático é apenas um modelo.

Ainda que se faça uma abordagem mais qualitativa, é importante que se compare as distâncias de frenagem nas seguintes situações:

- Rodas rolando sem deslizar, sem o sistema ABS.
- Rodas travadas, deslizando.
- Rodas com sistema ABS.

Como mostramos em todas as situações a força de atrito entre os pneus e a pista, e a distância de frenagem, são dadas por:

$$F_{at} = \mu N, \quad (4.12)$$

$$d = \frac{1}{\mu} \frac{v_0^2}{2g}, \quad (4.13)$$

com  $\mu = \mu_e$  quando as rodas rolam sem deslizar, sem o sistema ABS. Quando falamos das rodas rolando sem deslizar, devemos sempre fazer a ressalva de que a força de atrito neste caso varia de zero até  $\mu N$ , portanto quando dizemos que  $F_{at} = \mu N$ , estamos tratando da situação limite, quando as rodas estão na iminência de começar a deslizar.  $\mu = \mu_c$ , quando as rodas estão travadas, deslizando; e  $\mu = \mu_{abs}$ , quando o veículo possui ABS.

Como foi mostrado  $\mu_{abs} = \mu_e - \frac{\Delta\mu_e}{2}$ , assim acreditamos que algumas perguntas podem ser feitas, tais como:

- Qual é o valor máximo que  $\Delta\mu_e$  pode assumir?

Durante a frenagem, o ideal é que a força de atrito estático fique entre  $\mu_e N$  e  $\mu_c N$ , pois caso ela seja menor que  $\mu_c N$  a frenagem será menos eficiente do que com as rodas travadas, ainda que o atrito seja estático. Assim a variação máxima que o coeficiente de atrito deve ter é dada por:

$$\Delta\mu = \mu_e - \mu_c. \quad (4.14)$$



- Qual seria seu valor ideal?

O desejável é que a força de atrito se aproxime o máximo possível de  $\mu_e N$ , assim o ideal é que  $\Delta\mu \approx 0$ , na prática o sistema busca o menor valor possível.

É interessante que os alunos façam estimativas para o valor de  $\mu_{abs}$ , uma vez que seus valores reais não são disponibilizados pelos fabricantes, assim sugerimos que sejam feitas as seguintes hipóteses:

- $\Delta\mu = \mu_e - \mu_c$   
 $\mu_{abs} = \frac{\mu_e - \mu_c}{2}$
- $\Delta\mu = \frac{\mu_e - \mu_c}{2}$   
 $\mu_{abs} = \frac{3\mu_e - \mu_c}{4}$

Vale ressaltar que deve ser aberta aos estudantes a possibilidade de sugerir outras maneiras, diferentes das apresentadas pelo professor, para se calcular  $\Delta\mu$ , como por exemplo  $\Delta\mu = 10\%$  de  $\mu_e$ .

Um aspecto que pode ser explorado é se o uso do sistema ABS tem as mesmas vantagens, em situações diferentes, e comumente enfrentadas pelos motoristas, como trafegar em pista seca e molhada. Assim propomos que os alunos alunos, divididos em grupos, procurem os valores de  $\mu_e$  e  $\mu_c$  na internet, para estas situações, possibilitando assim calcular o valor de  $\mu_{abs}$  para cada uma delas, o que pode ser feito como “trabalho de casa”.

É importante que o professor não dê aos alunos os valores de  $\mu_e$  e  $\mu_c$ , mas que cada grupo os procure, caso contrário todos os grupos encontrarão as mesmas distâncias de frenagem, o que esvaziaria o debate. Também seria interessante que os grupos utilizassem diferentes metodologias para o cálculo de  $\Delta\mu$ .

Cada grupo pode, então, substituir os valores de  $\mu_e$ ,  $\mu_c$  e  $\mu_{abs}$  na Eq. (4.13), possibilitando que sejam construídas tabelas com as distâncias de frenagem encontradas, como na tabela (4.1).

Tabela 4.1: as distâncias de frenagem

comparação das distâncias de frenagem (m) para uma velocidade inicial $v_0 = 72$ km/h						
Pista	$\mu_e, \mu_c$	rodas rolando ( $d_e$ )	rodas travadas ( $d_c$ )	$\Delta\mu$	ABS ( $d_{abs}$ )	$d_{abs}/d_c$
asfalto seco	$\mu_e = 0.90$ $\mu_c = 0,70$	22.22	28.57	$\Delta\mu = \mu_e - \mu_c$	25.00	0.87
				$\Delta\mu = \frac{\mu_e - \mu_c}{2}$	23.53	0.82
asfalto molhado	$\mu_e = 0.70$ $\mu_c = 0.50$	28.57	40.00	$\Delta\mu = \mu_e - \mu_c$	33.33	0.83
				$\Delta\mu = \frac{\mu_e - \mu_c}{2}$	30.77	0.77

Os grupos podem comparar e debater sobre os resultados obtidos em diferentes condições de pista e para diferentes metodologias para o cálculo de  $\Delta\mu$ . Comparando

os dados da tabela (4.1) vemos que, nas duas metodologias para calcular o  $\Delta\mu$ , os freios ABS provocam uma diminuição mais acentuada das distâncias de frenagem com a pista molhada.

Como destacamos os valores precisos de  $\Delta\mu$  são difíceis de serem encontrados, já que não disponibilizados pelos fabricantes, no entanto comparando os dados obtidos por nós com os dados obtidos por outros modelos podemos verificar a validade do nosso. Na tabela (4.2) as distâncias de frenagem calculadas com o nosso modelo (N.M.), onde usamos  $\Delta\mu = \mu_e - \mu_c$ , são comparadas com o modelo proposto por Denny [19] e com os dados experimentais apresentados em Toresan [22].

Tabela 4.2: comparação das distâncias de frenagem

comparação das distâncias de frenagem				
Asfalto	$\mu_e$ e $\mu_c$	modelo	$v_0$ (km/h)	$d_{abs}$ (m)
-	$\mu_e = 0,50$ $\mu_c = 0,30$	N.M.	72	50,0
-	$\mu_e = 0,50$ $\mu_c = 0,30$	Denny	72	51,0
seco	$\mu_e = 0,90$ $\mu_c = 0,70$	N.M.	66	21,0
seco	-	Toresan	66	22,7
molhado	$\mu_e = 0,43$ $\mu_c = 0,31$	N.M.	53	29,3
molhado	-	Toresan	53	28,0

Comparando os valores apresentados na tabela (4.2), vemos que os resultados obtidos com o nosso modelo são bastante próximos dos apresentados por Denny<sup>5</sup> [19] e Toresan<sup>6</sup> [22], o que mostra que a metodologia utilizada para calcular o valor de  $\Delta\mu$  é válida. Para comparar nossos dados com os valores obtidos por Denny, atribuímos a  $\mu_e$  o valor máximo de  $\mu$  calculado por ele e a  $\mu_c$  o valor mínimo. Para a comparação com os dados apresentados por Toresan utilizamos no caso do asfalto seco os valores de  $\mu_e$  e  $\mu_c$  que encontramos nas referências supracitadas. No entanto, na situação de asfalto molhado o valor valor apresentado por Toresan era cerca de 60% dos valores de  $\mu_c$  que encontramos. Assim para  $\mu_c$  adotamos o valor proposto por ele e para  $\mu_e$  adotamos um que é aproximadamente 60% dos valores que encontramos.

<sup>5</sup>Denny apresenta apenas o valor máximo, e o mínimo de  $\mu$ , não especificando as condições da pista.

<sup>6</sup>Toresan não apresenta o valor de  $\mu_e$ , apresenta apenas  $\mu_c = 0,75$  para o asfalto seco e  $\mu_c = 0,31$  para o asfalto molhado, e as distâncias de frenagem medidas.

## 4.15 Os freios ABS numa perspectiva em CTS

Na última atividade procuramos mostrar como a ciência e a tecnologia podem ser utilizadas na busca de soluções de problemas que enfrentamos no nosso dia a dia, neste caso desenvolvendo um dispositivo, freios ABS, que otimiza a frenagem dos automóveis. Agora propomos que alunos façam um trabalho de pesquisa a fim de avaliar os impactos do uso dessa tecnologia.

Neste trabalho cada grupo, entre 4 ou 5 alunos, deve ter um tema diferente para ser pesquisado, e apresentá-lo ao resto da turma, numa data reservada pelo professor. Essa deve ser uma apresentação oral, que pode ser feita com o auxílio de slides, usando o datashow, ou cartazes.

A seguir sugerimos alguns temas relacionados aos freios ABS, no entanto, caso julgue interessante, o professor pode escolher temas envolvidos com todos os equipamentos de segurança disponíveis nos automóveis, ampliando a discussão. Os temas são os seguintes:

### 1. Os freios ABS

O grupo deve procurar mostrar como e quando surgiram os freios ABS, sua evolução até hoje e explicar com mais detalhes seu funcionamento, além de mostrar outras aplicações que o seu princípio de funcionamento pode ter, como o controle de tração nas rodas.

Também seria interessante que procurassem vídeos mostrando a frenagem de veículos com e sem ABS. Estes vídeos estão disponíveis na internet, e mostram a frenagem em diversas situações, como em pista seca ou molhada.

### 2. Os freios ABS são caros?

Sugerimos que este tema seja desenvolvido por três grupos diferentes com os seguintes enfoques:

#### (a) A relação custo-benefício dos freios ABS

O professor pode sugerir que o grupo compare o custo dos freios ABS com os custos que ele pode evitar, prevenindo acidentes, por exemplo:

- Qual é o custo de uma diária num quarto de hospital? E num CTI?
- Qual é o custo de uma sessão de fisioterapia, caso seja necessário numa reabilitação após um acidente?
- Quanto custam os equipamentos, como cadeiras de roda ou muletas, utilizados durante a reabilitação?
- Qual é o valor médio da franquia do seguro de um automóvel?

- Quanto custa um pára-brisas, ou a pintura de um automóvel?

(b) Os freios ABS são caros, quando comparados com acessórios automotivos?

Este grupo pode comparar o preço dos freios ABS, que é um item de segurança, com o preço de alguns acessórios muito comuns, hoje em dia, nos automóveis, tais como:

- Sistema de som com DVD player
- Vidros e travas elétricos
- Rodas de alumínio
- Ar condicionado
- GPS

O professor pode sugerir que os alunos perguntem em algumas concessionárias de veículos, de preferência de marcas diferentes, os acessórios disponíveis e o seu custo.

(c) Os freios ABS estão disponíveis em todas as categorias de automóveis?

Esse grupo deve pesquisar em que categorias de automóveis, que podem ser divididas por faixa de preço, os freios ABS estão disponíveis como item de série, em quais estão disponíveis apenas como opcionais, e em quais não estão disponíveis nem mesmo como opcionais. Essa pesquisa tem o objetivo de comparar o custo dos freios ABS com o custo total dos veículos, além de mostrar o valor mínimo que o consumidor precisa desembolsar para comprar um carro equipado com ABS.

3. Quando vai comprar um automóvel o consumidor pensa nos freios ABS?

O objetivo é pesquisar o que as pessoas julgam importante para sua tomada de decisão na hora de comprar um automóvel. Sugerimos que os alunos façam uma pesquisa com pessoas que compraram carros recentemente ou que pretendem comprar num futuro próximo, colocando para os entrevistados a seguinte questão:

- Cite três coisas que você julga importante para sua decisão de comprar ou não um veículo.

Essa pesquisa pode ser realizada com os professores e funcionários da escola, com os familiares e vizinhos dos estudantes, e sugerimos que sejam feitas por dois grupos, usando metodologias diferentes, que descrevemos a seguir.

(a) Pesquisa estimulada

O grupo que fizer esta pesquisa deve preparar um cartão contento algumas opções para que o entrevistado escolha entre elas. É importante destacar que esse cartão deve ter um formato de pizza, Figura (4.15), de tal forma que a disposição dos itens não influencie a escolha. Sugerimos alguns itens, procurando diversificar, colocando alguns de conforto, outros de segurança, e outros de estética. São eles:

- Ar condicionado
- Vidros e travas elétricas
- Direção hidráulica
- Freios ABS
- Air Bag
- Aparelho de som com DVD player
- Sensor de estacionamento
- GPS
- Rodas de alumínio
- Pintura metálica

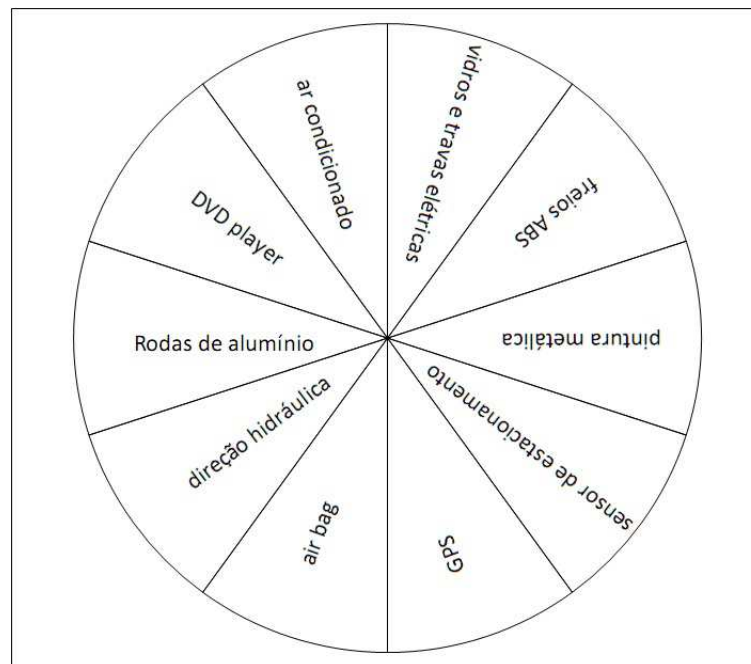


Figura 4.15: cartão com formato de pizza.

(b) Pesquisa espontânea

Essa pesquisa se diferencia da outra pois nela não são dadas opções aos entrevistados, que devem responder livremente.

Os dois grupos podem apresentar os resultados de suas pesquisas utilizando gráficos e tabelas, que podem ser apresentados por itens, ou por categorias, como conforto, segurança ou estética. Os grupos devem também mostrar ao restante da turma a metodologia utilizada por cada um, explicando as diferenças entre elas.

Os entrevistados também podem ser divididos em grupos, por exemplo, será que existem diferenças nas escolhas de homens e mulheres, jovens ou idosos?

# Capítulo 5

## Conclusão

Apresentamos um conjunto de atividades investigativas, abordando as forças de atrito. Nelas apresentamos um problema e orientamos os estudantes na busca das soluções, configurando uma proposta de ensino por investigação, de acordo com o referencial teórico utilizado, que ao nosso ver possibilita um melhor desenvolvimento e compreensão dos conceitos, em relação ao ensino tradicional.

Além disso, propomos atividades com enfoque em CTS, que juntamente com as anteriores, ao nosso ver, proporcionam não só um melhor entendimento do conteúdo físico, mas também a percepção de como esse conteúdo em particular, e a física de um modo geral, está presente em nosso dia a dia. Embora já tenhamos aplicado essa sequência didática em algumas turmas de ensino médio<sup>1</sup>, não nos foi possível coletar dados, a fim de verificar se elas são válidas (ou não) para atingirmos nossos objetivos.

Acreditamos que nessa proposta fica evidente o caráter de ator principal que o aluno assume no processo de ensino e aprendizagem. É preciso ficar claro, entretanto, que não estamos querendo dizer que o papel do professor fica diminuído, ao contrário procuramos sempre reforçar sua importância, ressaltando sempre que ele apenas muda de postura em relação ao ensino tradicional, passando a atuar como um guia, como já dissemos, orientando os alunos na construção do conhecimento.

Devemos apontar algumas dificuldades que imaginamos possam aparecer durante a execução destas atividades. Sugerimos que elas sejam aplicadas em turmas com no máximo 35 alunos, pois em turmas muito grandes surgem alguns problemas, tais como:

- A divisão turma em muitos grupos, o que dificulta o acompanhamento, por parte do professor, de todos eles.

---

<sup>1</sup>Essa sequência didática foi aplicada por nós em duas turmas da 2ª série do Ensino Médio regular do CEFET-RJ, na unidade de Nova Iguaçu.

Durante a realização das atividades, enquanto os alunos estão divididos em grupos procurando a solução para o problema que foi proposto, o professor deve circular entre eles estimulando o debate e orientando aqueles que porventura tiverem mais dificuldade. Turmas muito grandes, com mais de 35 alunos, acabam tendo muitos grupos, dificultando a atuação do professor, que não poderá acompanhar a todos com a atenção desejada.

- Serão criados grupos muito grandes.

A alternativa para que não se divida em muitos grupos, como mencionamos anteriormente, é dividi-las em poucos, mas com muitos alunos, o que acaba desvirtuando a própria ideia da criação dos grupos. O que desejamos é que em grupos menores todos tenham a oportunidade apresentar suas opiniões, e participar ativamente do processo, o que evidentemente fica comprometido com grupos muito grandes, com mais de 6 alunos.

Como são propostas atividades a serem feitas em dias diferentes, uma outra dificuldade que acreditamos possa aparecer é que os alunos tenham diminuída a percepção de que todas estão interligadas, de que elas são complementares, ou seja, que eles acabem não “conectando” uma atividade à outra. Para superá-la sugerimos que ao final de uma, e antes do início da próxima, o professor faça um apanhado de tudo que foi feito até aquele momento, lembrando os processos utilizados na busca das soluções dos problemas e as conclusões obtidas. Caso o professor opte por fazer o acompanhamento das atividades por meio de relatórios produzidos pelos alunos, isso pode ser feito com a leitura de alguns relatórios feitos pela turma.

Outro ponto que gostaríamos de destacar, e que muitas vezes é apontado como um ponto negativo dessa metodologia de ensino por investigação, é o tempo “gasto” para a realização das atividades. Devemos lembrar que embora o tema principal nelas abordado seja a força de atrito, durante o seu desenvolvimento outros também aparecem e são discutidos, como vetores, 1ª, 2ª e 3ª leis de Newton, além de também abrir espaço para alguns assuntos, como torque e momento angular, que em geral não são tratados no Ensino Médio. Além disso, não podemos nos colocar na posição de reféns do “programa”, pois o que adianta “cumprí-lo”, se o nosso aluno pouco, ou nada, aprendeu?

Destacamos como pontos positivos o incentivo à interação entre os alunos e à exposição de seus pensamentos. Além disso, os estudantes são encorajados a confrontar suas hipóteses, a debater e buscar soluções em conjunto, o que ajuda a passar a noção de ciência como uma construção coletiva. Outro aspecto importante é que ao solicitar que os alunos expressem suas opiniões, podemos orientá-los, deixando-os familiarizados com a linguagem científica, e ainda favorecendo a capacidade de



organizar e sintetizar o pensamento, além de conhecê-los durante o processo de aprendizagem.

Outro aspecto positivo são os materiais utilizados. Por serem de baixo custo e fácil acesso, eles podem ficar disponíveis para manipulação dos alunos sem o temor de que sejam quebrados. Além disso as atividades podem ser realizadas numa sala de aula comum, não sendo necessário a escola dispor de um laboratório de física.

# Referências Bibliográficas

- [1] L. C. McDermott, *Guest commentt: how we teach and how students learn - a mismatch?*, American Journal of Physics 61(1), Abril, 1993.
- [2] H. Bonadiman, S. E. B. Nonenmacher, *O Gostar e o Aprender no Ensino de Física: Uma Proposta Metodológica*, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 24, n. 2: p. 194-223, agosto de 2007.
- [3] A. L. Scarinci, L. A. Pacca, *O professor de física em sala de aula: um instrumento para caracterizar sua atuação*, Investigações em Ensino de Ciências V14(3), pp. 457-477, 2009.
- [4] Brasil, *resolução nº 312*, Conselho Nacional de Trânsito, 03 de abril de 2009.
- [5] B. Parker, *The Isaac Newton School of Driving: Physics & Your Car*, John Hopkins, Baltimore 2003.
- [6] N. M. Murray, *When it comes to crunch: the mechanics of car collisions* World Sccientific, Singapore 1994.
- [7] Brasil, *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*, Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996.
- [8] E. C. Ricardo, *Implementação dos PCN em Sala de Aula: Dificuldades e Possibilidades*, Física na Escola, v. 4, n. 1, 2003.
- [9] E. C. Ricardo, A. Zylbersztajn, *Os Parâmetros Curriculares Nacionais para as Ciências do Ensino Médio: Uma Análise a Partir da Visão de Seus Elaboradores*, Investigações em Ensino de Ciências V13(3), pp.257-274, 2008.
- [10] Brasil, Ministério da Educação, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio*. Brasília: Ministério da Educação, 1999.
- [11] M. M. Pereira, *"Ufa!! Que Calor é Esse?! Rio 40 °C- Uma Proposta para o Ensino dos Conceitos de Calor e Temperatura no Ensino Médio*. Dissertação(Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- [12] D. Munford, M. E. C. C. Lima, *Ensinar Ciências por Investigação: em Quê Estamos de Acordo?*, Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v.7, n.1, 2007.

- [13] M. A. Moreira, *Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas*, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 22, n.1, 2000.
- [14] Brasil, Secretaria de Educação Média e Tecnológica, *PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Linguagens, códigos e suas tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002. 244p.
- [15] A. F. García, *El rozamiento por deslizamiento*, disponível em <http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/general/rozamiento.htm>, acessado em 04/11/2010, às 16:45.
- [16] J. M. Bassalo, *O atrito*, disponível em <http://www.seara.ufc.br/folclore/folclore109.htm>, acessado em 05/11/2010, às 09:30.
- [17] <http://en.wikipedia.org/wiki/Friction>, acessado em 04/11/2010, às 16:45.
- [18] H. Moysés Nussenzveig, *Curso de Física Básica 1– Mecânica*, Editora Edgard Blücher, São Paulo 1997.
- [19] M. Denny, *The Dynamics of Antilock Brake Systems*, European Journal of Physics 26(2005) 1007-1016.
- [20] J. M. Tavares, *Dynamics of Braking Vehicles: From Coulomb Friction to Antilock Brake Systems*, European Journal of Physics 30(2009) 697-704.
- [21] D. P. Whitmire, T. J. Alleman *Effect of weight transfer on a vehicle's stopping distance*, American Journal of Physics 47(1) janeiro, 1979.
- [22] W. Toresan Jr., *Cálculo de Velocidade para Veículos Equipados com Sistemas de Freios ABS*, Disponível em [http://www.estradas.com.br/sosestradas/articulas/wilson\\_t\\_jr/calculo\\_de\\_velocidade\\_veiculos\\_equip\\_abs.pdf](http://www.estradas.com.br/sosestradas/articulas/wilson_t_jr/calculo_de_velocidade_veiculos_equip_abs.pdf), acessa em 04/10/2010, às 10:30.
- [23] F. L. Silveira, *Inclinações das ruas e das estradas*, Física na Escola, v. 8, n. 2, 2007.
- [24] A. A. Kleer, M. R. Thielo, A. C. K. Santos, *A física utilizada na investigação de acidentes de trânsito*, Caderno Catarinense de Ensino de Física, v.14, n.2, agosto, 1997.
- [25] [http://www.dem.ist.utl.pt/acidentes/para/segur\\_texp.html](http://www.dem.ist.utl.pt/acidentes/para/segur_texp.html), acessado em 15/09/2010.
- [26] F. L. Silveira, *Potência de tração de um veículo automotor que se movimenta com velocidade constante*, comunicação interna.
- [27] <http://g1.globo.com/Noticias/Carros/0,,MUL734696-9658,00-TIRE+DUVIDAS+SOBRE+OS+SISTEMAS+DE+FREIOS+DOS+CARROS.html>, acessado em 16/09/2010, às 16:00.

- [28] <http://www.oficinaecia.com.br/bibliadocarro/freio.html>, acessado em 16/09/2010, às 16:00.
- [29] K. Nice, *HowStuffWorks - Como funcionam os freios ABS*, Publicado em 23 de agosto de 2000, atualizado em 25 de julho de 2007, disponível em <http://carros.hsw.uol.com.br/freios-a-disco1.htm>, acessado em 16/09/2010, às 16:00.
- [30] [http://rb-kwin.bosch.com/br/pt/safety\\_comfort/drivingsafety/abs/brakemoresafely.html](http://rb-kwin.bosch.com/br/pt/safety_comfort/drivingsafety/abs/brakemoresafely.html), acessado em 16/09/2010, às 16:30.
- [31] <http://blogcaminhao.mercedes-benz.com.br/index.php/2010/02/como-funciona-o-sistema-antibloqueio-de-freios-abs/>, acessado em 17/09/2010, às 10:00.
- [32] <http://www.r19club.com/How-to/freiosabs.php>, acessado em 17/09/2010, às 9:30.
- [33] F. Bastos, R. Nardi, *Polêmicas Sobre Abordagens para o Ensino de Ciências: uma Análise com Ênfase na Ideia da Pluralidade Metodológica*, In: P. M. M. teixeira, J. C. C. Razera (org.), *Ensino de Ciências: Pesquisa e Pontos em Discussão*, Ed. Komedi, Campinas, 2009.
- [34] M.C.P.S. Azevedo, *Ensino por Investigação: Problematizando as atividades em sala de aula.*, In: Carvalho, A.M.P. (org.), *Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática*, p. São Paulo: Thomson, 2004.
- [35] J. M. Julio, A. M. Vaz, *Grupos de alunos como grupos de trabalho: um estudo sobre atividades de investigação*, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, V. 7, N. 2, 2007.
- [36] R. J. Locatelli, A. M. P. Carvalho *Uma análise do raciocínio utilizado pelos alunos ao resolverem os problemas propostos nas atividades de conhecimento físico*, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, V. 7, N. 3, 2007.
- [37] E. F. Sá, et al., *As características das atividades investigativas segundo tutores e coordenadores de um curso de especialização em ensino de ciências.*, VI ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência, 2007. Disponível em <http://www.fae.ufmg.br/abrapec/viempec/CR2/p820.pdf>, acessado em 14/06/2010.
- [38] P. Reis, C. Galvão, *Controvérsias sócio-científicas e a prática pedagógica de jovens professores*, *Investigações em Ensino de Ciências* V.10, n.2, pp. 131-160, 2005.
- [39] D. Gil, et al., *¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio?*, *Enseñanza de las Ciencias*, V. 17, n. 2, 1999.

- [40] W. L. P. Santos, E. F. Mortimer, *Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência Tecnologia Sociedade) no contexto da educação brasileira.*, Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v.2, n.2, Dezembro, 2002.
- [41] C. L. C. Amaral, E. S. Xavier, M. D. Maciel, *Abordagem das relações Ciência/Tecnologia/Sociedade nos conteúdos de funções orgânicas em livros didáticos de química do ensino médio*, Investigações em Ensino de Ciências V.14, n.1, pp. 101-114, 2009
- [42] L. F. Silva, L. M. Carvalho, *Professores de Física em formação inicial: O ensino de Física, a abordagem CTS e os temas controversos*, Investigações em Ensino de Ciências V.14, n. 1, pp. 135-148, 2009.
- [43] M. J. F. Gebara, *Ciência, Tecnologia e sociedade: abrindo caminhos para um ensino interdisciplinar*, IX Símpósio Internacional Processo Civilizador, Tecnologia e Civilização, Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 2005.
- [44] J. A. Acevedo, *Cambiando la práctica docente en la enseñanza de las ciencias a través de CTS*, Sala de Lecturas CTS+I de la OEI, Acessado em 06/07/2010, Disponível em [www.oei.es/salactsi/acevedo2.htm](http://www.oei.es/salactsi/acevedo2.htm)
- [45] V. G. Zuin, D. Freitas, M. R. G. Oliveira, C. A. V. Prudêncio, *Análise da perspectiva ciência, tecnologia e sociedade em materiais didáticos*, Ciências & Cognição, v.13, n.1, 2008.
- [46] W. S. Carlsen, *Linguagem e Aprendizado Científico*, In: S. K. Abell, N. G. Lederman (org.), *Handbook of Research on Science Education*, Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, 2006.
- [47] M. C. V. M. Capecchi, A. M. P. Carvalho, *Argumentação em Aula de Conhecimento Físico com Crianças na Faixa de Oito a Dez Anos*, Investigações em Ensino de Ciências, V.5, n.3, pp. 171-189, 2000.
- [48] A. E. Lawson, *What does Galileo's Discovery of Jupiter's Moons Tell Us About the Process of Scientific Discovery?*, Science & Education, 11, p. 1-24, 2002.
- [49] A. E. Lawson, *The Crater of Doom, and the Nature of Scientific Discovery.*, Science & Education, 13, p. 155-177, 2004.
- [50] R. J. Locatelli, A. M. P. Carvalho, *Como os Alunos Explicam os Fenômenos Físicos*, Enseñanza de las Ciencias, Número Extra, VII Congresso, 2005.
- [51] L. H. A. Silva, R. P. Schnetzler, *Buscando o caminho do meio: a "sala de espelhos" na construção de percepções entre professores e formadores de professores de ciências*. Ciência & Educação, V. 6, n. 1, 2000.
- [52] H. Caldas, E. Saltiel, *Sentido das Forças de Atrito e Movimento - II uma Análise dos Livros Utilizados no Ensino Superior Brasileiro.*, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 21, n. 4, Dezembro, 1999.