

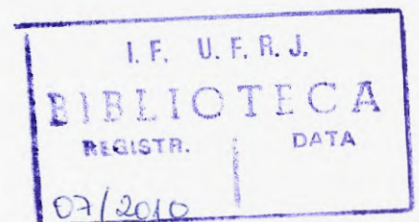
prof lucena2@gmail.com

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FÍSICA

Francisco Ferreira de Lucena Filho
**Projeto de construção de uma mesa de ar para o estudo
experimental de colisões bidimensionais.**

07/2010

Rio de Janeiro
Março de 2010



FRANCISCO FERREIRA DE LUCENA FILHO

A MESA DE AR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Física da Universidade Federal
do Rio de Janeiro como parte dos requisitos
necessários à obtenção do grau de Licenciado
em Física

Orientador: Prof. Helio Salim de Amorim

Rio de Janeiro
Março de 2010

AGRADECIMENTOS

Não agradecer ao Criador seria uma profunda heresia, e um total desrespeito, pois não estaria fazendo justiça aos grandes companheiros de caminhada, os quais Ele me presenteou como uma forma de mostrar todo o Seu amor por um humilde sonhador.

Neste sentido, expresso a minha profunda gratidão:

Minha esposa que esteve, está e sempre estará, assim espero, presente na minha caminhada. Caminhada essa que não consigo vislumbrar sem a sua meiga, fervorosa e decisiva presença.

Ao Prof Helio Salim, que tomou meu projeto acreditando que este poderia ser viável e empenhando-se, com a sua gentil e magistral personalidade, a fim de que pudesse realizar um anseio muito acalentado por mim e apoiado pelos meus falecidos e para sempre inesquecíveis pais (a grande mamãe e o grande velho).

Comissão de Professores da Sub Reitoria, cujo empenho e uma bendita sensibilidade, permitiram que eu desse um grande passo a um grande sonho.

Aos meus irmãos (Carmem Lucia, Luiz Carlos, Joana D'arc e Rita de Cássia, já falecida, todos de Lucena) que sempre apoiaram e muito torceram para o meu êxito.

A dois grandes amigos, José Eduardo Alves Viana e Liu Jung Wen, também colegas de faculdade, cujas famílias sempre me acolheram como um filho, os quais já fazem vinte e quatro anos da mais sólida amizade e sempre incentivaram que eu concluísse o meu curso.

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado a cinco grandes almas, as quais muita luz trouxeram a minha humilde pessoa, permitindo que eu seguisse sempre em frente:

Aos meus pais, já falecidos, Francisco Ferreira de Lucena e Rita de Cássia Rodrigues de Lucena, pais sempre presentes, atenciosos, muito queridos e irrepreensíveis referenciais.

A minha esposa Nacyra Yiburi Fernandes de Lucena, sempre me incentivando e sendo cúmplice nos meus sonhos.

Ao Prof. Artur Chaves Braum, que me fez enxergar uma outra forma de ensinar e ver as infinitas possibilidades de avaliar e se autoavaliar.

Ao meu querido Professor Orientador do meu projeto final Helio Salim cuja simplicidade no seu lecionar e ver o seu educando faz com que acreditemos que a perfeição não é uma utopia e sim uma questão de empenho e dedicação.

EPIGRAFE

Toda luta, por um ideal, são marcadas por surpresas, situações inesperadas, dificuldades e até mesmo um pouco de desânimo. Mas o que torna almejavável essa caminhada é a crença de que um Ser maior observa cada passo do caminho, que é necessário trilhar. E se o simples fato de existirmos foi uma conquista alcançada após uma grande corrida com vários milhões de afins e conseguimos, é porque a vontade de se fazer ser é uma característica de cada um de nós. Sendo assim se Ele permitiu a essa conquista é porque Ele quer que cumpramos uma jornada, a qual todos somos fadados. O que precisamos é perceber melhor toda a potencialidade que nos foi dada desde o nosso nascimento. É acreditar que todas as adversidades existem para moldar o nosso caráter, as nossas convicções, mostrar que por trás de boas idéias e grandes ideais existe o aval Daquele que nos inspira a prosseguir, dando-nos força e resignação para entender a singularidade daqueles, que mesmo tendo a luz preferem apagar-se com o brilho de uma mente aberta.

Lucena (Pai)

RESUMO

Este é um projeto que tem como objetivo o estudo da colisão bidimensional, com o auxílio de uma mesa de ar, uma câmara fotográfica digital e um computador. No entanto, esta mesa poderá ser construída de uma forma bem simples, porém bastante satisfatória, com uma grande capacidade de potencializar a compreensão deste tópico da Física. E o estudo será feito através da construção de uma fotografia estroboscópica de um experimento de colisão. Neste trabalho mostra-se a pesquisa feita para a construção da mesa de ar, desde vários tipos de materiais a serem utilizados, os mais acessíveis a esta proposta, as ferramentas a serem utilizadas com a finalidade de se obter uma boa furação, os montantes a serem gastos, dentro de uma faixa, oferecidos pelo mercado e uma análise comparativa quanto ao que seria gasto no aluguel ou compra deste aparato. Com a finalidade de se obter um bom resultado na utilização dos experimentos a serem realizados, são feitas algumas sugestões quanto ao emprego da mesa de ar com o auxílio de algumas adaptações. No entanto estas são indispensáveis. Quanto à utilização da fotografia estroboscópica é feita uma aplicação desse recurso, em um experimento, apresentando os seus resultados. Mostra-se que para a construção desse recurso, basta a utilização de uma câmara fotográfica digital e um computador, com o auxílio de dois softwares, o Virtual Dub e o Imagem J, disponíveis gratuitamente na Internet. Com esse projeto qualquer educador poderá potencializar o estudo das colisões, seja ela uni ou bidimensional, dispondo de um aparato e uma ferramenta de seu uso próprio, motivando e inserindo o seu educando nos recursos tecnológicos da atualidade.



ABSTRACT

This is a project which aims to study the two-dimensional collision, compound by a air track table, a digital camera and a computer. However, this table can be constructed in a very simple but quite satisfactory manner, with a great capacity to enhance the understanding of this topic in physics. And the study is to build a stroboscopic photograph of an experiment. It also shows the research done for construction of this air track table, since various types of material to be used which are more accessible to this proposal, the tools to be used to achieve a good drilling, the amount to be spent with the prices offered by the market and a comparison of what was invested, since the lease or purchase of this device. In order to obtain a good result of experiments to be performed, suggestions of some adaptations are also provided to improve the use of air track table, and they are essential.

The use of strobe ^{its} photograph is done by the application of this resource in an experiment presenting its results. It is shown the building of this feature simply using a digital camera and a computer with the help of two softwares, Virtual Dub and Image J, both are available on the Internet for free access. With this project any educator can contribute to the study of collisions, whether uni or bi-dimensional, providing an appliances and a tool for their own use, motivating and placing the students in today's technological resources

Principios
Anisot
total en
Atm a Admitado
necessario

NOVO SUMÁRIO

Introdução	09
Capítulo 1 – Uma proposta: construção de uma mesa de ar para o estudo experimental de colisões bidimensionais	14
1.1 – Um breve relato da construção das mesas	21
1.1.1 – Breve histórico da mesa de ar	23
1.1.2 – 1ª mesa de ar	24
1.1.3 – 2ª mesa de ar	30
1.1.4 – 3ª mesa de ar	35
Capítulo 2 – Subsídios para o planejamento de aulas devotadas a discussão da teoria de colisões com auxílio da mesa de ar e câmera fotográfica digital...	53
2.1 – Referencial teórico da mecânica de colisões	59
2.2 - Análise de dados	63
2.3 – Análise de livros didáticos	65
Capítulo 3 – Considerações finais	71
Referência Bibliográfica	72

Programa PNLDEM (200?)

Introdução.

Os livros de Física do ensino médio, indicado pelo Ministério de Educação e Cultura (MEC), um total de seis, estão divididos em duas categorias: *livros seriados*, destinados a cada série do curso e os *livros de volume único*, abrangendo as três séries. Essas duas categorias de livros, embora tenham os mesmos autores, visam a atender a todas as realidades existentes, quanto às suas clientelas, das escolas públicas e privadas. Dessa lista, os três primeiros livros, seriados, basicamente seguem uma mesma linha quanto à apresentação dos tópicos que precedem o estudo das colisões. São livros mais densos, quanto aos assuntos abordados, dando um tratamento bastante cuidadoso quanto ao que se pretende. Já os três últimos, os de volume único, embora abordem sobre os mesmos assuntos, fazem-no de uma forma menos densa, porém com o mesmo cuidado, sem o aprofundamento existente nos três primeiros, os seriados. No entanto, essas seis bibliografias, nas mãos de alunos que tenham o hábito de lerem e estudarem sozinhos, juntamente com um educador que tenha um comprometimento claro quanto as orientações gerais dos PCNEM, poderá render bons resultados. Já nas mãos de alunos que não tenham o hábito de lerem e estudarem sozinhos, mesmo com a ajuda de um educador que seja o mais consciente, o mais paciente, o mais dedicado, o mais... , se não houver uma motivação extra, torna-se-a uma verdadeira "Missão Impossível". Não por causa dos textos, os quais estão dispostos de forma bastante adequada e equilibrado ao educando. São algumas (na verdade a grande maioria) clientelas que não dispõem de uma série de atributos. E visando exatamente a essa clientela que o educador deve ter uma postura diferente, quanto ao ensino de Física. Ele deve ousar buscar no aluno uma das condições mais primitivas do ser humano que é a curiosidade. E uma forma de trabalhar esse estado primitivo é através de

* tem que trabalhar com referências

um experimento, que faça parte do mundo vivencial do educando, de forma a deixá-lo se sentir em sala de aula como se estivesse no seu ambiente social.

Só os livros textos e o educador não são suficientes para motivar esta grande e especial clientela. É preciso um algo mais. É necessário que o educador seduza o aluno a olhar o livro texto como algo capaz de explicar o mundo a sua volta. O mundo de “hoje”.

O estudo da colisão, no ensino médio, fica muito restrito ao livro texto, ao quadro negro e as informações passadas pelo educador. E os conceitos que estão envolvidos, nesse tópico da Física, não são poucos. Grandezas escalares e vetoriais, impulso, quantidade de movimento, conservação da energia cinética, velocidades relativas de aproximação e afastamento, coeficiente de restituição, a terceira lei de Newton etc., são conceitos que necessitam de um bom relacionamento entre educando e educadores, a fim de que esses conceitos possam ser bem trabalhados. No entanto, manter a atenção dos alunos, só na exposição oral e no quadro negro, torna-se um desafio quase intransponível. Se isso é esperado para a colisão unidimensional, o que podemos esperar então para o mesmo estudo, em um número maior de dimensões?

O que se observa, nas escolas, é que os alunos não se interessam, pelo simples fato de não entenderem o porquê de se aprender, como exemplo, o estudo da colisão. No que esse conceito pode mudar o seu modo de ver o mundo? No que influi no seu dia a dia? E essa foi uma das grandes dificuldades encontradas em sala de aula, que serviu de reflexão no tocante ao que deveria ser feito para conseguir que os alunos olhassem a Física não como alguma coisa a mais a ser decorada, com a finalidade de se obter um falso resultado, que só lhes permitam completarem um ciclo em suas vidas.

Das ciências exatas a Física é uma das mais preocupantes. Isto porque, o mundo que nos cerca, desde o micro ao macro sistema, influi diretamente na forma como o homem

interage com ele. Todo avanço tecnológico, que dela se origina, vem trazendo grandes transformações. E o uso irracional e irresponsável, em nome do “progresso”, devido ao desconhecimento do que realmente possa causar, como benefícios ou prejuízos, não tem sido discutido com todos os setores da sociedade. Todas as decisões tomadas, embora colocadas de uma forma imprecisa nos meios de comunicação, não conseguem sensibilizar a uma grande parcela significativa da sociedade quanto ao que possa acontecer com o nosso planeta. Isto é uma consequência de como a Física, assim como as outras ciências, não foi devidamente assimiladas.

Como resultado desse fato a nossa grande moradia está sendo ameaçados, por uma série de fenômenos, oriundos do mau uso dessa tecnologia. E é esta mesma tecnologia, que pode e deve ser usada como uma forma de conscientização do que está por vir e o que pode ser feito a fim de minimizar ou parar, o que é muito difícil, mas não impossível toda essa degradação. Para tanto, deve-se investir na formação de uma nova sociedade, aonde cada pessoa que venha a freqüentar uma escola, principalmente a pública, possa ser preparada, devidamente, para assumir uma nova postura quanto ao seu verdadeiro papel como um todo.

A escolha do tema, voltada principalmente para o ensino público, tem como objetivo oferecer uma alternativa capaz de potencializar o ensino das colisões em Física. Isto porque, o mundo que nos cerca encontra-se imerso em uma quantidade de novas tecnologias, celulares cada vez mais com múltiplas funcionalidades, câmeras digitais das mais variadas e modelos, computadores com grande capacidade de armazenamento e processamento de dados, MP3, etc. Com esse enorme avanço tecnológico, por que não valer-se destes para melhorar o processo de ensino e aprendizagem?

O ensino da Física, assim como das outras ciências, não pode ficar relegado ao quadro negro e giz, para algumas escolas, ou quadro branco e projetor para muitas outras. Tanto as escolas, como seu corpo docente precisam e devem usar todo esse avanço a fim de tornar esse processo o mais eficaz possível. Não como forma de submeter, aos alunos, um único tipo de realidade, mas sim as infinitas possibilidades que dispõem o momento. Tanto assim que os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) preconizam que:

“A presença do conhecimento de Física na escola média ganhou um novo sentido a partir das diretrizes apresentadas nos PCNEM. Trata-se de construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade. Nesse sentido, mesmo os jovens que, após a conclusão do ensino médio, não venham a ter mais qualquer contato escolar com o conhecimento em física, em outras instâncias profissionais ou universitárias ainda terão adquirido a formação necessária para compreender e participar do mundo em que vivem” (PCN Física - 2002)[1].

Dentro dos modelos, como as escolas vêm informando e formando seu corpo docente, torna-se inatingível a meta tão desejada pelos PCNEM, em formar um cidadão consciente do mundo que o cerca.

O que se pretende é dispor de algumas dessas tecnologias com a finalidade de situar os conhecimentos a serem apresentados, dentro da realidade atual do educando. E isto fica bem claro, conforme a seguinte citação:

“A Física deve apresentar-se, por tanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a

partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. Isso implica, também, a introdução à linguagem própria da Física, que faz uso de conceitos e terminologia bem definidos, além de suas formas de expressão, que envolvem muitas vezes tabelas, gráficos ou relações matemáticas. Ao mesmo tempo, a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por elas sendo impulsionado” (PCN Física - 2002)[2].

Capítulo 1 – Uma proposta: construção de uma mesa de ar para o estudo experimental de colisões bidimensionais.

Diante de todos os fatos, acima expostos, surgiram algumas perguntas motivadoras da realização dessa pesquisa.

Como trabalhar a colisão bidimensional dentro da visão de mundo para um jovem de hoje? O que devera ser usado como motivação para esse conteúdo? Como trabalhar com os conceitos físicos a serem mostrados nesse assunto?

As respostas encontradas, as quais fazem parte da vida cotidiana dos jovens de hoje, foram: a diversão, exemplificado pela mesa de ar; a câmera fotográfica digital, muito difundida entre os jovens, pois é um acessório utilizado para o registro do mundo a sua volta; o computador, como forma de interatividade a todo e qualquer momento, independente da distância, tempo e local de contato.

Cada um dos citados acima terá uma narrativa explicitando a sua utilização.

A idéia de se utilizar a mesa de ar tem duas finalidades: como um agente capaz de motivar o estudo de um ou vários fenômenos que podem ser desenvolvidos de uma forma bem lúdica e por ser da vivência da maioria dos jovens, será utilizada como uma forma de interagir os conceitos de Física a serem desenvolvidos com o que há de novidade nos dias de hoje. Como a competência a ser vista, pela utilização da mesa de ar, é a colisão bidimensional, tem-se, aqui, a real justificativa da utilização dessa ferramenta, a mesa de ar, de vital importância e aplicabilidade.

No entanto qual o caminho a seguir: comprar? , ou, alugar?

Tanto para a compra como aluguel de uma mesa de ar demandaria um investimento financeiro bastante considerável. É bem verdade que o aluguel, de uma dessas mesas, ficaria bem mais acessível do que a compra. Todavia para um professor que queira investir em uma forma inusitada de trazer incentivo e motivação para uma sala de aula, seria ainda, impraticável pela quantia a ser desembolsada. O aluguel de uma dessas mesas fica em torno de uns R\$ 2.000,00 por apenas 5 horas de uso. Mesmo que uma escola queira ajudar com uma parte, ainda assim seria uma soma alta e por 5 horas apenas. Sem falar nos problemas para o transporte (entrega e devolução).

Já na compra seriam gastos entre R\$ 7.000,00 a R\$ 17.000,00, isto é a primeira quantia seria para uma mesa feita em escala adequada para uma sala de aula e a segunda, para uma dessas encontradas na maioria dos shopping, alguns bares e em casas de diversão.



Figura 1 - Mesa de ar para uso em estabelecimentos comerciais.



Figura 2: Mesa de ar comercial para aplicações didáticas.

Diante dessas dificuldades optou-se pela construção de uma mesa de ar com recursos próprios. Como veremos, além de mais barato teremos um equipamento a nossa completa disposição e passível de adaptações para os mais diversos fins educacionais.

Tomando a decisão: que material usar na construção do projeto? Seria mesmo possível a construção dessa mesa de ar? Que ferramentas seriam necessárias nessa empreitada?

Após ter pesquisado alguns materiais encontramos, entre os mais acessíveis para a sua construção: a madeira, o acrílico e o alumínio.

Na madeira, temos o compensado de 10 mm de espessura, onde uma placa comercial tem as dimensões de 2,20 m x 1,80 m, com preço em torno de R\$ (70,00 ± 20,00).

O acrílico, talvez o material mais adequado a este projeto, por uma série de vantagens, no entanto o preço de uma placa, com dimensões 2 m x 1 m, varia de R\$

(500,00 ± 100,00) à R\$ (900,00 ± 100,00), onde o primeiro valor é para a de 6 mm e o segundo para a de 10 mm.

O alumínio, material que também daria um bom resultado nesse projeto, tem a sua placa vendida com dimensões de 2 m x 1 m com espessura de 2 mm em torno de R\$ (230,00 ± 70,00) e para a de 3 mm em torno de R\$ (340,00 ± 70,00)

Chegou-se a conclusão de que o compensado estaria bem mais acessível ao bolso de qualquer professor que queira reproduzir esse projeto.

Uma das qualidades que os outros materiais possuem, de favorável, é a superfície espetacularmente polida. No entanto, a fim de conseguir uma superfície a mais polida possível, será feita a colocação de uma lâmina de fórmica, a qual será colocada, somente, na superfície plana da mesa de ar. Mesmo com o acréscimo da fórmica, ao plano compensado, o projeto não encarece muito, pois uma folha de fórmica com 3,08 m x 1,25m custa em torno de R\$ (60,00 ± 5,00). E a ferramenta para cortá-la custa de R\$ (9,00 ± 2,00)

Com essa escolha houve também uma facilitação quanto ao uso das ferramentas, pois muitas das que serão utilizadas já são de uso cotidiano da maioria das casas, isto é, o martelo, o serrote, o alicate, as chaves de fenda, a trena ou fita métrica, a furadeira, etc. No entanto para a furação da mesa, onde os orifícios deverão ser o mais perpendicular possível, a fim de se manter um colchão de ar, com sopros perpendiculares e uniformes, evitando-se a presença de componentes transversais indesejados e desnecessários, faz-se a necessidade de uma ferramenta que possa realizar este tipo de furação. Como solução encontrada utilizou-se duas ferramentas da Dremel, com o auxílio de uma broca especial com 1,39 mm de diâmetro, com preço por volta de R\$ (8,00 ± 2,00). As ferramentas são **Multi-fixação para topia de imersão – modelo 335** ao preço de R\$ 99,00 e uma **ferramenta rotativa de alta velocidade dremel – modelo 300** ao preço de R\$ 129,00 e uma **retifica Demel**.

DREMEL[®] 300 SERIES

F013030002

F013030050

F013030052

F013030053

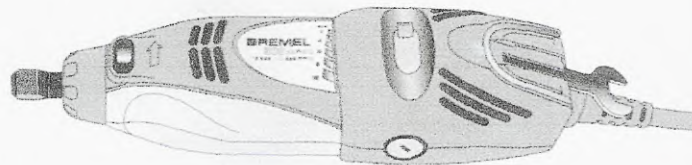
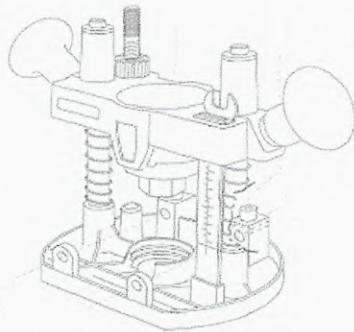


Figura 3 – Ferramenta rotativa de alta velocidade.



(a)



(b)

Figura 4 –(a) Multi-fixação para tupa de imersão e (b) Ferramenta rotativa de alta velocidade acoplada na ferramenta da figura a esquerda.

O projeto é bem simples e de fácil execução. Uma caixa retangular, conforme diagrama mostrado abaixo.

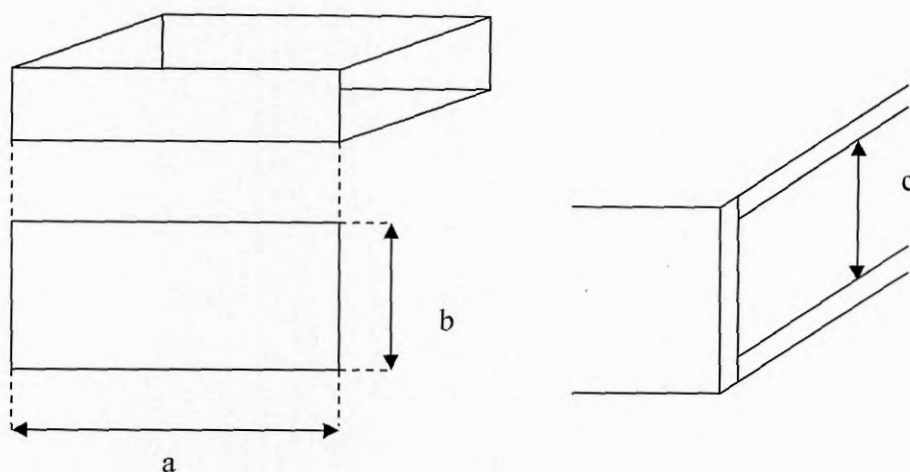


Figura 5 – Diagrama da estrutura física da mesa de ar, com todas as suas dimensões, **a**, **b** e **c**. Sendo, **a** = 95 cm, **b** = 85 cm e **c** = 10 cm, para a 1^a mesa de ar e, para as 2^a e 3^a mesas as dimensões são: **a** = 75 cm, **b** = 55 cm e **c** = 5 cm.

Para fazer a furação fez-se uma matriz no verso do plano superior da mesa de ar, à lápis. O que demandou um bom tempo e muita paciência, foi a realização dos furos! Os da mesa em questão foram feitos 900 furos, para duas horas e quarenta minutos de trabalho. Trabalhou-se em média 20 min por 5 min de descanso, obtendo-se um resultado bastante satisfatório.

A câmera fotográfica digital será outro recurso utilizado. Apesar dessa tecnologia remontar aos anos 1965, a popularização só veio no início da década de 1990, vindo a se tornar febre nos anos 2000. Dos 0,04 megapixels do início, hoje algumas câmeras digitais ultrapassam os 20 megapixels [3].

É um equipamento de grande importância nesse projeto. Devido a sua popularização entre os jovens, em face da grande variedade de modelos e marcas, sua utilização acontecerá como uma forma de aplicação do que se apresenta, nos dias atuais, como uma das mais novas tecnologias, no auxílio do aprendizado. Usando como recurso aplicado a ciência, neste caso a Física, no estudo das colisões bidimensionais.

Devido ela possuir, dentre as muitas funções, o recurso para filmar vídeos de curta duração, será utilizado nesse projeto esse recurso, como uma forma de tomada de dados. Isto irá permitir que se trabalhe de forma qualitativa e quantitativa, os conceitos físicos que estão envolvidos no estudo das colisões bidimensionais. Com isso, podem-se construir tabelas, diagramas e (ou) gráficos de forma a tornar acessível o processo ensino-aprendizagem.

Como forma de exemplificar, tudo que já fora dito, será mostrado o resultado de um filme feito com o auxílio de uma câmera fotográfica digital Cyber-shot, modelo DSC-S650 da Sony

O computador, também largamente difundido nos dias atuais, será utilizado com a finalidade de processar todas as informações colhidas no experimento. Ele será utilizado conjuntamente com dois softwares, o **VirtualDub** [4] e o **Imagem J** [5], os quais irão nos ajudar a produzir uma fotografia estroboscópica totalmente digital. Uma discussão detalhada sobre esta técnica pode ser encontrada no trabalho de Dias et al. [6].

A fotografia estroboscópica foi um recurso muito utilizado no estudo da cinemática, no estudo dos movimentos dos corpos, quer em trajetórias retilíneas (MRU e MRUV) ou em trajetórias curvilíneas (MCU e MCUV). No entanto, a utilização desse recurso, nos moldes antigos em que se empregavam filmes fotográficos, demandava uma logística bastante elaborada com o emprego de câmaras escuras e lâmpadas estroboscópicas de

frequência regulável. Com a tecnologia digital todo o processo se simplificou enormemente.

1.1 - Um breve relato da construção das mesas.

Tudo o que foi visto anteriormente, quanto a construção da mesa de ar, foi aplicado para cada uma das mesas produzidas, variando, apenas, a quantidade de furos e as adaptações usadas, até a conclusão daquela que se julgou ser a mais adequada.

Com a construção da mesa de ar, pelo educador, tem-se a vantagem de realizar tantos experimentos, quanto se queira, antes de levá-lo para uma sala de aula. Ele pode verificar a comprovação de todos os conceitos que queira levar aos alunos, tendo uma real idéia de todos os passos que irão conduzir os alunos a realizar o aprendizado desejado.

Quando se pensou em construir a mesa de ar como um agente motivador para um aprendizado, a idéia não era só ensinar a *colisão bidimensional*. Era ter algo que possa ser usado no dia a dia do aluno. A mesa de ar é um objeto usado no lazer, para jogos e competições, atraindo enormemente o interesse dos alunos. É algo que ele conhece, e que a Física esta presente, mas que ele nunca tenha pensado a esse respeito. Por essa razão, é um dos muitos objetos que pode e deve ser utilizado para mostrar os vários conceitos de Física presentes. É o permitir que o educando construa, a partir do concreto, conceitos que poucos desenvolveram com muita abstração e observação.

O desenvolvimento tecnológico hoje é enorme. Com um simples toque de um dedo um mundo de informações pode ser acessado, sem que a presença de um professor seja necessária. Se essas informações vão ser entendidas ou não, isso é outra discussão. O que se esta pretendendo falar é que os educandos dispõem de fontes de informações sobre tudo e

de tudo, ao seu bel prazer. E as escolas, por ação de muitos educadores, não estão se adequando a esses novos tempos.

Se os jovens de hoje possuem computadores, notebooks, câmaras digitais, os mais sofisticados celulares, divertem-se em shoppings em vários brinquedos dos mais variados, sendo a mesa de ar um deles. Por que não utilizar, alguns desses ou todos, para ensinar Física? Ou ainda melhor, por que não utilizar uma mesa e ar, uma câmara digital e um computador para ensinar, na Física, *colisão bidimensional*?

Daí a grande importância de aproveitar-se toda essa vantagem, de que gozamos, nos dias atuais, em podermos fazer um experimento que permita, de uma forma bem simples, mostrar a validade desses vários conceitos. No entanto, com uma “construção caseira” pode-se obter resultados que leve os educandos perceberem e confiarem nas suas validades, dando a estes, a possibilidade de poderem extrapolar, abstraindo para outras situações mais complexas. Quer através de leituras ou informes oriundos dos vários meios de comunicação.

Nesse experimento o aluno vai sentir-se no seu habitat, pois vai deparar-se com aquilo que ele já conhece. Só que agora ele terá uma orientação quanto a todos os conceitos físicos presentes: a falta de atrito, o conceito de vetores em grandezas escalares e vetoriais, a quantidade de movimento, ao conceito de impulso, ao conceito de forças internas e externas, a terceira lei de Newton, a conservação da quantidade de movimento, a conservação da energia cinética, ao conceito de centro de massa, etc. Ele poderá olhar a mesa de ar como um macro ou micro sistema, dependendo, apenas, do direcionamento que um educador possa dar ao experimento. Em fim, ter-se-á, em mãos, uma ferramenta capaz de potencializar na construção de habilidades para inúmeras competências.

A construção dessa mesa foi um processo bastante gratificante, pois permitiu verificar como um projeto pode tornar-se viável, bastando apenas um pouco de boa vontade e acreditar que vai dar certo. Inclusive, permitiu observar que melhorias poderiam ser feitas e, tanto assim, houve a construção de duas mesas, anteriormente, até ao projeto final.

1.1.1 - Breve Histórico da Mesa de Ar

A mesa de ar, segundo Robert Hessel, em seu artigo *Discos Sustentados por colchão de Ar: Uma Nova Proposta* [7], trouxe um grande desenvolvimento no ensino das ciências físicas. Esse equipamento permitia a realização de vários experimentos, onde outrora eram impraticáveis, pela utilização de um novo princípio de sustentação a ar. Esse princípio, além de permitir a quase total redução do atrito, impulsionou um grande interesse no meio científico, principalmente ao dos Estados Unidos, a partir de um artigo escrito por Marclely [8].

Inicialmente foram feitos discos sustentados por colchão de ar, chamados de pucks, que se deslocavam sem quase nenhum atrito. Eles foram feitos por *Marclely e Whitney*[9], primeiramente, afirmado por esse último, os quais utilizaram em experiências envolvendo a conservação da quantidade de movimento no Massachusetts Institute of Technology (MIT). E foi a partir desses eventos que surgiram as invenções do trilho de ar e da mesa de ar, ambos partilhando, também, do princípio da sustentação ou lubrificação a ar.

1.1.2 - 1ª Mesa de Ar

Nessa construção foi usado, somente, compensado de 10 mm. As suas dimensões são 95 cm de comprimento, 85 cm de largura e 10 cm de espessura. A construção desses 5225 furos levou três dias consecutivos para a realização dessa tarefa. É claro que não às 72 horas totais, mas sim 12 horas em três dias. Uma vez concluído a tarefa verificou-se que a superfície da mesa deveria ter tido um tratamento, quer pelo uso de um selador, ou verniz, ou pelos dois. No entanto, após a realização dos furos, a mesa foi lixada com o auxílio de uma máquina destinada a esse fim, onde ao termino desta, usou-se um compressor para fazer a limpeza essa superfície e desobstruir os orifícios da mesa. Com isso obteve-se uma superfície a mais lisa possível.

Outra observação, feita, foi à quantidade de furos para um espaçamento de 10 mm entre os furos, que embora funcionasse, a pressão do ar só permitia a flutuação de discos feitos com compensado de 4 mm. Estes discos foram pintados com tinta preta fosca, sobre a qual se pintava uma cruz, em cor branca, a fim de obter-se um ótimo registro do experimento. Contudo, a pintura em cruz possuía uma largura exagerada, prejudicando um pouco a tomada de dados, pela filmagem do evento. Isso foi corrigido nos outros projetos.

Para a sustentação dessa primeira mesa, usou-se um tripé. Entretanto, embora possuísse um sistema de nivelamento, a altura era insuficiente, exigindo muita ginástica de abaixamento. Isto porque esse tripé foi idealizado para ser utilizado sobre uma mesa de sala de aula. Foi então que surgiu um questionamento: será que todas as salas de aula irão possuir uma mesa nas dimensões apropriadas?

Havia, também, a necessidade de uma boa fonte de luz para se fazer uma filmagem adequada, pois não se pode contar com a iluminação da sala de aula pelo fato desta não ser, em geral, suficientemente intensa.

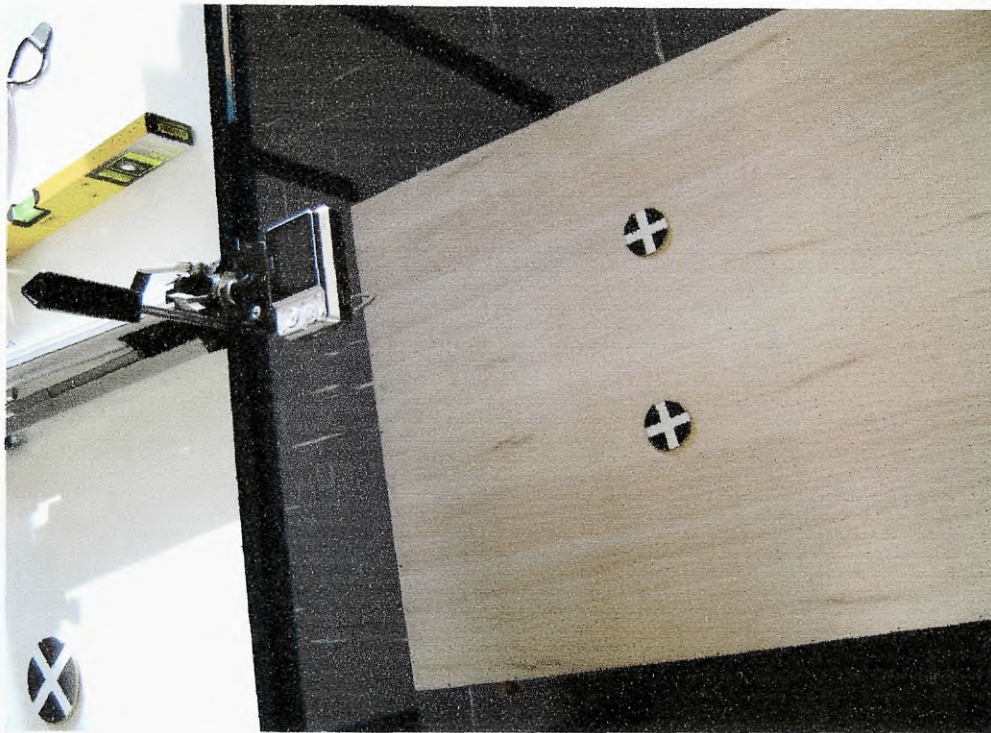


Figura 6 – Vista superior da primeira mesa. Podemos ver os primeiros discos fabricados para o projeto. Vemos também a câmara fotográfica digital. Nessa primeira mesa não havia uma peça específica para sustentar a câmara digital.

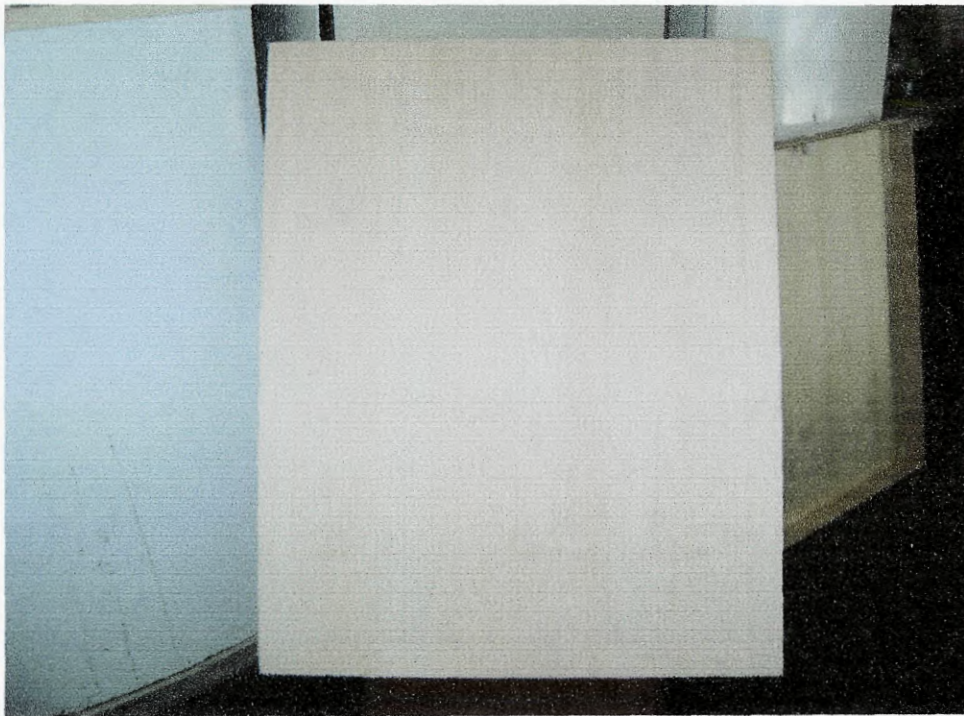


Figura 7 – Vista frontal da primeira mesa mostrando a matriz de perfuração. Neste projeto foram feitos 5225 furos.



Figura 8 - Primeira mesa sobre uma mesa de apoio.



Figura 9 – Vista geral da primeira mesa montada com o aspirador de pó Elettrolux, modelo Flex 1400 que possui as duas funções: aspirar e comprimir.



Figura 10 – Discos em madeira compensada de 4 mm. As cruzeiras pintadas sobre os discos permitem uma observação clara de possíveis movimentos rotacionais.

1.1.3 - 2ª Mesa de Ar.

Esta, feita também com compensado de 10 mm, possui dimensões menores que a primeira, a qual também possuía um certo desconforto quanto ao seu transporte. A nova mesa possuía as dimensões de 75 cm de comprimento, 55 cm de largura e 7 mm de espessura. Possui um tampo de fórmica branca e lisa, com 1504 furos, com o espaçamento de 1,6 cm entre eles. Já essa quantidade de furos foi feita em apenas quatro horas. Um sistema de iluminação para a filmagem foi acrescentado à nova mesa, sendo então fixos na estrutura da mesa por duas hastes laterais. Preparamos três pernas de 65 cm de altura, com parafusos niveladores em suas extremidades. Acrescentaram-se, também, dois disparadores

de corpos, fixados na lateral da mesa. No entanto, com essa nova construção, foram observados os seguintes problemas:

1. Pelo fato do piso da mesa ser de fórmica lisa, independente da fonte luminosa que se usa, havia uma reflexão da fonte luminosa, como se a superfície da mesa fosse um espelho plano. Esse inconveniente causa um grande problema na hora de fazer a filmagem do experimento. Dependendo da posição da fonte luminosa, na hora da filmagem, tem-se a impressão que a fonte luminosa esta apontada para a objetiva da câmara fotográfica, produzindo um grave ofuscamento, prejudicando a tomada de dados (ver Figura 15).
2. As fontes luminosas, utilizadas nessa nova mesa, junto do sistema de iluminação, eram feita por duas lâmpadas dicróicas que além de causarem uma grande ofuscação na câmara digital, durante a filmagem, comportavam-se como fossem dois holofotes, concentrando a luz ao invés de difundi-la.
3. No sistema de filmagem que consiste de uma plataforma fixa em uma estrutura, contendo um orifício por onde se insere a objetiva da câmara digital, por estar a uma distancia de 75 cm do plano da mesa, impede que se observe a filmagem sem que aja a necessidade de subir em um banco, cadeira ou uma escada. A plataforma de suporte da câmara ficou, assim, muito alta.
4. Os disparadores de discos, inseridos na lateral da mesa, em um de seus extremos ao longo do seu comprimento, foram fixados à mesa por estruturas que os permitam que sejam baixados ou erguidos. Vimos que estas estruturas ocupavam um bom espaço. E este fato é devido à grande liberdade que possuem, a fim de oferecerem uma inclinação adequada ao disparo dos corpos. Além de limitarem a região de observação das colisões, para a inclinação desejada, não funcionava a contento.



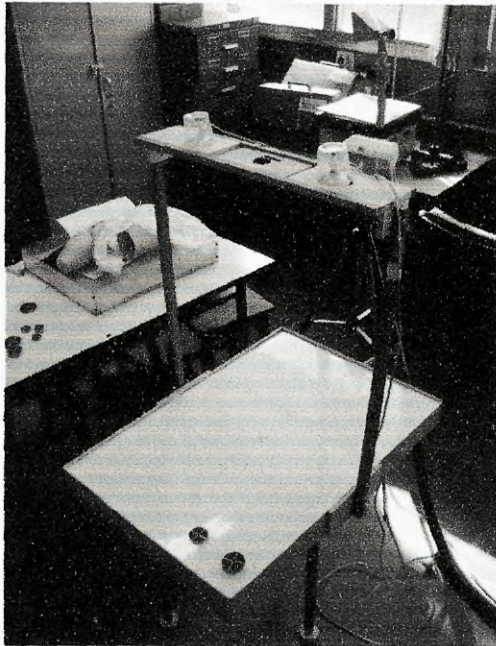
Figura 11 - Sistema de iluminação e filmagem da segunda mesa



Figura 13 - Segunda mesa montada.



Figura 14 - Fazendo experiências na segunda mesa.



(a)



(b)



(c)

Figura 15(a,b,c) - Fotografias ilustrando o problema de reflexão da luz na segunda mesa.

Esse problema incide sobre o procedimento de filmagem com o uso de lâmpadas externa.

1.1.4 - 3ª Mesa de ar.

Como forma de resolver esses quatro problemas fez-se a mesa de ar de número três, a qual se acredita ter encontrado o projeto mais adequado para a finalidade proposta. Esse novo projeto possui a mesma estrutura do anterior, porém com as seguintes modificações:

- 1) O tampo da mesa foi feito com uma fórmica clara (cinza bem claro) e fosca, eliminando a reflexão especular, obtendo-se uma reflexão mais difusa da fonte luminosa. A quantidade de furos foi reduzida para 651, devido ao espaçamento, que agora é de 2,5cm, entre eles.
- 2) A fonte luminosa, do novo sistema de iluminação, é feita por lâmpadas leitosas, no total de duas, de 100 w, modelo *soft White* da Osram. Com essa fonte luminosa consegue-se uma boa difusão da luz.
- 3) Para poder observar o monitor da câmara fotográfica, introduzimos um espelho plano em ângulo de 45° com a horizontal, permitindo o controle da câmara fotográfica digital, sem que haja necessidade de inseri-la ou retirar varias vezes, durante todo o experimento.
- 4) Os disparadores, dos corpos, passaram a ocupar posições privilegiadas, permitindo que as colisões dos corpos, após o lançamento, ocorram em uma região adequada para as filmagens.

O que esse novo projeto trouxe de novidade é a possibilidade de se ter um controle de todo o evento. Pois, além de haver uma região bem delimitada para as colisões existe uma possibilidade concreta de controlarem-se as velocidades de lançamento, dos corpos.

A mesa de ar, construída como projeto final, possui os seguintes componentes:

1. Três pernas que podem ser colocadas e retiradas com o auxílio de um sistema de borboletas, isto é, duas borboletas por perna. Essa adaptação foi feita com o intuito

de facilitar o nivelamento, pois por três pontos define-se perfeitamente um plano. Tanto assim que, em cada extremo dessas pernas, há um parafuso nivelador a fim de deixar a mesa o mais horizontal possível. Caso não haja um bom nivelamento da mesa, haverá a presença da componente da força peso, a qual irá atuar como uma força externa, ao sistema em estudo. Por este motivo, não se verificará a conservação da quantidade de movimento. No entanto, esse fato poderá ser estudado como uma forma de avaliação ou como uma aula especial, que irá depender do grau de interação com a turma.

2. Um sistema de iluminação com a finalidade de tornar a filmagem, do evento, a mais adequada, permitindo uma melhor iluminação do cenário. No entanto esse sistema é agora de encaixe, permitindo o melhor direcionamento da fonte luminosa. As lâmpadas (como mostra a **figura 19 – b**), aqui utilizadas, são de 100 W, modelo shoft White da Osran, tipo leitosas, melhorando a difusão da luz, sem formarem feixes direcionados. O local onde elas ficam inseridas é no interior de uma espécie de caixa, onde somente suas extremidades luminosas ficam à amostra, posicionadas em direção da mesa de ar.
3. Sistema de filmagem que permite ao professor ou ao experimentador uma total liberdade para a execução da experiência, sem que haja qualquer preocupação com essa tarefa. Esse sistema nada mais é do que uma espécie de plataforma, a qual possui um orifício com o objetivo de direcionar a objetiva da câmara fotográfica digital perpendicularmente à mesa de ar. Com isso toda a atenção poderá ser direcionada para a realização da experiência, bastando somente acioná-la, no modo de filmagem, e ao termino desligá-la.

4. Um sistema de espelho plano com a finalidade de facilitar a observação do monitor da câmara digital. Evitamos assim que haja a necessidade de tirá-la, inúmeras vezes, da sua posição, sem ter que subir em cadeiras, bancos, mesas e escada, reduzindo, ao máximo, o perigo de quedas. Esse sistema, também, tem a finalidade de dar mais liberdade ao(s) experimentador (es), que uma vez feito todos os ajustes necessários e ter acionado a câmara digital, basta, se necessário, de vez em quando dar uma pequena observada se ela esta ou não fazendo o desejado.
5. Haste de fixação para o sistema de iluminação, base de fixação da câmara digital e espelho. Essas hastes têm assim a finalidade de suportar os elementos (2), (3) e (4). Elas, assim como as pernas da mesa de ar, são de fácil encaixe, pois, também, possuem um sistema de borboletas, as quais se fixam nas laterais da mesa de ar. E os seus posicionamentos, nessas laterais, são “precisamente” a uma distancia equidistante dos seus extremos, no sentido do comprimento da mesa de ar.
6. Dois disparadores de discos, fixados nos extremos, nas laterais ao longo do comprimento da mesa de ar. Eles possuem uma inclinação fixa, com a finalidade de garantir uma maior reprodutividade do fenômeno. No entanto, como os disparadores possuem molas propulsoras, podemos reproduzir a velocidade de lançamento controlando a compressão da mola. Esse sistema possui a vantagem de se poderem trocar as molas, para aquela da constante elástica mais adequada. Com isso os corpos poderão ser lançados com as mais diversas velocidades. O fato de esses lançadores estarem com uma inclinação fixa, praticamente define o local ou a região, da mesa de ar, onde ira acontecer às colisões. Dessa forma a objetiva da câmara digital estará focando essa região de “impacto”.

7. Um local de encaixe para o compressor que, nessa construção, será um aspirador de pó, cujo modelo possui duas funções, a de aspirar e a de comprimir o ar. Esse modelo é o **Eletrolux**, modelo **Flex 1400**. Ele foi comprado em uma loja do Ponto Frio, próxima a minha residência, por R\$ 299,00. Ver Figura 9.
8. Dois corpos circulares de diâmetros distintos, pintados de cor preta com duas listas brancas e finas as quais, passam, perpendicularmente, pelos centros de cada disco. Devido a nova construção da nova mesa de ar, esses dois corpos puderam ser feitos com um compensado de 10 mm, com uma base de um poliestireno colado em cada corpo. Com isso têm-se superfícies adequadamente polidas. A cor preta fosca, que cada corpo possui, é para permitir uma melhor tomada de dados, pelo contraste marcadamente forte com a mesa de ar. E as listas brancas, finas e perpendiculares, que passam pelo centro dos discos, possuem duas importantes funções:
 - Permite observar e quantificar se há rotação nos discos, antes e depois da colisão.
 - Permite fazer um bom levantamento das posições dos corpos, antes e após as colisões.

Todo o experimento tem como ponto máximo o registro, o levantamento e o processamento de todos os dados, pertinentes e indispensáveis na experiência, os quais irão permitir a criação das habilidades necessárias, aos educandos e educadores, para as várias competências a serem trabalhadas.



Figura 16 - (a) Discos para colisões com diferentes marcações nos corpos. Os novos modelos, vistos à direita na foto, são feitos em compensado de 10 mm com uma base de poliestireno, muito polido. As cruces mais estreitas permitem uma melhor determinação das coordenadas do disco nas fotos estroboscópicas.



Figura 16 - (b) Detalhe dos discos construídos para a segunda e terceira mesas.

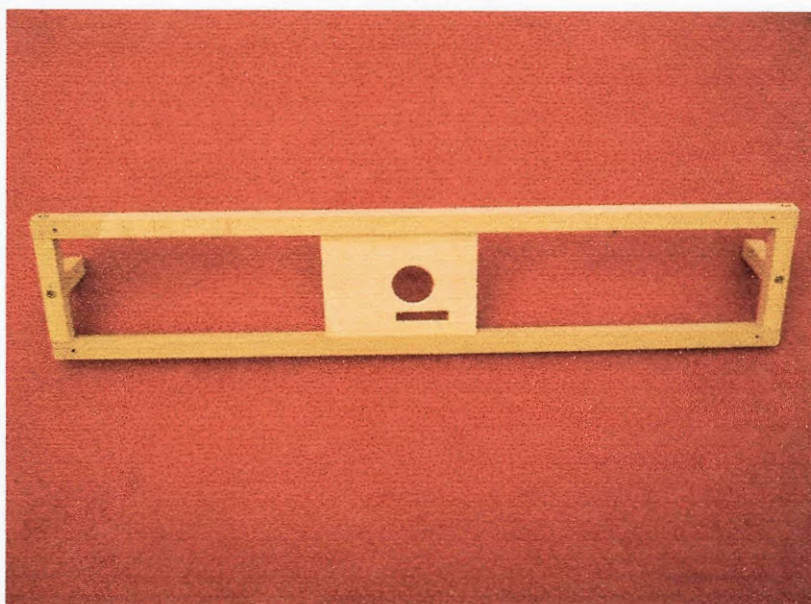


Figura 17 - Estrutura para fixação do sistema de filmagem e de iluminação.

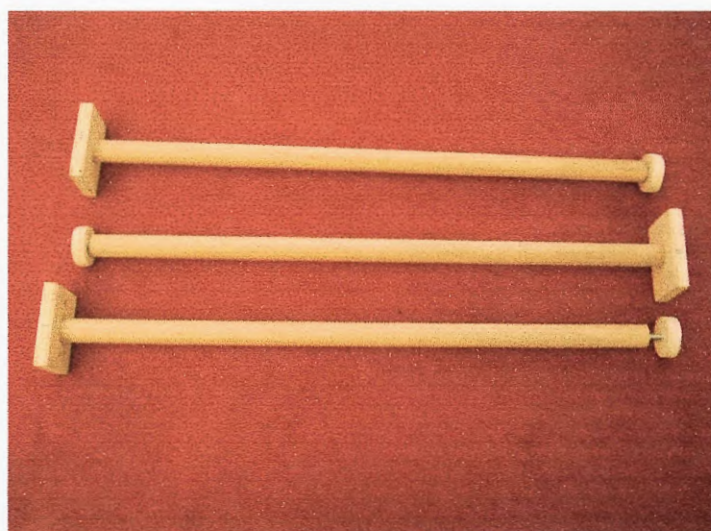


Figura 18 - Pernas da mesa. Podemos ver nas extremidades um disco de apoio com um parafuso de nivelamento.

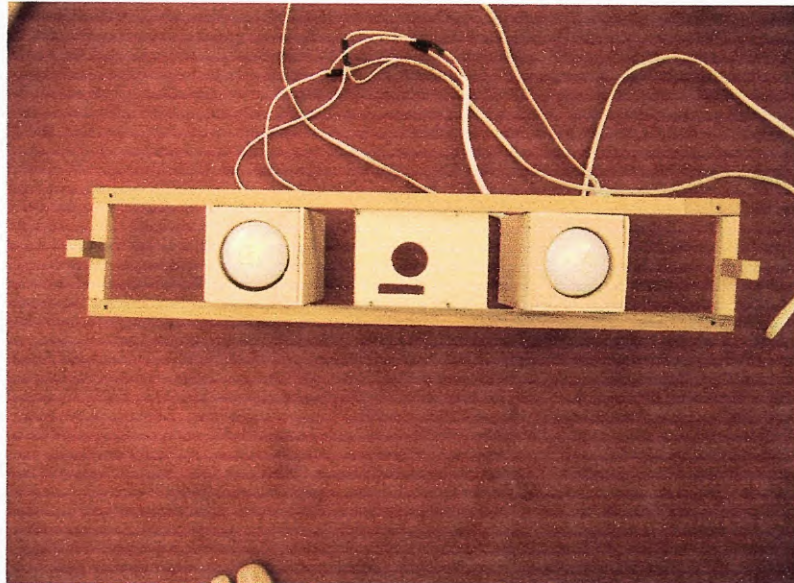


Figura 19 – (a) Estrutura de fixação do sistema de filmagem e de iluminação com as lâmpadas instaladas.



Figura19- (b) Lâmpada usada no sistema de iluminação

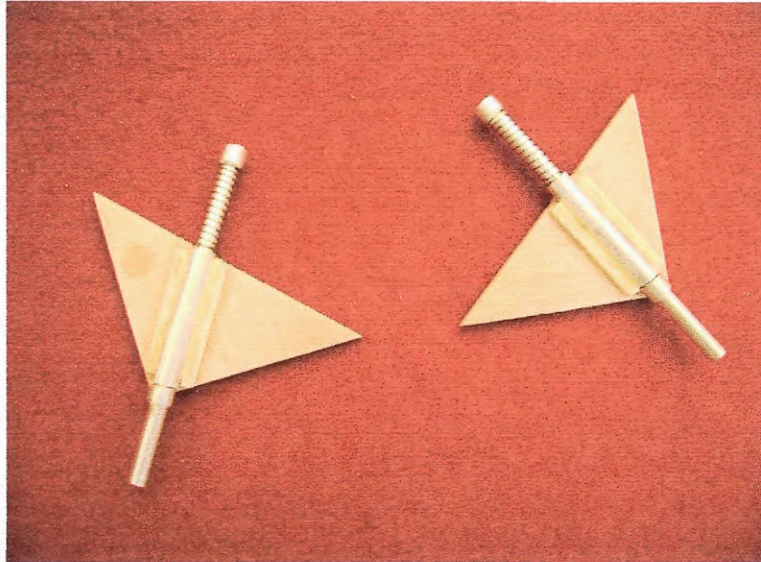


Figura 20 - Disparadores de discos.

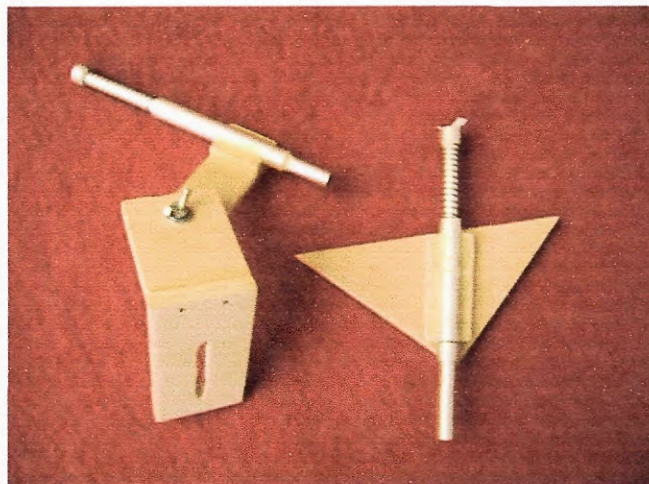


Figura 21 – Disparadores de discos, sendo o da esquerda da mesa 2 e o da direita da mesa 3.

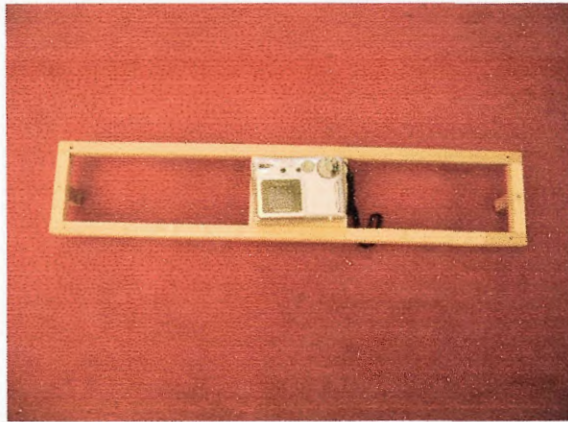


Figura 22 - Detalhe da fixação da câmara digital no sistema de filmagem.

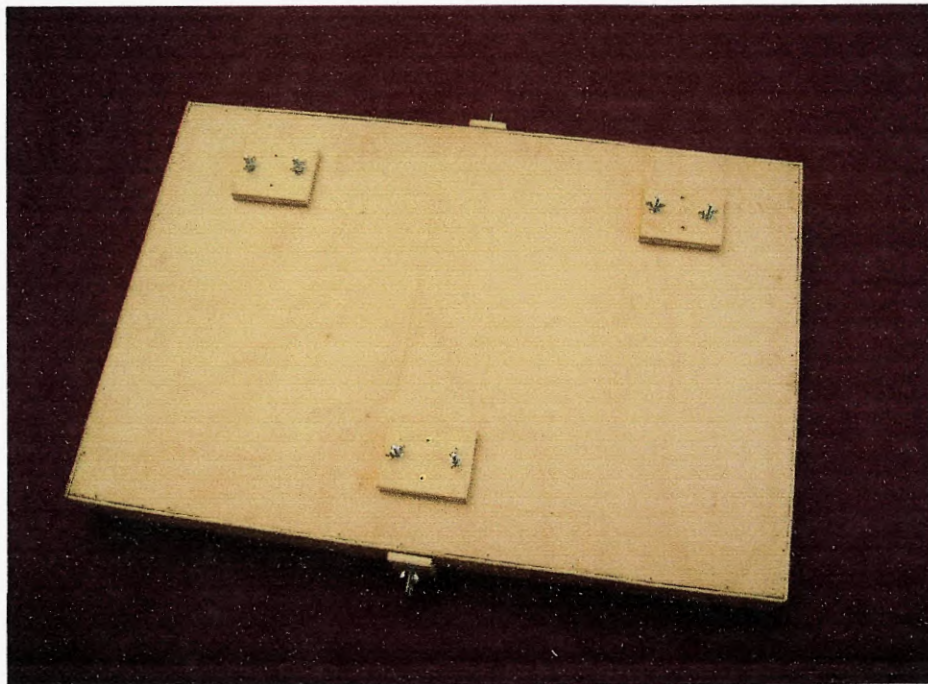


Figura 23 - (a) Detalhe do sistema de fixação das pernas na mesa de ar (vista de baixo).



Figura 23 - (b) Detalhe da fixação da perna na mesa de ar, mostrando o sistema de parafusos com porcas tipo borboleta que facilitam a fixação/remoção das pernas. Com isto tornamos a mesa muito compacta para efeitos de transporte.



Figura 24 - Sistema de fixação das hastes laterais do aparato de fixação dos sistemas de filmagem e de iluminação.

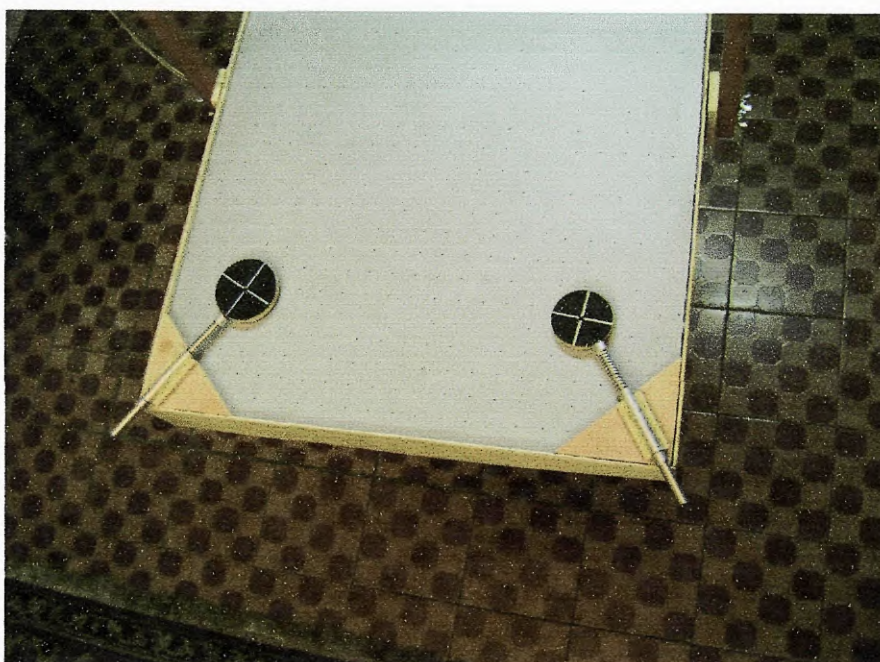


(a)

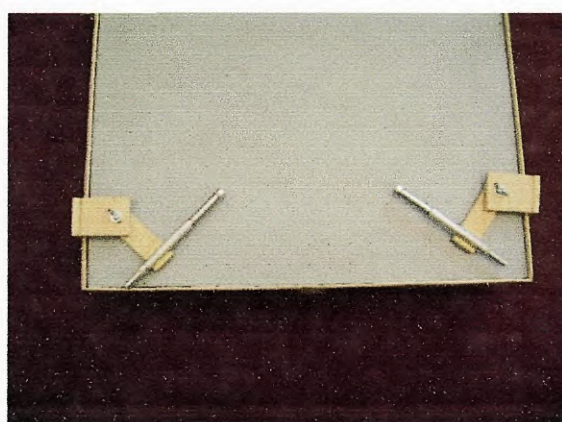


(b)

Figura 25 - (a) Montagem final da base de fixação da câmara e das lâmpadas de iluminação na mesa de ar. (b) Encaixe do compressor (aspirador de pó).

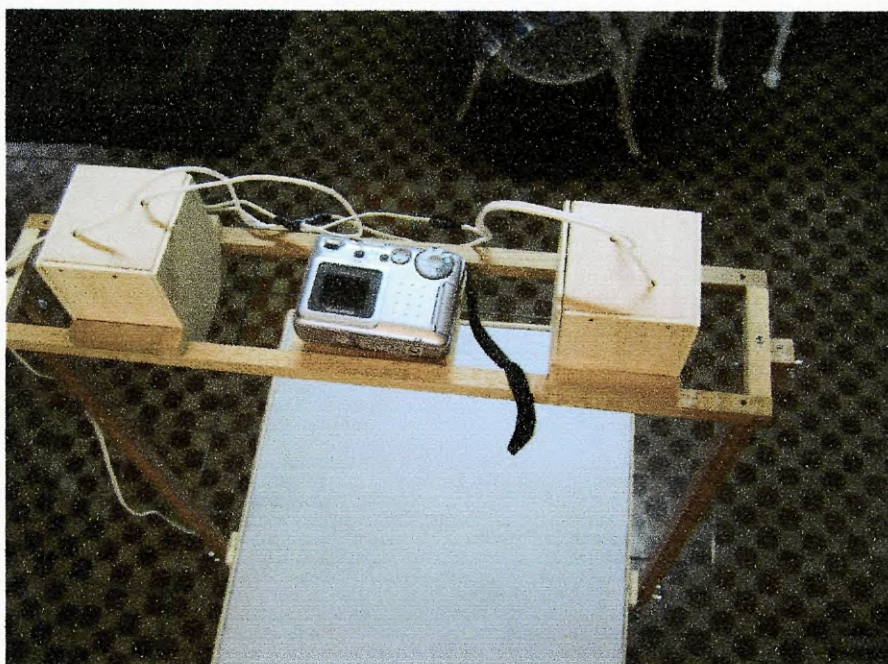


(a)



(b)

Figura 26 - Vista superior das mesas de ar 3(a) e 2(b)
com os seus respectivos disparadores de discos.



(a)



(b)

Figura 27 - (a) Detalhe da fixação da câmara fotografia e lâmpadas de iluminação à mesa de ar. **(b)** Mesa de ar pronta para uso.

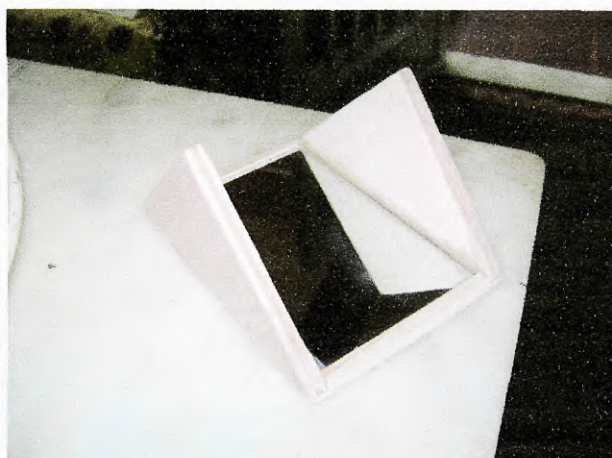


Figura 28 - Espelho plano de 45°.

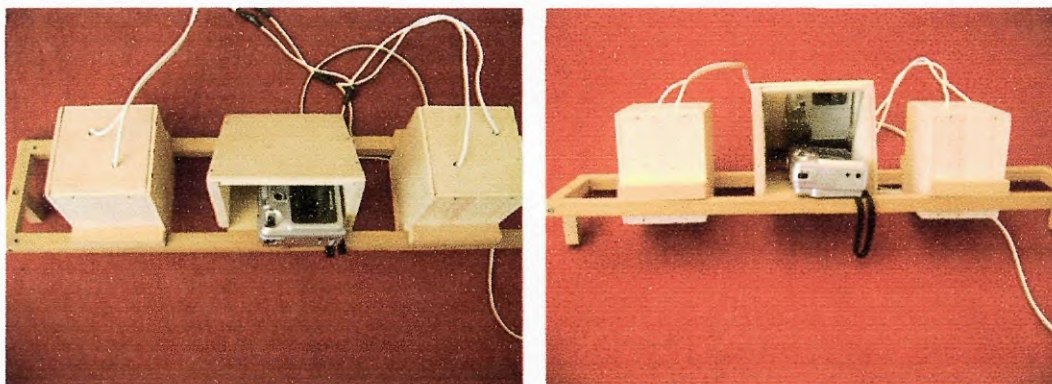


Figura 29 – Detalhe do espelho plano de 45^o, aplicado ao sistema de filmagem. Na foto da esquerda (a), temos uma tomada superior e a da direita uma tomada frontal.

Capítulo 2 – Subsídios para o planejamento de aulas devotadas a discussão da teoria de colisões com auxílio da mesa de ar e câmara fotográfica digital.

O que se propõe, é a utilização de um experimento de fácil construção aliado a um recurso de baixo custo, acessível a qualquer educador que deseje tornar mais favorável o processo de ensino aprendizagem.

Com a construção da mesa de ar, a fim de melhor manuseá-la, foram feitas algumas adaptações, tornando-a mais adequada as possíveis dificuldades. No entanto tais adaptações não são totalmente indispensáveis para a execução do experimento. Isto porque, se na sala de aula tiver uma boa iluminação e um bom apoio para a mesa, onde se tenha certeza deste ser o mais nivelado possível, já será o suficiente para a execução da experiência.

Como vimos, as adaptações feitas foram as seguintes: colocaram-se três pés para a sustentação da mesa de ar com reguladores de nível em cada pé. Com a finalidade de garantir uma boa iluminação, foi colocada uma luminária. Junto a esse sistema de iluminação foi disposto um aparato que possui a função de apoiar a câmara fotográfica digital, dando a esta uma posição privilegiada para fazer uma filmagem de todo o experimento. Como a câmara digital fica em uma posição fixa, junto a esta foi colocado um aparato contendo um espelho plano que irá permitir acompanhar toda a filmagem. Como haverá lançamento de corpos, para a realização do experimento foi colocada uma espécie de lançador de corpos, tendo este a função de tentar garantir uma maior reprodutividade do evento.

Todas as adaptações feitas na mesa de ar têm a finalidade de permitir que o experimento possa ser realizado com o mínimo de influencias externas, buscando

aperfeiçoar, dessa forma, desde o lançamento dos corpos a tomadas de dados. E o que é mais importante, todas essas adaptações poderão ser facilmente inseridas e retiradas com bastante facilidade.

A idéia principal do projeto é levá-lo a uma sala de aula com o objetivo de fazer com que toda a turma se envolva com o experimento. E uma maneira de propiciar esse envolvimento é o de permitir que a turma faça parte de todo o experimento.

Inicialmente o professor faria uma sucinta exposição de todo o evento, que será realizado, apresentando todas as ferramentas a serem utilizadas, durante todo o processo. Nesse primeiro contato seria colhido o máximo de informações sobre tudo a ser falado e visto, a fim de se perceber qual o nível de expectativa e habilidades existentes, para as competências a serem trabalhadas. E uma vez de posse de todas as informações colhidas dos alunos, quanto ao que será visto e realizado, dar-se-á início ao experimento. Com o auxílio de alguns voluntários, o professor acionaria a câmara digital, na função de filmagem, dando início ao experimento. Em seguida posicionando os dois corpos nos seus respectivos lançadores, faria o lançamento destes, onde a câmara fotográfica filmaria todo o processo de colisão. Caso queira ele poderá repetir o lançamento dos corpos algumas vezes, com o intuito de escolher o melhor filme da colisão.

Quanto ao recurso de baixo custo seria a construção da fotografia estroboscópica, como o produto da filmagem da câmara digital.

O processo é bastante simples. Com o vídeo do experimento, realizado com a câmara digital, transfere-se para um computador. Agora, com o auxílio do programa Virtual Dub, será escolhido um trecho do vídeo a ser trabalhado. Isto porque o vídeo digital feito por esta ferramenta - em nossos trabalhos usamos a câmara *Cybershot* da *Sony* - é constituído de uma seqüência de fotogramas digitalizados, em intervalos de tempo bem

definido. Nos modelos atuais, de câmaras fotográficas digitais, são utilizadas as frequências de 12,5, 15 e 30 fotogramas por segundo (FPS), e o tempo entre fotogramas seria então o inverso desta frequência. Logo, o que é feito com o *VirtulDub*, além de selecionar-se o trecho desejado, é também, decompor a seqüência em fotogramas individuais, dando-se a essa seqüência um ordenamento temporal. Em seguida, será utilizado o *ImageJ* que irá fazer a superposição de todos os fotogramas em uma única foto, dando como resultado, dessa operação, uma autentica fotografia digital estroboscópica.

A vantagem de se utilizar essa construção vai desde a facilidade de se fazer uma fotografia estroboscópica às infinitas possibilidades de aplicações, bastando tão somente de uma câmara digital e um computador. E o que é mais instigante é que o aluno, dependendo do seu envolvimento e da tremenda facilidade de todo o processo, poderá fazer uso dessa construção a seu bel prazer.

Como exemplo, apresentamos a seguir fotografias estroboscópicas de algumas colisões entre dois discos de massas diferentes (ver Figuras 30 a, b).

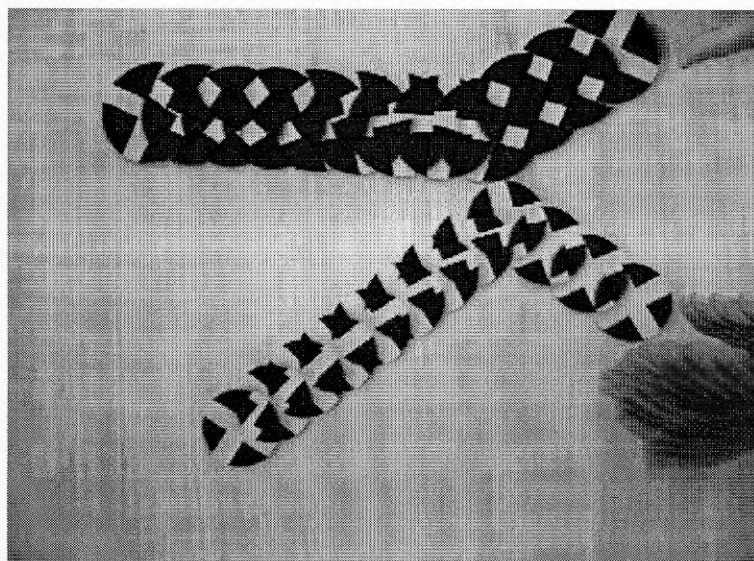


Figura 30 - (a) fotografia estroboscópica de uma colisão feita na primeira mesa;

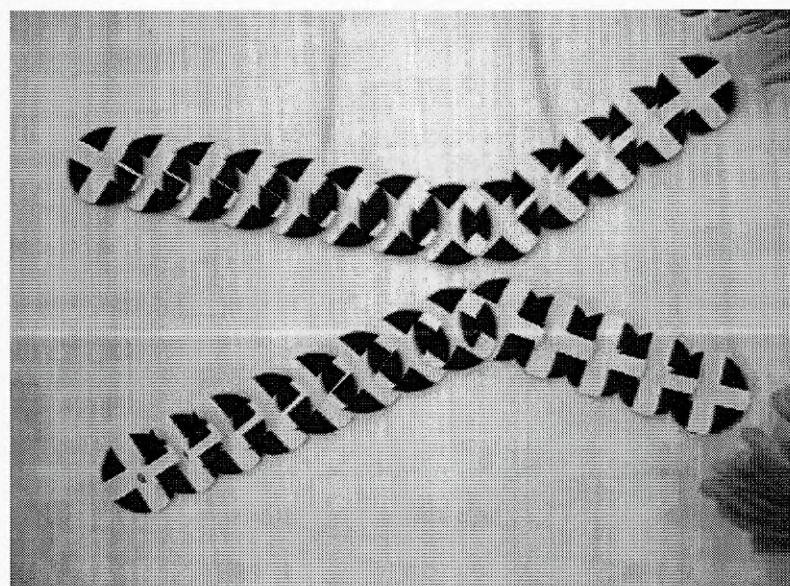


Figura 30 - (b) fotografia estroboscópica de uma colisão feita na primeira mesa;

2.1 - Referencial teórico da Mecânica de colisões.

Vamos fazer algumas considerações sobre a forma de aplicar a teoria de colisões com auxílio de mesa de ar. O Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento ou do Momento Linear pode ser estabelecido nos seguintes termos: dado dois corpos em que o somatório das forças externas é nulo a quantidade de momento linear total se mantém constante. Tomemos dois corpos m_1 e m_2 lançados, um contra o outro, sobre uma superfície plana e horizontal sem atrito. Nessas condições as forças presentes sobre cada corpo, antes e após a colisão, são o peso e a reação normal que se cancelam mutuamente. Durante a colisão acrescentam-se as forças de interação as quais se cancelam mutuamente devido ao fato de que formam um par de forças de ação-reação e obedecem assim a Terceira Lei de Newton. Podemos concluir que na colisão, a quantidade total de movimento ou o momento linear total do sistema de duas partículas se conserva, isto é:

$$m_1 \cdot \vec{V}_{1,antes} + m_2 \vec{V}_{2,antes} = m_1 \cdot \vec{V}_{1,depois} + m_2 \vec{V}_{2,depois}$$

Se as forças de ação-reação são devidas às deformações elásticas dos corpos devemos observar também a conservação da energia cinética. Se a deformação é plástica a energia cinética total não se conserva.

Como a colisão é bidimensional, verificar a conservação da quantidade de movimento (ou de momento linear) significa ter que decompor os vetores velocidade em eixos cartesianos. Este fato é um dos grandes complicadores a serem trabalhados nessas experiências de colisão. Isto porque aumenta consideravelmente a quantidade de informações a serem trabalhadas. Não que seja uma impossibilidade, mas devemos reconhecer a necessidade de um trabalho experimental muito organizado o que nem sempre

é factível de ser imposto à trabalhos em sala de aula. Talvez seja este um dos grandes motivos, da maioria dos autores de livros de Física, de não utilizarem desse tipo de colisão.

Acreditamos que a forma mais elegante de se contornar essa dificuldade é o uso do conceito de CENTRO DE MASSA. Como sabemos, nas condições em que aqui se considera a colisão, o somatório das forças externas é nulo. Da 2ª LEI DE NEWTON temos que:

$$\sum_i \vec{F}_{i,externa} = \text{resultante das forças externas} = m_{total} \cdot \vec{a}_{CM};$$

$$\sum_i \vec{F}_{i,externa} = 0 \rightarrow \vec{a}_{CM} = 0$$

isto é, o CENTRO DE MASSA (CM) do sistema formado pelas duas partículas segue em movimento retilíneo uniforme. Assim, verificar a conservação da quantidade de movimento linear é equivalente a verificar se o CM do sistema se move em MRU o que simplifica significativamente o tratamento de dados experimentais.

2.2 - ~~Análise de dados.~~

A análise de dados consiste em se obter as coordenadas (X,Y) dos dois discos em cada instante, ou fotograma, na fotografia estroboscópica. As coordenadas podem ser obtidas da fotografia estroboscópica usando as facilidades gráficas do programa ImageJ. Neste caso, sem uma calibração prévia, as coordenadas são obtidas em unidades de pixel. Um método alternativo consiste em imprimir a fotografia estroboscópica da colisão, tal com a fotografia mostrada na Figura 30(a), ampliando a imagem se necessário e transferindo os pontos para uma folha de papel milimetrado. Completamos a experiência medindo as posições (X,Y) no papel milimetrado. As medidas podem ser organizadas numa tabela, como indicada a seguir:

fotograma	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X _{CM}	Y _{CM}
1						
...						
N						

Onde completamos com o cálculo das coordenadas do CM:

$$X_{CM} = \frac{m_1 \cdot X_1 + m_2 \cdot X_2}{m_1 + m_2}$$

$$Y_{CM} = \frac{m_1 \cdot Y_1 + m_2 \cdot Y_2}{m_1 + m_2}$$

Nas **Figuras 31 e 32** podemos ver os resultados obtidos para a análise das fotografias estroboscópicas apresentadas nas Figuras 30(a) e 30(b). Essas figuras, que correspondem aos dois gráficos, foram feitas com a utilização de ~~um~~ ^{do} programa chamado **Origin** [10]. Esse programa possui uma série de recursos destinados, principalmente, às ciências exatas, dando uma gama muito vasta de aplicabilidade. No entanto, esses gráficos poderiam, também, serem confeccionados, sem deixar a desejar, pelo Excel que já vem disponível nos vários computadores. Contudo o Origin é um programa que esta disponível, gratuitamente na internet, cuja aquisição proporciona tanto ao educador e ao educando uma ferramenta capaz de expandir imensamente os horizontes do conhecimento.

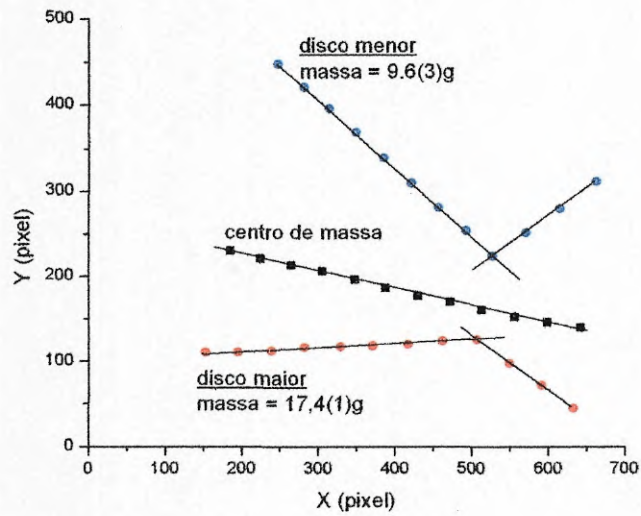


Figura 31 - análise da colisão mostrada na Figura 30(a).

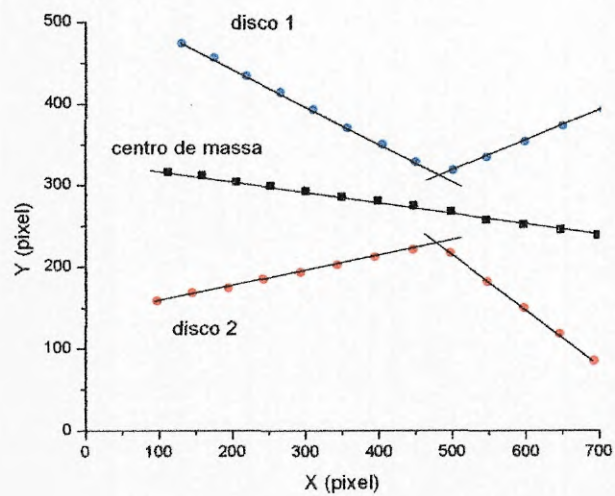


Figura 32 - análise da colisão mostrada na Figura 30(b)

2.3 - Análise de livros didáticos.

Esta análise é feita em relação ao conteúdo Colisão.

O Ministério da Educação, por meio da Secretaria de Educação Básica (SEB), e em parceria com o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), realiza o Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio / PNLEM. No Catálogo do PNLEM/2009 contém a síntese das obras de Física avaliadas e aprovadas no processo de seleção do PNLEM/2007, são elas:

- ***Universo da Física*** - volumes 1, 2 e 3 - José Luiz Pereira Sampaio e Caio Sérgio Vasques Calçada- 2ª Edição – 2005 - Editora Saraiva;
- ***Física – Ciência e Tecnologia - volumes 1, 2 e 3*** - Carlos Magno Azinaro Torres e Paulo César Martins Penteado - 1ª Edição - 2005 - Editora Moderna;
- ***Física - volumes 1, 2 e 3*** - Antonio Máximo Ribeiro da Luz e Beatriz Alvarenga Álvares;
- ***Física - volume único*** - José Luiz Pereira Sampaio e Caio Sérgio Vasques Calçada 2ª Edição – 2005 - Editora Saraiva;
- ***Física - volume único*** - Alberto Gaspar – 1ª Edição - 2001 – Editora Ática.
- ***Física - volume único*** - Aurélio Gonçalves Filho e Carlos Toscano - 1ª Edição. 2005 – Editora Scipione.

Destes livros, utilizaremos dois livros para tal análise e acrescentaremos o livro do prof. Ramalho dado o seu uso muito disseminado na rede escolar do estado do Rio de Janeiro.

1 – ***Curso de Física, volume 2*** - Antonio Máximo e Beatriz Alvarenga – Scipione, 2000.

Os autores consideram o tópico sobre colisões, e tudo mais que o precede, um assunto com certo grau de complexidade para o 1º ano do Ensino Médio, tanto assim que ele só é abordado no 2º ano do Ensino Médio nas edições por eles elaboradas.

Consideram também que a utilização do cálculo vetorial para o assunto em pauta, ser um agente a mais a contribuir para o não entendimento “pleno” deste assunto.

Para o estudo do teorema do impulso ($I = \Delta Q$), através de forças variáveis, costuma-se utilizar o gráfico $F \times t$, tendo-se a área sob a curva como uma representação da variação da quantidade de movimento. No entanto os autores têm um parecer, a esse respeito, divergente dos outros autores e o colocam na página 20 do volume 2, do livro **Curso de Física**, no capítulo 9, no segundo comentário, conforme exposto abaixo:

“Temos freqüentemente, percebido a preocupação de muitos professores em apresentar o cálculo do impulso de uma força de módulo variável, fazendo uso da área sob o gráfico $F \times T$. Entretanto, o objetivo principal do estudo da quantidade de movimento, que é o estabelecimento das condições de sua conservação, pode ser alcançado sem necessidade de lançar mão daquele processo de cálculo. Consideramos, por tanto, ser totalmente desnecessário levar o estudante a memorizar mais uma informação que não traz nenhuma contribuição para o desenvolvimento e a compreensão deste capítulo.”

Os autores mostram certo cuidado quanto a utilização do teorema do impulso ($I = \Delta Q$), da sua validade, tanto para uma partícula quanto a um sistema de partículas, na qual deverá ser considerada a inclusão de novos conceitos, exigidos para o correto desenvolvimento das idéias que esta demanda.

No tocante ao tópico de colisões, propriamente dita, os autores trabalham com a colisão elástica e a inelástica, aplicando a conservação da quantidade de movimento e a conservação da energia cinética. Enfatizam que a não conservação da energia cinética implica na colisão inelástica. Uma outra forma de se verificar o caráter inelástico de uma colisão é através da utilização do *coeficiente de restituição*. No entanto, os autores possuem

o seguinte parecer, quanto a esse assunto, conforme é descrito no capítulo nono do volume 2 do Curso de Física, na página 20, de autoria destes:

Por diversas vezes já manifestamos nossa preocupação com o grande número de informações específicas, de caráter não fundamental, apresentadas em alguns cursos de Física. Coerentemente com esse ponto de vista, evitamos trabalhar com a idéia de coeficiente de restituição nas colisões entre partículas, procurando levar o estudante a concentrar sua atenção nas idéias realmente fundamentais do capítulo. Com essas idéias fundamentais, sem lançar mão do conceito de coeficiente de restituição, ele poderá resolver um número enorme de problemas relacionados com colisões entre dois corpos, os quais consideramos plenamente satisfatório para o nível deste curso.

Os autores só tratam da colisão unidimensional, na quase totalidade dos exercícios do livro. Porém existe três exercícios que envolvem a colisão bidimensional, sendo um dos exercícios resolvido e os outros dois oferecidos como exercícios desafios, com a intenção de se observar o que foi ou será assimilado.

Como comentário final sobre este livro, os autores citam, como importância da conservação da quantidade de movimento, a comprovação da existência de uma partícula chamada nêutron, fruto do trabalho de um grande cientista inglês Ernest Rutherford, que previra a sua existência em 1920. Essa comprovação foi realizada em 1932 pelo cientista inglês James Chadwick.

No livro aqui descrito, da pág 40 a 41 há um sucinto relato sobre o experimento feito por James Chadwick. Uma outra literatura que faz uma narrativa da descoberta do nêutron é Física Moderna de Paul A Tipler, Rio de Janeiro : ed Guanabara Dois S.A, 1981, p 214-217.

2 – *Os Fundamentos da Física* - Francisco Ramalho Junior, Nicolau Gilberto Ferraro e Paulo Antonio de Toledo Soares – 8ª ed. ver. e ampl. – São Paulo: Moderna, 2003. Volume 1.

O tópico de colisão, contido no capítulo 16, está inserida no 1º ano do Ensino Médio, no volume 1 dessa coleção.

Aqui o conceito de vetores está bastante presente, sendo inclusive uma condição necessária, a fim de se lograr êxito, tanto para a teoria como para a prática, isto é, a construção da parte teórica culminando com a realização da parte prática (todos os exercícios presentes). Da mesma forma, a parte gráfica é bem utilizada como outra forma de se calcular grandezas tais como impulso, quantidade de movimento, velocidades, etc.

Para o estudo da colisão, que neste livro é tratada como CHOQUE, é apresentado um diagrama que explicita as grandezas físicas a serem observadas e como elas se comportam, bem como os tipos de colisões em função dessas.

A natureza da colisão, neste livro, na grande maioria dos exercícios é unidimensional. No entanto encontramos três exercícios sobre colisões bidimensionais, onde um desses, exercício resolvido, serve de suporte para a realização dos outros dois.

Na página 322, desse livro, há um breve histórico sobre a conservação da quantidade de movimento, desde a concepção da idéia à sua importância, juntamente com outras leis físicas, no desenvolvimento tecnológico da nossa civilização.

3 - *Universo da Física - volumes 1, 2 e 3* - José Luiz Pereira Sampaio e Caio Sérgio Vasques Calçada- 2ª Edição – 2005 - Editora Saraiva

O assunto colisões neste livro encontra-se situado no capítulo 17, precedido pela CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO, a qual define o capítulo 16, no 1º ano do Ensino Médio.

Os autores tomam o máximo de cuidado, contextualizando previamente todas as competências a serem trabalhadas.

Eles começam a falar sobre a QUANTIDADE DE MOVIMENTO, fazendo um sucinto relato histórico de como e em que momento se deu o seu estudo. O mesmo acontecendo, também com o conceito de impulso. Sobre essas duas competências falam das características escalares e vetoriais. Em seguida fazem a junção dessas duas competências culminando no TEOREMA DO IMPULSO.

Resolvem vários exercícios, enfatizando bem o caráter vetorial dessas grandezas e vale-se de gráficos como forma de enriquecer, ainda mais, o estudo dessas competências e das várias grandezas envolvidas com elas. Ao término desses conteúdos mostram as muitas aplicações nos dias atuais inseridas nos grandes avanços tecnológicos, justificando a grande importância ^{que} tiveram, em trechos leves e objetivos. *FÍSICA?*

Já no estudo das colisões, os autores trabalham com três tipos de colisões: ELÁSTICA, PARCIALMENTE ELÁSTICA e INELÁSTICA. Trabalham com a conservação da energia cinética, conservação de quantidade de movimento e com o coeficiente de restituição. A colisão unidimensional é a mais exaustivamente trabalhada pelos autores. Dentro de todos os exercícios colocados nesse capítulo, somente quatro deles envolvem o uso de colisão bidimensional. Sendo um deles como exercício resolvido e os outros para serem feitos. No entanto, um dos três para serem feitos, está situado como sendo de aprofundamento.

Nos livros de Física, de volume único o problema da colisão se quer aparece.

Embora o conceito de colisão não apareça no livro texto da maioria das escolas públicas do ensino médio, a sua inclusão no plano de curso, poderia fazer uma grande diferença como uma habilidade a ser adquirida a fim de melhor compreender competências como pressão no estudo dos gases, temperatura, corrente elétrica, resistência elétrica, fenômenos luminescentes, pêndulo balístico e colisões com deformações nos carros atuais entre outras. Como a maioria das escolas públicas faz o seu plano de curso voltado para as vocações econômicas de cada região onde estão inseridas, o grupo docente, dessas instituições, ~~teriam uma~~ competência de grande importância, com uma imensa abrangência em várias aplicações tecnológicas do presente momento.

Capítulo 3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que na construção da mesa de ar, a fórmica a ser inserida não poderá ser a do tipo polido. Isto porque durante a filmagem ocorre o efeito indesejável de reflexão da fonte de luz, causando, como consequência, uma forte interferência na filmagem do evento. É preferível usar uma fórmica fosca e de cores claras. Uma mesa de ar branca com os corpos negros oferece um melhor registro do evento.

Quanto a fluabilidade dos corpos verificou-se que para os aspirador de pó utilizado, nesse projeto, torna-se mais eficiente para um distanciamento entre os furos de 2 cm a 3 cm. Isto porque com menos furos a vazão de ar é aumentada. No entanto o diâmetro dos corpos a serem utilizados deverá ser compatível com o espaçamento entre os furos.

Se o ambiente, onde será realizado a experiência possuir uma boa iluminação, a filmagem do evento poderá ser feita com uma boa ou razoável eficiência e é este o fato que irá determinar a qualidade na construção da fotografia estroboscópica. Quando o cenário da colisão é pouco iluminado faz com que a câmara fotográfica aumente o tempo necessário para acumular uma imagem em um fotograma. Nesse tempo aumentado o corpo muda de posição e temos assim uma imagem borrada, efeito muito parecido com o que vemos nos cartões postais noturnos em que há a presença de automóveis em movimento com suas luzes acesas.

Quando da construção da primeira mesa de ar, ao utilizar um compressor que possuo, não consegui obter êxito. Tal insucesso fez com que eu utilizasse um aspirador de pó, como já foi citado anteriormente, da observação feita dos laboratórios da física experimental, do IF da UFRJ. No entanto, os aspiradores de pó, neles utilizados, sofreram uma modificação, a qual eu não consegui fazer, vindo a danificar um velho aspirador que consegui com

familiares! Ao sair em campo, fiquei sabendo que algumas pessoas utilizavam o aspirador de pó para o enchimento de bolas de aniversário. Lembro-me que em certo domingo, ao ler um encarte do Ponto Frio, havia a descrição de um aspirador de pó que possuía duas funções: aspirar pó e poder encher bolas de aniversário. Querem uma dica melhor que essa?

Quando se pensou fazer tal projeto, havia uma real vontade de contribuir para o auxílio da construção de uma ferramenta que pudesse, além de facilitar uma boa forma de comunicação entre educando e educador, dar a qualquer professor a oportunidade de ter a sua própria ferramenta pedagógica. Tanto assim, que para um futuro, bem próximo, será feito uma espécie de manual, passo a passo, da fácil construção dessa ferramenta. Acreditando que, assim como eu, existam muitos outros educadores com esse mesmo ideal, pretendo deixar um endereço eletrônico, o qual venha a permitir uma salutar e bem vinda troca de idéias.

A realização que obtive com essa construção fez-me ver que assim como essa, muitas outras ferramentas podem e serão feitas, por qualquer professor que queira fazer diferença nessa banalização do “mesmismo”, que contribui para a depreciação dessa profissão que tem um enorme potencial de mudar hábitos e pessoas.

Para qualquer professor que queira construir essa mesa de ar, deverá investir, só de materiais (compensado, fórmica, parafusos, pregos, cola, molas e tubos de alumínio) um montante de R\$ 250,00, mais ou menos(essa estimativa foi feita por cima). Isso supondo que possua as ferramenta básicas usuais (martelo, serrote, furadeira, chaves de fendas e alicate). Contudo, faz-se necessário a utilização de outras ferramentas as quais poderão ser utilizadas para infinitas aplicações, dentre elas, a otimização da construção desse e muitos outros aparatos. Essas ferramentas já foram citadas anteriormente e, o montante do investimento foi de R\$550,00.

Há, também, dois programas disponíveis na internet que podem ser utilizados com a finalidade de motivar a apresentação, por parte do professor, de muitos fenômenos da Física, sem que haja a construção de qualquer experimento: o **modellus** e o **logo**. No entanto, esses dois programas requerem uma programação, para a realização do experimento que se deseja apresentar. Não é que seja algo difícil, pois não é. Porém todos os experimentos a serem realizados serão, sempre, idealizados, isto é, não apresentam todas as variáveis naturais que acontecem com uma prática real, “ao vivo e a cores”. A distância entre a teoria e a prática, dependendo do experimento, pode ser muito pequena ou bastante significativa a ponto de por em xeque toda uma teoria. Nada pode substituir um experimento onde após a sua concepção, quando posto em prática, é capaz de mostrar a riqueza de informações que estão por de trás do que se procura. Cria no se experimentador uma visão crítica, aguçando os sentidos quanto a todos os fatores que contribuem para o seu êxito ou o seu fracasso. E é esse tipo de visão que um educando deve ter a oportunidade de experimentar, a fim de poder construir em base sólida, no desenvolvimento das suas habilidades. Com isso, a toda nova competência, a que venha se deparar, ele será capaz de analisar com muito mais cuidado.

Referências

- 1 e 2. BRASIL, Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio - PCNEM, MEC, 2002
3. Fotografia Digital e as mudanças de hábitos, disponível em <http://compareja.zwer.com.br> acesso em 07/10/2009.
4. Marco Adriano Dias, Helio Salim de Amorim e Susana de Souza Barros, “Produção de Fotografias Estroboscópicas sem lâmpada estroboscópica”, Cad. Bras. Ens. Fís., v. 26, n. 3, 492-513
5. *VirtualDub* – <<http://www.virtualdub.org/index>>, acessado em 17/10/2009.
6. *ImageJ* - <<http://rsb.info.nih.gov/ij/>>, acessado em 17/10/2009.
7. Materiais e métodos < [WWW.subfisica.org.br/rebef/vol_04_a_01. pdf](http://WWW.subfisica.org.br/rebef/vol_04_a_01.pdf) >acessado em 07/10/2009.
8. MARCLEY, R. G. – Air suspended pucks for momentum experiments. *Am. J. Phys.*, 28:670 – 4, 1960. < [WWW.subfisica.org.br/rebef/vol_04_a_01. pdf](http://WWW.subfisica.org.br/rebef/vol_04_a_01.pdf) >acessado em 07/10/2009.
9. WHITNEY, W. M. – Theory of air – supported puck. *Am. J. Phys.*, 32 : 306 -12, 1964. < [WWW.subfisica.org.br/rebef/vol_04_a_01. pdf](http://WWW.subfisica.org.br/rebef/vol_04_a_01.pdf) >acessado em 07/10/2009.
10. ORIGIN - <[HTTP://www. originlab.com/viewer/dl.aspx](http://www.originlab.com/viewer/dl.aspx)> acessado em 23/03/2010.
11. ALVARENGA, Beatriz e MÁXIMO, Antonio. Curso de física /. Volume 2 – São Paulo: Scipione, 2000.

12. RAMALHO, Francisco Junior, FERRARO, Nicolau Gilberto e SOARES Paulo Antonio de Toledo. Os Fundamentos da Física/– 8ª ed. ver. e ampl. – São Paulo: Moderna, 2003

13. SAMPAIO, José Luiz Pereira e CALÇADA, Caio Sérgio Vasques. Universo da física - volumes 1, 2 e 3 - - 2a. São Paulo: Editora Saraiva, 2005.