

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE
FEDERAL RURAL
DE PERNAMBUCO



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL NO ENSINO DE FÍSICA -
MNPEF**

PRODUTO EDUCACIONAL

**ANISOTROPIA E HETEROGENEIDADE DO ATRITO SECO ENTRE SUPERFÍCIES:
UM ESTUDO EXPERIMENTAL COM APLICAÇÃO NO ENSINO MÉDIO**

Autor: Prof. Alan Clécio bezerra de Oliveira

Orientador: Prof. Dr.: Ramon Enrique Ramayo González

Recife

Dezembro/2018

Apresentação

Este manual deverá proporcionar uma experiência que relacione os conceitos físicos com a sua prática. Através de experimentos quantitativos e qualitativos realizar medições, gravar dados para análise.

Qualquer trabalho realizado em um laboratório apresenta riscos no manuseio do material, seja por imprudência do usuário, que poderá resultar em danos físicos e/ou materiais. Assim, deve-se tomar cautela na construção e manuseio dos equipamentos, verificar as condições das instalações onde será construído e onde será manuseado as atividades experimentais desenvolvidas com os alunos.

Estas experiências fornecerão uma sustentação para a aprendizagem significativa para solucionar problemas elementares. Todos os experimentos poderão ser interessantes e valiosos para os alunos, assim como a Física pode ser muito agradável.

Sumário

OBJETIVOS.....	4
SEQUENCIAS DIDÁTICAS.....	5
Estratégia adotata.....	5
Contribuições.....	5
Atrito estático e atrito dinâmico.....	6
DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	9
Montagem do experimento.....	9
Experimento 1.....	13
Experimento 2.....	15
DISCURSÕES.....	18
SUGESTÕES.....	19
Referências Bibliográficas.....	20

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo fazer uma abordagem sobre o coeficiente de atrito de forma mais abrangente, levando em consideração a anisotropia e a heterogeneidade do material utilizado.

A ideia partiu a partir do artigo “The Nature of the static and kinetic coefficients of friction” de autoria de Ernest Rabinowicz (1951), onde ele simula pequenos terremotos e os deslizamentos dos blocos que estão sobre a plataforma.

A partir dessa abordagem, fizemos a análise do livro didático adotado pela escola através do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), do Governo Federal. Os dois livros adotados pela escola, Compreendendo a Física – Alberto Gaspar vol 1 (2017) e Física – Conceitos e Contextos – vol 1, (2017) de Mauricio Petriocola, abordam o coeficiente de atrito como um número adimensional. Daí a ideia desse trabalho, uma forma de abordar outros conceitos onde não é abordado nos livros didáticos adotados por escolas no ensino médio.

O produto didático tem como objetivo de ser uma ferramenta didática onde o aluno e professor possa ter uma visão mais ampla ao estudo dos fenômenos envolvendo atrito, utilizando atividades experimentais e a plataforma em Excel.

Sequências didática

A Sequência Didática do produto é composta por aulas que foram ministradas no PROEMI (Programa Ensino Médio Inovador).

Trabalhamos de forma teórica os conteúdos relacionados ao atrito, seguindo o que os livros didáticos abordam, de forma tradicional e os conceitos utilizados e conhecidos pelos alunos. A seguir iremos abordar um pouco desses conceitos trabalhados no decorrer das intervenções sobre o trabalho.

Estratégia adotada

- I. Na primeira aula deve-se colocar o tema que será visto, pedindo para que os alunos citem situações do cotidiano que observam o atrito.
- II. Antes de iniciar o conteúdo sobre força de atrito, sugere-se fazer uma breve introdução sobre forças de contatos, matérias rugosos, atrito seco, apresentado aos alunos e fazendo com que os mesmos entendam seu significado.
- III. Conteúdos que serão trabalhados:
 - Forças de contato;
 - Tipos de material;
 - Rugosidade do matérias;
 - Atrito seco.

Contribuições

Abordar os conteúdos sobre a assunto.

O que é o atrito? Por que sempre que aplicarmos uma força a um corpo, sobre uma superfície, este acabará parando?

É isto que caracteriza a força de atrito:

- Se opõe ao movimento;
- Depende da natureza e da rugosidade da superfície (coeficiente de atrito);

- É proporcional à força normal de cada corpo;
- Transforma a energia cinética do corpo em outro tipo de energia que é liberada ao meio.

A força de atrito é calculada pela seguinte relação:

$$F_{at} = \mu N \quad (1.1.1)$$

Onde:

μ : coeficiente de atrito (adimensional)

N: Força normal (N)

Atrito estático e atrito dinâmico

Atrito Estático

É aquele que atua quando não há deslizamento dos corpos.

A força de atrito estático máxima é igual a força mínima necessária para iniciar o movimento de um corpo.

Quando um corpo não está em movimento a força de atrito deve ser maior que a força aplicada, neste caso, é usado no cálculo um coeficiente de atrito estático:

Então:

$$F_{at} = \mu_{est} N \quad (1.1.2)$$

Atrito Dinâmico

É aquele que atua quando há deslizamento dos corpos.

Quando a força de atrito estático for ultrapassada pela força aplicada ao corpo, este entrará em movimento, e passaremos a considerar sua força de atrito dinâmico.

A força de atrito dinâmico é sempre menor que a força aplicada, no seu cálculo é utilizado o coeficiente de atrito cinético:

Então:

$$F_{at} = \mu_d N \quad (1.1.3)$$

Também foi falado a importância do material e a rugosidade dos mesmos em relação ao materiais utilizados.

Atrito seco, também chamado de atrito de “Coulomb” descreve a componente tangencial da força de contato que existe quando duas superfícies se movem, ou tendem a se mover, uma relativa a outra.

Ângulo de atrito para certas aplicações é mais útil definir atrito estático em termos do ângulo máximo antes do qual um dos corpos irá iniciar o movimento: é o ângulo da horizontal e μ é o coeficiente de atrito estático entre os corpos Atrito temos:

$$\tan \theta = \mu \quad (1.1.4)$$

A força conhecida como *atrito* pode ser definida como: a resistência encontrada por um corpo ao se mover sobre outro.

A força de atrito se baseia nessas leis:

1ª Lei do Atrito: A força de atrito é proporcional à força normal;

2ª Lei do Atrito: A força de atrito é independente da área aparente de contato.

3ª Lei do Atrito: A força de atrito é independente da velocidade de deslizamento.

Além destas leis universalmente aceitas, da Vinci [Vinci, 1940] ainda havia registrado:

1. A força de atrito depende da natureza dos materiais em contato;
2. A força de atrito depende do grau de acabamento das superfícies em contato;
3. A força de atrito depende da presença de um fluido ou outro material interposto entre as superfícies;
4. A força de atrito aumenta com a pressão aplicada por um corpo contra o outro.

Em outro momento abordamos sobre anisotropia e heterogeneidade dos materiais. Fazendo uma abordagem sobre esses termos que não são citados na maioria dos livros didáticos.

A anisotropia é a característica de um meio, ou de um material, em que certas propriedades físicas serão diferentes conforme as diferentes direções onde esse material se encontra. Costuma-se designar qual a propriedade em que existe a anisotropia, por exemplo, anisotropia elétrica, óptica, magnética, mecânica.

A madeira é um exemplo de material anisotrópico com propriedades mecânicas que dependem da disposição das suas fibras. A madeira expande-se ou retrai-se de forma diferente às variações de umidade no ambiente, onde sejam considerados os sentidos

relativos de suas fibras. No sentido longitudinal ao eixo de uma tora, até no eixo transversal e radial, os fenômenos físicos comportam de forma diferente quando analisado um fenômeno nessas direções.

Outro tipo de propriedade que pode ocorrer nos materiais, é denominado **heterogeneidade**. Consiste que todos os materiais na sua forma microscópica, por mais polida que seja, exista irregularidades na sua superfície. Daí, essa propriedade interfere diretamente na força de atrito.

DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Montagem do experimento

Após as abordagens teóricas sobre força de atrito, coeficiente de atrito e anisotropia apresentamos o experimento e a montagem do mesmo. Tratamos o que realmente queríamos com aparato. A atividade experimental foi dividida em duas partes como será descrita a baixo.

Material utilizado

- Plataforma de plano inclinado
- Bloco de madeira, MDF e acrílico;
- Régua de 30 cm de comprimento;
- Superfície plana de madeira (tábua) de comprimento;
- Transferidores formando parte do plano inclinado e do martelo;
- Parafuso, porcas e arruelas;
- Plataforma digital no programa Excel.

Com o material acima mencionado, pode-se construir o experimento, seguindo os seguintes passos:

A montagem da plataforma foi feita toda de forma artesanal com a ajuda de um marceneiro. Nesse caso colocamos duas tabuas, onde uma fica como base e a outro inclinada. A parte onde inclina, utilizamos uma trava feita com parafuso, arruelas e porcas como mostra a figura 2.1. Essa trava tem o intuito de para a plataforma no ângulo crítico, isso é, quando o bloco entra em eminência de movimento sem nenhuma força externa.



Figura 2.1 – Trava da plataforma.

Nessa plataforma, foi colocado de forma perpendicular a base do experimento uma alavanca móvel, que batizamos de martelo como mostra a figura 2.3. Esse “martelo” é onde aplicamos a força externa que entra em contato com a plataforma giratória, daí, fazendo com que aconteça tremores e conseqüentemente os blocos que foram utilizados se movam. Uma plataforma giratória foi colocada na base do experimento, a mesma era feita de madeira, onde foi lixada de forma circular, dessa forma deixando as ranhuras da madeira o mais uniforme possível.



Figura 2.2 – Alavanca (martelo).

Os blocos utilizados foram (figura) de 3 materiais diferentes: madeira, MDF e acrílico. Tiveram uma área aproximada de 1 cm^2 .

Os experimentos foram divididos em dois, onde iremos descrever em detalhes a seguir.



Figura 2.3 – Experimento sendo manuseado por aluno.

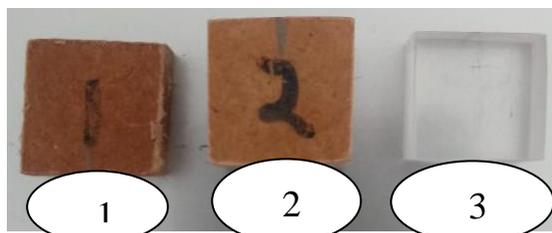


Figura 2.4 – Blocos utilizados para o deslizamento: 1 madeira; 2 MDF; 3 acrílico.

Primeiro foi pré-estabelecido os ângulos ortrópico da plataforma giratória, explicando o porquê da escolha desses ângulos e a importância para os resultados. Daí fizemos as medidas junto aos alunos dos ângulos críticos para cada anisotropia e material.

Utilizamos uma planilha no programa Excel onde colocamos todos os dados coletados, daí, encontramos os valores de μ_1 e μ_2 como mostra a figura 2.5. Foi abordado como seria utilizado esses valores na planilha, com as equações e os valores que desejávamos encontrar. Como parte do produto segue o link para o acesso a plataforma com as equações <https://drive.google.com/drive/folders/1FFF-863sG4jf98zk31R1qa7Fb0a6VvJ>.

Nessa plataforma utilizamos a seguinte equação para encontrarmos os respectivos valores.

$$\mu_2 = \mu_1 \sqrt{\tan \alpha \left(\frac{1 + \tan \varphi}{1 - \tan \varphi} \right)} \quad (2.1)$$

$$\tan \varphi = \frac{\mu_2^2 - \mu_1^2}{\mu_2^2 + \mu_1^2 (\tan \alpha)^2} \tan \alpha \quad (2.2)$$

As equações a cima foram colocadas na planilha do Excel como mostra a figura 2.5 explicando cada termo.

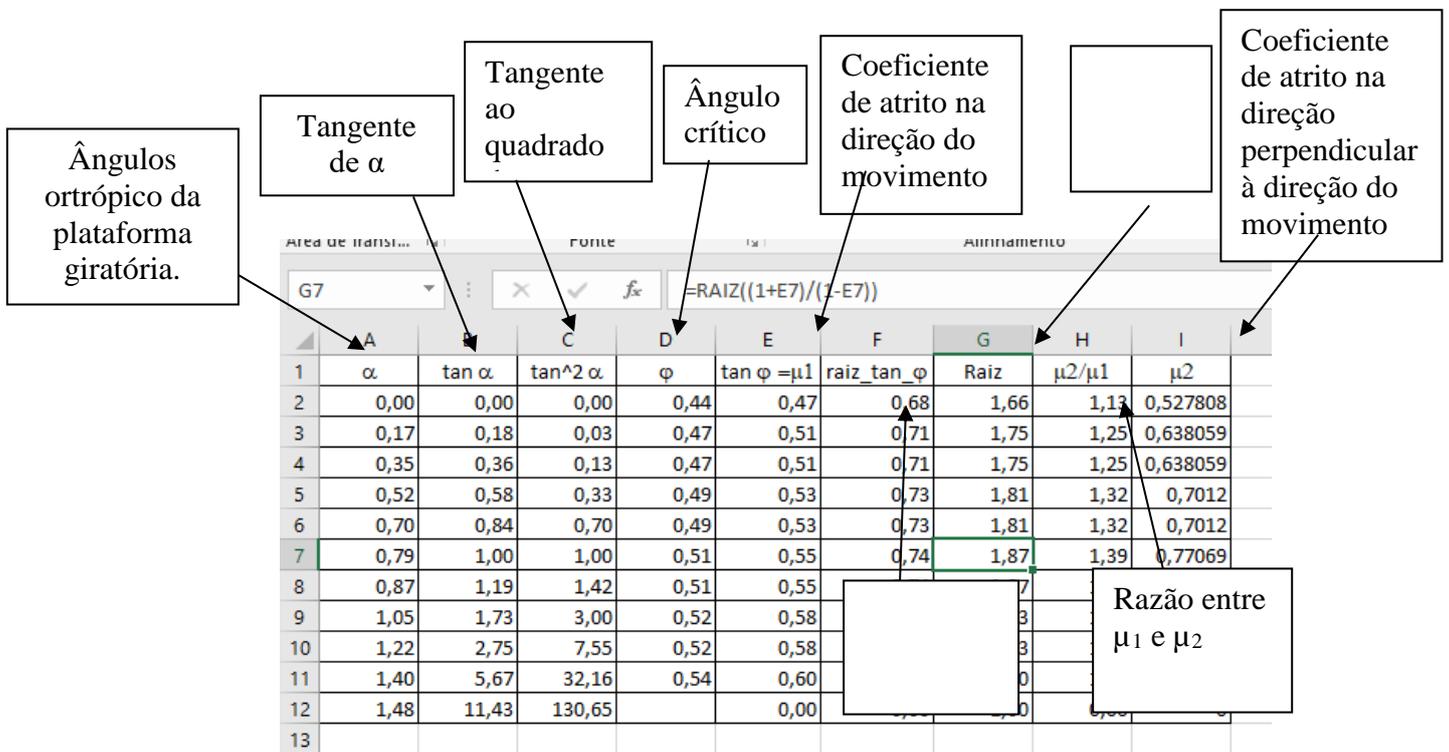


Figura 2.5 – Planilha no Excel, exemplificando cada termo.



Figura 2.6 – Montagem do experimento.

Experimento 1

Neste primeiro experimento, foram feitas as medidas para encontrarmos o ângulo crítico de deslizamento para cada ângulo ortrópico da plataforma giratória em contato com os materiais distintos. Foram usados madeira, MDF e acrílico que chamamos, respectivamente, de material 1, 2 e 3. Esse ângulo crítico, é o ângulo que o material em contato com a plataforma está em iminência de entrar em movimento sem nenhuma força externa. Como mostra a Figura 2.2.1.

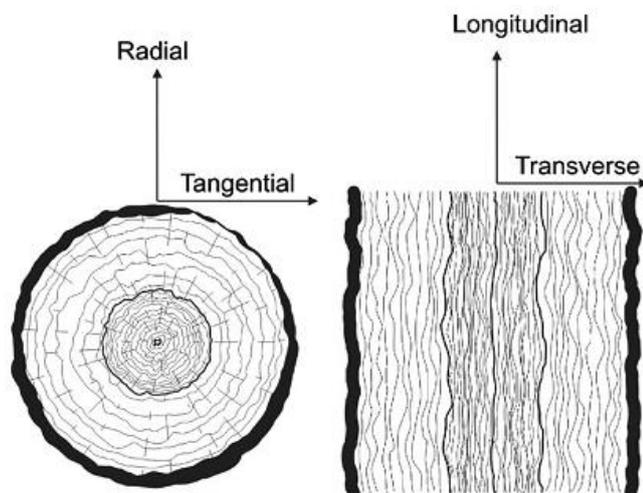


Figura 2.2.1 – Estruturas radial e tangencial da madeira.

Primeiro fizemos a análise para cada configuração, daí, para cada configuração encontramos um ângulo específico como mostram as tabelas 2.1.1 e 2.1.2:

Ângulo ortrópico (α)	Ângulo limite de deslizamento (ϕ) graus)		
	Material 1	Material 2	Material 3
10°	34	27	16
20°	37	27	16
30°	38	28	17
40°	40	28	18
45°	41	29	19
50°	42	29	20
60°	43	30	20
70°	44	30	21
80°	45	31	21
85°	46	32	21

Tabela 2.1.1 - Ângulo limite de deslizamento (ϕ) (Ângulo crítico) em relação aos ângulos anisotrópicos estimados (em graus).

Ângulo ortrópico (α)	Ângulo limite de deslizamento (ϕ) radianos)		
	Material 1	Material 2	Material 3
0,174533	0,593412	0,471239	0,279253
0,349066	0,645772	0,471239	0,279253
0,523599	0,663225	0,488692	0,296706
0,698132	0,698132	0,488692	0,314159
0,785398	0,715585	0,506145	0,331613
0,872665	0,733038	0,506145	0,349066
1,0472	0,750492	0,523599	0,349066
1,22173	0,767945	0,523599	0,366519
1,39626	0,785398	0,541052	0,366519
1,48353	0,802851	0,558505	0,366519

Tabela 2.1.2 - Ângulo limite de deslizamento (ϕ) (Ângulo crítico) em relação aos ângulos anisotrópicos estimados (em radiano).

Encontrado os valores do ângulo crítico para cada caso, foi explicado aos alunos o porquê que em cada caso esse ângulo mudar. Discutimos a questão da anisotropia, que a força de atrito depende da direção do movimento e o tipo de material utilizado.



Figura 2.2.1 - Medidas dos ângulos críticos, materiais distintos.

Experimento 2

Na segunda parte do experimento, fizemos as medidas das distâncias percorridas pelos blocos na plataforma. Foram feitas medidas das distâncias para cada anisotropia existente, como foi mostrado nas tabelas 6.2, 6.3, e 6.4 da dissertação.

Neste experimento consiste em encontrar as distâncias de deslocamento dos blocos a partir de uma perturbação externa. Essa perturbação foi feita através da alavanca (martelo) em ângulos de inclinação pré-estabelecido, nesse caso estabelecemos os ângulos de 45 e 60 graus. Para cada ângulo ortrópico, foram feitas as medidas com os ângulos estabelecidos da alavanca como mostra a figura 2.3.1.



Figura 2.3.1 - Medidas das distancias de deslocamento.

A tabela 2.3.1 é o modelo em que pode ser utilizada para coleta de dados. Em algum trabalho futuro ou utilizados por outros professores, fica a critério de quem irá fazer o experimento a quantidade de medidas de deslocamento, os ângulos ortrôpicos, o ângulo de inclinação do martelo. Esses ajustes podem ser feitos conforme o material do bloco ou o que deseja ser estudado

Ângulo ortrôpico (α)		Ângulo crítico (θ_c)		Medida do deslocamento (deslizamento) do bloco (cm)										
				M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	
Graus	Radianos	Graus	Radianos											
0														
10														
20														
30														
40														
45														
50														
60														
70														
80														
85														

Tabela 2.3.1- Modelo da tabela utilizada para a coleta dos materiais.

				Medida do deslocamento (deslizamento) do bloco (cm)									
Ângulo ortrópico (α)		Ângulo crítico (θ_c)		M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10
Graus	Radianos	Graus	Radianos										
0		25		4,2	5,0	4,8	4,3	5,6	4,7	4,3	5,2	4,9	4,4
10	0,174533	27	0,471239	4,3	4,2	3,9	5,5	4,8	4,8	4,5	5,1	4,7	4,0
20	0,349066	27	0,471239	4,8	5,3	4,5	4,2	4,9	4,3	5,5	6,1	5,1	4,2
30	0,523599	28	0,488692	5,1	4,2	4,7	4,6	5,4	4,8	5,3	5,0	4,4	4,3
40	0,698132	28	0,488692	4,5	4,3	6,7	5,4	5,0	5,3	4,6	4,9	5,1	5,3
45	0,785398	29	0,506145	5,2	4,9	5,5	4,6	4,3	4,7	5,3	5,2	4,7	4,2
50	0,872665	29	0,506145	6,3	4,9	5,0	5,3	4,6	5,2	4,7	4,2	4,8	5,1
60	1,0472	30	0,523599	4,8	5,2	4,7	4,5	5,6	5,0	5,5	4,6	4,9	5,1
70	1,22173	30	0,523599	4,7	4,2	4,8	5,3	4,9	5,6	5,8	5,1	5,4	4,8
80	1,39626	31	0,541052	3,9	4,1	4,5	4,7	4,2	3,5	3,8	4,3	4,6	4,1
85	1,48353	32	0,558505	4,2	4,5	3,8	3,5	4,3	5,2	4,9	4,3	4,7	3,9

Tabela 2.3.2- Exemplo - Material 2 (mdf) ângulo de impacto da alavanca 45 graus.

A Energia potencial aplicada pela a alavanca do experimento era a força externa que fazia com que o bloco deslizesse na plataforma. Variamos esse movimento em dois ângulos distintos. Quanto maior esse ângulo, maior a energia potencial aplicada da alavanca na plataforma.

DISCUSÕES

As atividades experimentais têm essa importância de mostrar como os fenômenos naturais ocorrem e como podem nos mostrar resultados diferentes para cada caso, tanto na mudança de matérias como na configuração do sistema.

Primeiramente abordamos de forma clássica os temas relacionados ao atrito com os alunos. Depois dessa intervenção, apresentamos o experimento e de como iríamos trabalhar com o mesmo para a obtenção dos dados. Após a coleta dos dados, foram feitas as análises e apresentados aos alunos os resultados, mostrando cada caso.

No primeiro experimento o atrito depende da direção do movimento, da orientação de como o corpo desliza sobre a plataforma. A madeira utilizada influencia, já que são materiais onde existe várias “ranhuras” naturais, e o ângulo que é utilizado irá influenciar no movimento do mesmo, quanto mais rugoso o material, maior será o seu ângulo crítico.

Na segunda parte do experimento, onde fizemos medidas das distâncias de deslocamento dos blocos quando foram aplicadas forças externas. O atrito estático depende da rugosidade dos materiais que estão em contato. Os materiais mais lisos (bem polidos), tendem a percorrer distâncias maiores, isso se dá por que sua superfície é bem polida e por isso não ocorre uma “agarrão” maior entre os materiais em contato, que foi o caso do acrílico.

O objetivo desse trabalho é mostrar aos alunos do ensino básico, precisamente alunos do ensino médio, que a força de atrito e o coeficiente de atrito depende de vários fatores. Observamos que a anisotropia e as superfícies dos materiais terão influência no coeficiente de atrito.

A problematização maior é abordar assuntos do ensino médio de forma diferente de como tratam os livros didáticos, desafio esse para os professores de ciências. A forma básica que tratam alguns tópicos de física na educação básica, faz com que a ciência e o próprio aluno percam um pouco da beleza que ocorre nos fenômenos físicos. Alguns livros didáticos abordam o atrito geral para todos os casos, não levando em conta as várias situações em que esses corpos podem estar em contato. A física experimental, utilizada como ferramenta didática, traz essa abordagem para uma discussão qualitativa dos fenômenos trabalhados em sala de aula.

SUGESTÕES

Se tratando de um experimento, algumas situações podem ser alteradas ou melhoradas perante o produto.

As análises que fizemos foram de 3 materiais, mas poderíamos utilizar outros materiais distintos e fazermos as análises das anisotropias e heterogeneidade desses materiais escolhidos.

O tamanho da plataforma que montamos foi um tamanho portátil, daí tínhamos como utilizarmos em qualquer local. Para uma análise do experimento 2, seria interessante um aparato com um tamanho maior, onde os materiais mais polidos poderiam deslizar o máximo do percurso sem parar. Esse tamanho poderia ser em torno de 1 m² de área. Nesse caso precisaria de um local onde essa plataforma fosse fixa, pelo tamanho não seria fácil o seu manuseio em sala de aula.

A plataforma giratória poderia ser mecanizada com algum tipo de motor utilizando algum programa computacional, isso é uma forma de controlar melhor os ângulos ortróticos da mesma.

4 Referências Bibliográficas

BEER, Ferdinand P.; JONHSTON, Jr., E. Russel & EISENBERG, Elliot R. Mecânica Vetorial para Engenheiros – Estática, Rio de Janeiro, McGraw Hill, 2006, 622p. ISBN 85-86804-45-2.

BORESI, Arthur P.; SCHMIDT & Richard J. Estática, São Paulo, Thomson, 2003, 673p. ISBN 85-221-0287-2. CZICHOS, H. Tribology – a systems approach to the Science and technology of friction, lubrication and wear. Elsevier, Amsterdam, 1978. p. 4, ISBN 0-444-41676-5.

DOWSON, D. History of Trybologi. London, Longman, 1979. p. 99. 1979. ISBN 0-582-44766-4 DOWSON, D. Wear oh where? Wear, v.103, p. 189 -203. 1985.

DUGAS, René. A History of Mechanics. New York, Dover, 1988, pp 319 – 322. FEYNMAN, R.; P. Leighton & SANDS, M. The Feynman Lectures on Physics, 1970. ISBN 0-201-02115-3.

FRANÇA, Luis Novaes Ferreira & MATSUMURA, Amadeu Zenjiro, Mecânica Geral 2a Edição, São Paulo, Edgard Blücher Ltda: Instituto Mauá de Tecnologia, 2004, 235p. ISBN 85-212-0341-1.

HUTCHINGS, I. Tribology, friction and wear of engineering materials. Edward Arnold, London, 1992. p. 23, 1992. ISBN 0-340-56184-X.

TENENBAUM, Roberto A., Dinâmica Aplicada. 3a Edição Revisada e Ampliada. Barueri, Manole, 2006, 792 p. ISBN 85-204-1518-0.

VINCI, Leonardo da. I Libri di Meccanica [Comp] Arturo Uccelli. Milão, Ulrico Hoepli, 1940. 673p.

VINCI, Leonardo da. Leonardo da Vinci. New York, Reynold, sd. 538 p.

WOLFF, Jeferson Fernando de Souza. **O Ensino da Teoria da Relatividade Especial no Nível Médio: Uma Abordagem Histórica e Conceitual**. 2005. 175 p. DISSERTAÇÃO (MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA)- UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, PORTO ALEGRE-RS, 2005. Disponível <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7235/000497145.pdf?sequence=1>>.

MÜLLER, M. G. et al.; Implementação do método de ensino Peer Instruction com o auxílio dos computadores do projeto “UCA” em aulas de física do ensino médio. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Porto Alegre, v. 29, n. Especial 1, p. 491-524, set. 2012.

NASCIMENTO, Tiago Lessa. Repensando o ensino da Física no ensino médio / Tiago Lessa do Nascimento. Fortaleza, 2010.

RABELO DE SÁ, Marcos Ribeiro. Teoria da relatividade restrita e geral ao longo do 1º ano do ensino médio: uma proposta de inserção / Marcos Ribeiro Rabelo de Sá; orientadora Vanessa Carvalho de Andrade; co-orientadora Maria de Fátima da Silva Verdeaux. -- Brasília, 2015.

RESENDE, Sergio M. et al. (Org.). **A Física no Brasil**: Sociedade Brasileira de Física. 1ª. ed. São Paulo: Liber Gráfica e Editora LTDA, 1987. 284 p. v. 1. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/Livros-e-Estudos/A-Fisica-no-Brasil.pdf>.

SANTOS, Madge Bianchi dos. **Uma sequência didática com os métodos Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) e Ensino sob Medida (Just-in-time Teaching) para o estudo de Ondulatória no Ensino Médio** . 2016. 174 p. Dissertação (Mestre em Ensino de Física do PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA)- UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL , Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/156802>>.