

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



**UNIVERSIDADE
FEDERAL RURAL
DE PERNAMBUCO**



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

Alan Clécio Bezerra de Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da UFRPE no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Ramón Enrique Ramayo González

Recife-PE
Dezembro de 2018

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

Alan Clécio Bezerra de Oliveira

Orientador:
Ramón Enrique Ramayo González

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da UFRPE no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

Dr. Ramon Enrique Ramayo Gonzalez
Membro Interno - UFRPE

Dr. Wictor Carlos Magno
Membro Interno - UFRPE

Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez
Membro Externo - UFPE

Recife-PE
Dezembro

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

O48a Oliveira, Alan Clécio Bezerra de
Anisotropia e heterogeneidade do atrito seco entre superfícies: um estudo experimental com aplicação no ensino médio / Alan Clécio Bezerra de Oliveira. – 2018.
77 f.: il.

Orientador: Ramón Enrique Ramayo González.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Recife, BR-PE, 2018.
Inclui referências e apêndice(s).

1. Física - Estudo e ensino 2. Motivação na educação 3. Física (Ensino médio) I. González, Ramón Enrique Ramayo, orient. II. Título

CDD 530.07

À Dona Mariinha, por todo amor,
paciência e gratidão.
Ao nosso eterno camarada Paulo
Victor (in memoriam), com todo
incentivo e alegria contagiante que
transmitia.

Agradecimentos

Agradeço ao orientador Prof. Dr. Ramón Enrique Ramayo González, ao convite do trabalho, as orientações, paciência e dedicação para a elaboração desse trabalho.

À minha família, em nome de minha avó Dona Mariinha, tio Osmar, tia Rita, tio Orlando, as primas Ruanna, Raiza, Roxana, Elton e Erik, por sempre apoiar e incentivar nas jornadas acadêmicas e profissionais.

Aos meus companheiros de turmas Wilker, Jackson, Janailson, Robson, Jackeline, Airton e João, pelo prazer de conhecer e enfrentarmos essa batalha juntos. Ao longo desses anos enfrentando essa jornada árdua, de alegrias, tristezas e vitórias.

Agradeço aos professores que fazem parte do departamento de Física da UFRPE, em especial Adauto, Mike, Anderson, Pedro Hugo, Nairon, Miranda e Alexandro, por toda dedicação e empenho nas aulas ministradas no curso. Não poderia esquecer os professores da Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE-UAG), onde começamos o nosso curso, Professora Conceição, Professor Wellington e Alberto.

Aos amigos/irmãos de uma vida, não poderia esquecer de agradecer a todos pelo companheirismo, atenção carinho e amor que depositam nesse ser. Sempre presentes nesse e em outros momentos: Alberes, César, Felipe, Fred, Andrew, Denilson, Wellane, Taciana, Clarissa, Jammyla, tio Abraão, tia Betânia, Rodrigo, Hugo, Rodrigo Monteiro, Nelson, Júlio Carneiro, Ricardo, Marcelo, Daiane, Andrea, Jorge, Gildo, Romulo e Marcilio. As crianças Valentina, Antônio e Artur, com toda pureza e alegria em nosso convívio.

Venho agradecer ao amigo Paulo Couto, com o seu talento na arte com a madeira, foi de extrema importância para a criação do experimento.

Agradeço a todos que fazem parte da Escola José Lins de Figueirêdo: Alunos, professores, administração e serviços gerais. Pelo desempenho e dedicação em tornar a escola em um ambiente prazeroso para o desenvolvimento das práticas docentes.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

A todos que, de alguma forma, ajudaram a plantar, cultivar e colher os frutos desse trabalho.

“[...] sou como rês desgarrada,
Nessa multidão boiada caminhando
a esmo”.

Dominguinhos e Gilberto Gil

RESUMO

As atividades experimentais tomaram uma importante função, dentro do processo de aprendizagem no ensino de Ciências nos últimos anos, principalmente no ensino de Física. Este trabalho consiste em um estudo investigativo sobre o coeficiente de atrito, com turmas de alunos da educação básica, especificamente, alunos do nível médio. Essa investigação consistiu na montagem de um experimento, a partir da construção de uma plataforma móvel sobre um plano inclinado. Foram estudados os fenômenos do atrito, levando em consideração a anisotropia das superfícies, em contato entre blocos de materiais distintos (MDF, madeira e acrílico) e a plataforma. O trabalho foi aplicado na Escola José Lins de Figueirêdo, da rede pública do município de Altinho-PE, com alunos dos três anos do ensino médio. Utilizamos a metodologia de ensino por investigação, em que foram abordados os temas sobre atrito, de forma teórica. Após isso, fizemos a investigação através das atividades experimentais. As análises dos resultados com os alunos foram todas de caráter qualitativo, abordando o tema e discutindo os resultados dos fenômenos em sala de aula. Estas análises foram divididas em dois experimentos: no primeiro, encontramos o ângulo crítico de deslizamento para cada ângulo ortotrópico da plataforma; no segundo, foram analisadas as distâncias percorridas pelos diferentes blocos sobre a plataforma, após o equilíbrio ter sido perturbado por um impacto externo, em cada um dos experimentos anteriores. Os resultados obtidos foram satisfatório e mostraram que o coeficiente de atrito estático entre as superfícies dos materiais utilizados, possui características diferentes em função da direção preferencial de movimento, evidenciando a anisotropia e heterogeneidade desta grandeza.

Palavras-chave: ensino por investigação, coeficiente de atrito, heterogeneidade.

ABSTRACT

Experimental activities have played an important role in the learning process in teaching science in recent years, especially in physics teaching. This work consists of an investigative study on the coefficient of friction with classes of students of basic education, specifically students of the middle level. This investigation consisted in the assembly of an experiment from the construction of a mobile platform on an inclined plane. The friction phenomena were studied taking into account the anisotropy of the surfaces in contact between blocks of different material (mdf, wood and acrylic) and the platform. The work was applied at the José Lins de Figueirêdo School of the public network of the municipality of Altinho-PE, with students of the three years of high school. We used the methodology of teaching by investigation, where the topics on friction were approached theoretically. After that, we did the research through the experimental activities. The analyzes of the results with the students were all qualitative, addressing the theme and discussing the results of the phenomena in the classroom. These analyzes were divided in two experiments: in the first, we find the critical angle of slip for each orthotropic angle of the platform; in the second, the distances traveled by the different blocks on the platform were analyzed after the equilibrium had been disturbed by an external impact in each of the previous experiments. The results obtained were satisfactory and showed that the coefficient of static friction between the surfaces of the materials used has different characteristics as a function of the preferential direction of movement, evidencing the anisotropy and heterogeneity of this magnitude.

Key-words: research teaching, coefficient of friction, heterogeneity.

SUMÁRIO

Capítulo 1 INTRODUÇÃO	10
Capítulo 2 - O ENSINO DE FÍSICA NO BRASIL	12
2.1 A Importância de atividades experimentais no ensino de física.....	14
Capítulo 3 - ATRITO	18
3.1 Estudos históricos sobre o atrito	18
3.2 Atrito anisótropo e heterogêneo.	20
Capítulo 4 - ENSINO POR INVESTIGAÇÃO.....	24
4.2 Educar em sala de aula	25
Capítulo 5 - METODOLOGIA	29
5.1 Tipo de pesquisa	29
5.2 Local da pesquisa.....	29
5.3 Pessoas envolvidas na pesquisa	30
5.4 Aparato e método de coleta dos dados.....	30
Capítulo 6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	35
6.1 Resultados didáticos	35
6.2 Resultados dos experimentos.....	36
6.2.1 Experimento 1.....	36
6.2.2 Experimento 2.....	40
Capítulo 7 - CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
APÊNDICE A	Erro! Indicador não definido.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O cenário escolar atual está, cada vez mais, associado às incertezas, à diferença e a constantes desafios. Da escola se exige uma formação ajustada com o mundo moderno, no sentido de garantir uma formação, para o enfrentamento do que se espera encontrar depois dela. Isso fica mais claro em um ambiente de instabilidade econômica e aumento do desemprego. A importância da escola e da educação, domina os discursos em todas as áreas: econômica, empresarial, política, governamental e acadêmica. Será que os anseios e o papel da escola na construção de uma sociedade são claros? Será que todos falam, efetivamente, da mesma coisa? Infelizmente a adesão dos alunos à formação da ideia escolar está se enfraquecendo. Ou seja, o modelo escolar atual parece estar cada vez menos capaz de atender às expectativas dos seus alunos.

O ensino médio é o que mais sente essa cobrança social, uma vez que seu término acontece na idade em que os jovens normalmente entram no mercado de trabalho, além de representar o elemento fundamental para os que possuem objetivos de uma profissão, de nível superior ou profissionalizante. Ocorre, contudo, que um ensino apoiado somente no acúmulo de saberes, acaba atendendo apenas a uma pequena parcela, que terá a chance de prosseguir seus estudos.

Um assunto admirável da LDB/96 é a nova identidade dada ao ensino médio: a de etapa final da educação básica. Isso estabelece, entre outras coisas, que esse nível de ensino não permaneça direcionado exclusivamente à preparação para o vestibular, tampouco para uma formação profissional, muito embora esses princípios não sejam ignorados na lei. Da forma como foi definido, o ensino médio precisaria garantir a formação universal, suficiente para que o aluno pudesse decidir sobre seu futuro profissional ou acadêmico. No entanto, isso parece bem longe de acontecer, pois a escola ainda não aliou esse contexto em seus projetos. Embora os Parâmetros Curriculares deem orientações, que resumem algumas escolhas que as pesquisas na área de ensino vinham recomendando e contemplem as expectativas desse novo modelo de ensino médio, raramente são discutidos no meio escolar e, por isso, suas sugestões se encontram afastadas da sala de aula.

Ao longo desses anos, como professor de ciências, especificamente, professor de física do ensino médio, tive a oportunidade de me encontrar com inúmeros desafios,

inseparáveis ao ofício dos professores de ciências. Como educador, pude vivenciar o trabalho dos professores sem formação em física. A partir dessa visão, pude refletir sobre as relações postas no contexto escolar, o papel da docência, a importância da formação acadêmica para o ensino de física, do aluno, da escola e da sociedade. Também tive a oportunidade de conhecer a proposta do ensino de química, utilizando atividades investigativas, quando estava estudando as disciplinas do mestrado.

A aprendizagem dos alunos também me chamava atenção. Porque, apesar de tanto esforço, os alunos não apresentavam vontade de estudar física? Que modificações na metodologia poderiam ser feitas para centralizar o ensino no aluno, motivar, dar condições dos próprios alunos se tornarem responsáveis, determinados e críticos? Que condições eu poderia inventar para permitir o desenvolvimento intelectual dos alunos?

Debater o avanço no ensino de física, ministrado ao longo da vida escolar e acadêmica, tendo como subsídio a visão do professor, ajudará a buscar práticas que melhorem o desenvolvimento cognitivo dos alunos, a partir de um ensino mais proeminente e criativo. Para que aconteça uma aprendizagem significativa, é preciso o envolvimento de professores e alunos, ponderando os meios que interferem nessa aprendizagem, como o livro didático, a experimentação e as novas tecnologias.

Capítulo 2

O ENSINO DE FÍSICA NO BRASIL

Há muitos anos, várias dificuldades e problemas afetam o sistema brasileiro de ensino, e em particular, o ensino de física, que tradicionalmente é considerado pelos professores, uma disciplina difícil de ser ensinada e, conseqüentemente, de ser entendida pelos alunos. Em função disso, nos últimos anos, o Ministério da Educação, articulado com a sociedade brasileira, passou a refletir sobre as causas e conseqüências, coordenando um grande esforço nacional, no sentido de discutir o modelo curricular em vigência e propor novas abordagens, incorporando os avanços no campo da pedagogia e psicologia. Em suas propostas, defende um ensino contextualizado e interdisciplinar, onde as disciplinas devem se relacionar, devendo, ainda, desenvolver competências e habilidades que incentivem o raciocínio e a capacidade de entender, ou seja, devem ser empregadas estratégias metodológicas que estimulem a aprendizagem, gerando, assim, o conhecimento.

Segundo Pedrisa (2001); Diogo, Gobara (2017), o ensino de física no país está influenciado pela ausência da prática experimental, vínculo excessivo do livro didático, método expositivo, carga horária reduzida, currículo desatualizado e profissionalização insuficiente do docente.

Nas escolas públicas do Brasil, especificamente, o ensino de ciências ainda é profundamente influenciado pela carência de laboratório de ciências, pela má formação docente, muitas vezes professores de outras áreas ministrando aulas de física, falta de recursos tecnológicos e desvalorização do professor. E todos esses fatores se transformam em um empecilho pedagógico, a conseguir do ensino e aprendizagem da Física, nos diferentes níveis da educação básica, com impacto negativo sobre o entendimento e o interesse pelos fenômenos naturais.

No que diz respeito à disciplina de física, uma das estratégias metodológicas é a utilização do laboratório didático de física, que deve ser considerado como uma ferramenta didática, para melhorar o entendimento do aluno de fenômenos, fazendo com que o discente passe a ver, através da utilização de experimentos, a física presente em seu dia a dia, como algo que instigue sua curiosidade, promovendo o interesse de indagar e tirar conclusões, deixando, assim, de ser uma disciplina cheia de leis, conceitos e exercícios recorrentes, onde a maioria vê como algo vazio de significado,

minimizando, assim, as dificuldades de se aprender e de se ensinar Física, de modo significativo. Essa visão de laboratório didático é proposto pelos PCN's (Parâmetros curriculares Nacionais), desenvolvidos pelo Ministério da educação, um laboratório problematizador, que cria situações problema e tentativas de resolver, e não apenas uma proposta realizada com o intuito de examinar, através de atividades experimentais, apenas leis e teorias previamente determinados, onde, muitas vezes, o aluno não tem tempo de entender ou relacionar o significado das atividades.

No campo do ensino de física, o método educacional pode partir da curiosidade de apreender os fenômenos físicos, ou ainda, por estímulos externos, vindos do meio social ou de instituições de ensino. Assim, a escola se torna vetor privilegiado de disseminação dos conhecimentos físicos. Seu ensino deve estimular, causar e propiciar aprendizagens significativas para a vida dos estudantes, devendo quebrar com os modelos tradicionais de ensinar, principalmente física, com vistas à superação de uma representação desta área de conhecimento como difícil e complexa.

Para seu artigo “Memórias da Educação em Ciências no Brasil: A pesquisa em ensino de Física uma retrospectiva sobre a pesquisa em ensino de Física no Brasil”, Nardi (2004) consultou registros elaborados nas últimas décadas, como artigos, atas de eventos, relatos em grupos de pesquisa e entrevistas recentes, feitas com pesquisadores, permitindo recuperar o trajeto da pesquisa em ensino de Física no Brasil. Dentre as informações analisadas na pesquisa, os artigos de Almeida Junior (1979, 1980) que tratam da evolução do ensino de física e analisam os primeiros encontros sobre ensino de física que ocorreram na década de 70 (Simpósios); os estudos de Villani (1981, 1982), que caracterizam a pesquisa em ensino de Física na década de 80 e o de Barra e Lorenz (1986), que fez um levantamento bibliográfico do material didático de ciências, produzido no período de 1950 a 1980. Foram analisados, também, relatos registrados em outras décadas (Moreira, 1977; Rodrigues e Hamburger, 1993), que descrevem sobre os dois primeiros grupos de ensino de física que se consolidaram no Brasil: Universidade de São Paulo e o Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, atas dos primeiros encontros científicos nacionais de ensino de Física, os SNEF, os encontros nacionais de pesquisa em ensino de Física (EPEF).

A partir de 1980, o ensino de ciências era exclusivamente teórico e alguns professores não tinham formação na área para lecionar a disciplina, ficando atrelados à uma visão tradicional de ensino. Com o passar dos anos e o aparecimento de novos padrões de ensino, professores de física entenderam que poderiam ensinar a disciplina

de forma conceitual, não se prendendo apenas às equações, tendo em vista que os alunos teriam um melhor rendimento.

Hoje em dia, a disciplina de física é lecionada a partir do ensino médio, tendo apenas uma pequena base de forma conceitual, no final do ensino fundamental, especificamente no nono ano, na disciplina de ciências. Os currículos tradicionais, apesar de algumas exceções, ainda prevalecem no Brasil, principalmente na rede pública de ensino. Ponderando que o objetivo dos cursos fundamentados nesse tipo de currículo, primeiramente é transmitir informação, ao professor cabe apresentar a matéria de forma atualizada e organizada, com o objetivo de que o aluno assimile o conteúdo que lhe foi apresentado.

2.1 A Importância de atividades experimentais no ensino de física

Como resultado dos últimos anos de pesquisas, concluiu-se que a Física continua ganhando uma conotação empirista-indutivista, e as atividades experimentais são utilizadas como estratégias metodológicas que seguem o processo habitual de ensino-aprendizagem. Ou seja, neste processo, o aluno detém pouco ou nenhum conhecimento, daí o professor deve transmitir e intermediar o conhecimento científico. Neste sentido, as atividades experimentais seguem o método científico e funcionam como exercícios de fixação, dos conteúdos trabalhados em sala de aula. Mesmo que sejam capazes de causar aos alunos de todas as séries porque proporcionam uma distinção da metodologia usual, do quadro e livros, as metodologias de reprodução empregadas, não estimulam a criatividade e a capacidade de análise julgamento dos estudantes.

Moreira (2000) ressalta que esta sistemática é reforçada pelos livros didáticos, que apoiam a visão empirista-indutivista da ciência e apresentam o método científico, como único artifício apropriado para promover o conhecimento, que geralmente é considerado pronto, indiscutível. Aliás, o livro didático determina uma sequência, quantidade e o nível dos conteúdos a serem trabalhos.

As atividades experimentais sempre estiveram presentes no contexto didático metodológico, contribuindo para o ensino das ciências, em geral. Em particular, os professores de Física revelam uma preocupação maior com o uso dessa metodologia porque os alunos, em geral, não gostam da disciplina, mas gostam de realizar experimentos no laboratório. E a motivação é um dos pilares de sustentação da eficiência do processo ensino aprendizagem e as atividades experimentais desempenham essa função muito bem. De acordo com Araújo e Adib,

[...] de modo convergente a esse âmbito de preocupações, o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente (ARAUJO e ADIB, 2003, p. 02).

Os autores Seré, Coelho e Nunes (2003) indagam a questão das atividades experimentais, destacando a sua importância, pois segundo eles, essas atividades propiciam ao estudante a capacidade de se interagir com o mundo científico, sendo atividades consideradas enriquecedoras e que proporcionam um verdadeiro sentido ao mundo abstrato e formal das linguagens, além de possibilitar técnicas de investigação e de formar um olhar mais crítico sobre as respostas obtidas.

Segundo o pensamento de Alves Filho,

A experimentação é um fazer elaborado, construído, negociado historicamente, que possibilita através de processos internos próprios estabelecer “verdades científicas”. “Assim[...] passaram [os investigadores] a dar importantes contribuições para a nova tendência ao experimentalismo, pois um dos traços característicos da revolução científica é a substituição da “experiência” evidente por si mesma que formava a base da filosofia natural escolástica por uma noção de conhecimentos especificamente concebidos para esse propósito.” (HENRY, 1998 apud ALVES FILHO, 2000^a, p.150.).

Assim, é preciso argumentar a importância dessas atividades para o ensino desta ciência, que podem permitir o desenvolvimento das habilidades e despertar o cognitivo dos alunos, além de proporcionar ao professor, momentos de aprendizagem, contribuindo, dessa forma, com a sua postura didática.

O laboratório didático introduz elementos específicos, que facilitam o reconhecimento do contexto escolar, e aumentam a probabilidade e a necessidade dos alunos utilizarem argumentos mais adequados e completos, cuja estrutura se aproxima mais da estrutura dos argumentos científicos, em suas respostas a problemas e questões escolares (VILLANI e NASCIMENTO, 2003, p. 206).

Amaral (1997) aponta que as atividades experimentais, desenvolvidas juntamente com outras práticas metodológicas, vão desempenhar um papel muito importante para o aperfeiçoamento dos conceitos científicos, proporcionando, assim, uma melhora na compreensão e no entendimento dessa ciência.

[...] ajudar a compreender as possibilidades e os limites do raciocínio e procedimento científico, bem como suas relações com outras formas de conhecimento; criar situações que agucem os conflitos cognitivos no aluno, colocando em questão suas formas prévias de compreensão dos fenômenos estudados; representar, sempre que possível, uma extensão dos estudos ambientais quando se mostrarem esgotadas as possibilidades de compreensão de um fenômeno em suas manifestações naturais, constituindo-se em uma ponte entre o estudo ambiental e o conhecimento formal. (AMARAL, 1997, p. 14).

As experiências, de alguma forma, estão ligadas ao ser humano, visto que as mesmas se apresentam nas interações dos homens com o meio em que vivem, além de estarem presente em suas experiências sociais, procurando formar uma fonte de dados que possa construir para as suas informações e, assim, poder formalizar o seu senso comum. Na questão do conhecimento científico, sabe-se que o mesmo pode ser acessado de diversas formas, mas somente na escola é que se deve trabalhar de tal maneira em que se possa construir o conhecimento em relação a esses conceitos científicos. De acordo com Mortimer (1992, p. 31), “a aprendizagem em sala de aula, a partir dessa perspectiva, é vista como algo que requer atividades práticas bem elaboradas que desafiem as concepções prévias do aprendiz, encorajando-o a reorganizar suas teorias pessoais”

Contextualizando sobre as atividades experimentais, Ausubel argumenta que as atividades desenvolvidas em sala (ou laboratório) seguindo regras, como nas receitas de bolo, sem o mínimo da compreensão dos fundamentos envolvidos no processo, não irá garantir uma qualificação necessária e suficiente sobre método científico. O autor esclarece ainda que, não basta somente ter laboratórios ou salas cheias de equipamentos e materiais de experimentação, que apenas tenham a função de atender as demandas curriculares, ou para apenas causar uma impressão, tanto nos alunos, quanto em seus pais, pois mesmo com todo esse aparato, não há garantias de que as atividades experimentais irão garantir uma aprendizagem significativa. Para tornar essas atividades experimentais em um processo de aprendizagem significativa para os sujeitos, pode-se desenvolver um questionamento que irá servi-lo como orientação durante o processo de experimentação. Dessa maneira, o professor age como se soubesse que seus alunos já possuem um conhecimento mínimo sobre o assunto a ser trabalhado, e que esse conhecimento é incompleto de natureza e que deverá haver um embate entre o

conhecimento dos seus indivíduos, com o conhecimento científico. Moreira, usando as palavras do autor David Ausubel, articula que: “[...] o fator mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe. Descubra isso e ensine-o de acordo” (AUSUBEL apud MOREIRA, 1999; p. 163).

Capítulo 3

ATRITO

3.1 Estudos históricos sobre o atrito

Neste trabalho, propomos e descrevemos a realização de uma atividade experimental, para alunos do ensino médio, abordando o conceito de atrito em aulas práticas de Física. Utilizamos um equipamento de simples construção e de baixo custo, que permite a determinação do coeficiente de atrito estático entre duas superfícies, por meio de dois experimentos. A atividade também permite uma maior contextualização de conceitos que, normalmente, são abordados apenas de forma teórica, exigindo um nível maior de abstração dos alunos, o que pode estimular as discussões e uma maior interação dos alunos com a parte teórica e prática. A apresentação em sala de aula de conceitos relacionados ao atrito é, normalmente, limitada à apresentação expositiva de leis e equações, que em geral, não estimulam a discussão, apenas detalhando o fenômeno. Desta forma, algumas atividades experimentais simples podem despertar no aluno, curiosidades que gerem debates sobre os assuntos abordados.

Baseado nessa tendência de proposta, apresentamos neste trabalho, uma atividade baseada em um aparato de fácil manuseio e montagem, o qual, pelos experimentos, podemos determinar o coeficiente de atrito estático, o que pode oferecer oportunidades de discussões interessantes acerca do fenômeno do atrito, tanto do ponto de vista qualitativo, quanto quantitativo.

Os estudos sobre o atrito datam do final do século XV, com trabalhos realizados por Leonardo da Vinci (veja Figura. 3.1a). As leis empíricas sobre o atrito, válidas ainda hoje, foram formuladas em 1699, por Guillaume Amontons e complementadas por Charles A. de Coulomb, em 1785 (SINATORA,2007).

Coulomb estabeleceu uma distinção entre o atrito estático e o atrito cinético, que ocorrem quando não há movimento relativo entre as superfícies em contato: a força de atrito estático é sempre maior do que a força de atrito cinético, uma vez começado o movimento entre duas superfícies que estão em contato, a força de atrito cinético permaneceria constante. O atrito entre superfícies metálicas secas seria devido a encaixes microscópicos entre as superfícies (Figura. 1b), ideia que persistiu até meados do século passado (GASPAR, 2000).

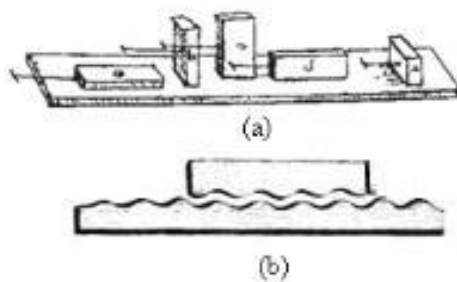


Figura. 1. Diagrama original de Leonardo da Vinci que detalha um dos seus experimentos sobre o atrito: a) força necessária para deslocar o bloco (representada pelas hastes que puxam os blocos) não depende da área sobre a qual o bloco se apoia. b) Modelo sugerido por Coulomb para a origem do atrito entre duas superfícies metálicas secas.

Vamos restringir nossa abordagem ao atrito de deslizamento entre duas superfícies planas e secas; atrito entre superfícies lubrificadas ou em rolamento, além de exigirem uma abordagem mais complexa, não fazem parte dos currículos de física do ensino médio, onde esse trabalho tem como objetivo abordar o atrito seco entre superfície.

Em 1929, o físico inglês G. A. Tomlinson propôs a primeira hipótese alternativa para a origem do atrito. De modo muito simplificado, segundo ele, enquanto uma superfície desliza sobre outra, os átomos que compõem essas estruturas interagem e vibram. É essa vibração que dá origem ao atrito. No entanto, certamente por impossibilidade de verificação experimental, essa hipótese teve pouca repercussão e aceitação.

Em 1950, Bowden e Tabor verificaram que a área de contato efetivo entre duas superfícies é muito menor do que a área aparente, o que tornou insustentável a hipótese coulombiana dos encaixes.

Segundo Gaspar (2000), essa descoberta levou esses pesquisadores a formularem uma nova hipótese: devido à proximidade entre as moléculas dos materiais em contato, nas pequenas regiões em que ele efetivamente ocorre, surgem forças eletromagnéticas de adesão que grudam micro parcelas das superfícies que, de fato, estão em contato. Assim, quando uma superfície é arrastada sobre a outra, ocorrem sucessivas “soldas”, rupturas e deslizamento, em um processo onde uma superfície pode pinar ou escorregar sobre a outra, que dá origem à força de atrito.

No entanto, embora a natureza do atrito, ainda hoje seja mal compreendida, as leis empíricas estabelecidas por Amontons e Coulomb continuam sendo aceitas, dentro dos limites de validade dos ensaios experimentais em que são aplicadas.

Com a invenção dos microscópios de força atômica e de tunelamento, que permitem medir forças de interação extremamente pequenas entre átomos das superfícies, esse modelo para o atrito pôde ser estudado experimentalmente. As pesquisas com esses instrumentos, têm proporcionado grande avanço no conhecimento do atrito e têm se mostrado de grande valia, apesar de a hipótese do escorrega e gruda ser verdadeira.

3.2 Atrito anisótropo e heterogêneo.

O atrito seco entre superfícies sólidas é um fenômeno não linear, muito complexo, tendo em vista que o μ não é apenas um número, como mostram os livros didáticos do ensino médio, mas um tensor. É bem conhecido, por exemplo, que para movimentar um objeto localizado sobre uma superfície, é necessário aplicar uma força que, na direção de movimento pretendida, supere em módulo certo limiar $\mu_s N$, onde N é a força de reação normal da superfície sobre o corpo e μ_s é uma grandeza, conhecida como coeficiente de atrito estático entre as superfícies. Este coeficiente não depende apenas das propriedades dos materiais em contato, depende, também, de propriedades do material.

Pouco menos conhecido é o fato de que, o coeficiente de atrito não é necessariamente igual em todas as direções, ele se comporta como um pseudotensor, função das coordenadas da superfície $\mu_{ij}(x, y)$, isto é, depende da anisotropia e heterogeneidade das superfícies. Durante o deslizamento relativo de superfícies sólidas em contato, se observam mudanças na microestrutura das superfícies, o que faz com que o atrito tenha as características mencionadas anteriormente.

O atrito anisotrópico é aquele cujas propriedades variam com a direção do deslizamento. Por outro lado, o atrito heterogêneo possui propriedades que variam de ponto a ponto, ao longo da direção de deslizamento. O grau de anisotropia e heterogeneidade varia, de acordo com o material. Os primeiros estudos sobre o atrito anisotrópico foram feitos em madeira, levando em conta a orientação da direção de deslizamento em relação às fibras da madeira, ver Figura 2.

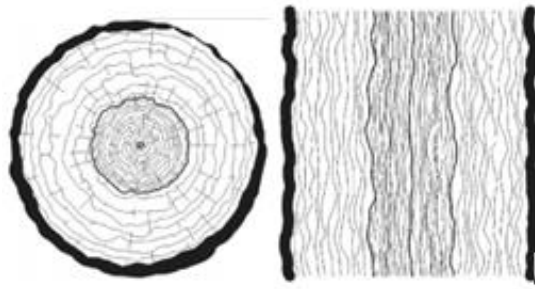


Figura 2. Fibras na madeira. À esquerda, corte transversal, à direita, longitudinal. Fonte: ZMITROWICZ (2006)

O atrito é fortemente influenciado pela orientação das fibras do material, em relação à direção de deslizamento, isto é, na direção paralela à de deslizamento, o atrito é menor e na direção perpendicular, maior.

Matematicamente, o coeficiente de atrito estático pode ser representado através de uma matriz quadrada de ordem 3 x 3 como segue:

$$\vec{\mu} = \begin{bmatrix} \mu_{xx} & \mu_{xy} & \mu_{xz} \\ \mu_{yx} & \mu_{yy} & \mu_{yz} \\ \mu_{zx} & \mu_{zy} & \mu_{zz} \end{bmatrix} \quad 3.1$$

No caso de isotropia, $\mu_{xx} = \mu_{yy} = \mu_{zz} = \mu \geq 0$ e $\mu_{ij, i \neq j} = 0$. Um caso particular resulta quando $\mu_{ij} = \mu_{ji}$, e é conhecido como atrito ortotrópico. A heterogeneidade pode ser representada da seguinte forma:

$$\vec{\mu} = \begin{bmatrix} a\mu_{xx} & b\mu_{xy} & c\mu_{xz} \\ d\mu_{yx} & e\mu_{yy} & f\mu_{yz} \\ g\mu_{zx} & h\mu_{zy} & k\mu_{zz} \end{bmatrix} \quad 3.2$$

Os coeficientes são maiores que zero e menores que 1.

A força de atrito e a força normal, são componentes de uma mesma força, a força de tensão, ver Figura 3.

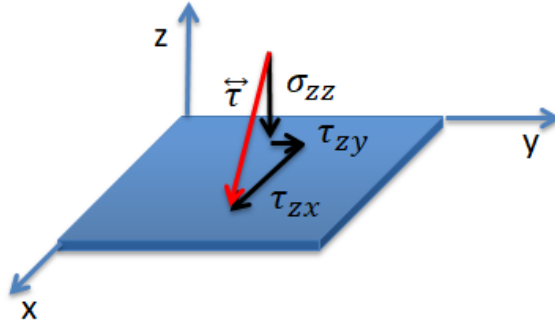


Figura 3 - Representação esquemática do tensor das tensões.

A força de reação normal é proporcional a $-\sigma_{zz}$, enquanto as forças de atrito nas direções x e y são proporcionais respectivamente a $-\tau_{zx}$ e $-\tau_{zy}$. Por cada componente normal, temos duas componentes perpendiculares no plano da superfície. Contudo, a força de atrito pode ser escrita em geral como o produto escalar do coeficiente de atrito e a força de reação normal, como segue:

$$\vec{f} = \vec{\mu} \cdot \vec{N}$$

3.3

Para o caso em que a normal esteja dirigida no sentido positivo do eixo z temos:

$$\vec{N} = N_z \hat{k} \text{ e } \vec{f} = f_x \hat{i} + f_y \hat{j} \quad 3.4$$

Podemos representar o coeficiente de atrito, em geral, da seguinte maneira:

$$\vec{\mu} = \mu_{xx} \hat{i} + \mu_{xy} \hat{j} + \mu_{xz} \hat{k} + \mu_{yx} \hat{i} + \mu_{yy} \hat{j} + \mu_{yz} \hat{k} + \mu_{zx} \hat{i} + \mu_{zy} \hat{j} + \mu_{zz} \hat{k} \quad 3.5$$

Desta forma, utilizando as equações 3.3, 3.4 e 3.5, podemos efetuar o produto escalar, resultando no seguinte:

$$\vec{f} = f_x \hat{i} + f_y \hat{j} = \vec{\mu} \cdot N_z \hat{k} = N_z (\vec{\mu} \cdot \hat{k}) = N_z (\mu_{xz} \hat{i} + \mu_{yz} \hat{j}) \quad 3.6$$

Então, temos que:

$$f_x = \mu_{xz}N_z \text{ e } f_y = \mu_{yz}N_z \quad 3.7$$

Isto nos leva à seguinte conclusão: na hora de escrever a equação do movimento, a força de atrito terá valor diferente para x e para y, mostrando que o atrito depende da direção do movimento.

Capítulo 4

ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

A centralização nos conceitos científicos abordados no ensino de física, deixando de lado questões culturais e sociais dos alunos, discutidas mais arduamente nos últimos anos, produziu, ao longo do tempo, um aluno desmotivado e sem interesse pela disciplina. Nesse sentido, se faz necessária uma prática pedagógica capaz de motivar os alunos, despertando o interesse pelo tema proposto pelo professor, ampliando a capacidade de aprendizagem e contextualizando o conteúdo científico na vida dos aprendizes.

Dentre as diversas estratégias de ensino pesquisadas destaca-se, na área de ensino de ciências, o ensino por investigação. Neste capítulo o foco se coloca sobre a prática de ensino em que os alunos deste estudo estão inseridos: o ensino de física através de atividades investigativas.

Ensinar por investigação significa fazer um movimento de aproximar os conhecimentos científicos, dos conhecimentos escolares, mobilizando a atividade do aprendiz, ao invés de sua passividade. Neste trabalho, não entende-se a estratégia de ensino abordada, como uma atividade que utiliza uma visão indutivista ingênua da ciência, na qual sua objetividade “deriva do fato de que tanto a observação como o raciocínio indutivo são mesmos objetivos e que proposições de observação podem ser averiguadas por qualquer observador pelo uso normal dos sentidos” CHALMERS, (1993), sem considerar nenhum conhecimento pessoal ou subjetivo por parte do aprendiz.

Gil Perez e Castro (1996 apud ZÔMPERO e LABURÚ, 2011, p.75) ressaltam que as atividades de investigação devem compreender as seguintes características:

apresentar aos alunos situações problemáticas abertas, em um nível de dificuldade adequado à zona de desenvolvimento potencial dos educandos; favorecer a reflexão dos alunos sobre a relevância das situações-problema apresentadas; emitir hipótese como atividade indispensável à investigação científica; elaborar um planejamento da atividade experimental; contemplar as implicações CTS do estudo realizado; proporcionar momentos para a comunicação do debate das atividades desenvolvidas; potencializar a dimensão coletiva do trabalho científico.

Nesta perspectiva, o professor coloca uma pergunta aberta aos estudantes e, juntos, discutem sobre a questão. O planejamento realizado pelo professor, utiliza as práticas de laboratório, a resolução de problemas e a aprendizagem de conceitos. A realização da atividade é conduzida pelo professor, com o levantamento de hipóteses e a elaboração do experimento junto aos estudantes, valorizando a dimensão coletiva do trabalho em sala (PARENTE, 2012).

4.2 Educar em sala de aula

Ramos (2004) critica a instituição de ensino que utiliza procedimentos centralizados na reprodução, no prêmio e no castigo e enfatiza a importância das construções discursivas, que nascem devido aos processos argumentativos. Defende a necessidade de utilizar os princípios da educação pela pesquisa para a construção de uma cultura da argumentação (RAMOS, 2004), que não se fundar-se no ensino que impede o incremento do pensar, como no caso do ensino por transmissão (MORAES, RAMOS e GALIAZZI, 2004), visando permitir a construção de opiniões científicas e o desenvolvimento político do indivíduo, com vistas à intervenção na realidade e sua transformação (LIMA, 2004).

Educar pela pesquisa se sustenta no alicerce do questionamento, construção de contextos e na comunicação (MORAES, RAMOS e GALIAZZI, 2004). Tem o alvo de envolver professores e alunos em um processo de questionamento dos fatos, oportunizando a construção de argumentos que culminem em novas verdades (MORAES, RAMOS e GALIAZZI, 2004).

Para Parente (2012), no educar pela pesquisa, a pergunta é gerada a partir do conhecimento formal e de problemáticas sociais. O planejamento se instaura a partir das hipóteses e dos argumentos que os sujeitos buscam, e as respostas se dão a partir dos diferentes pontos de vista, levantados durante a discussão. É imprescindível que se faça uma comunicação que pode ser a expressão clara da nova compreensão atingida, dentro do grupo que a produziu, e a divulgação fora do grupo em que aconteceu a pesquisa, na busca por validação e reconhecimento das novas verdades (PARENTE, 2012).

É importante salientar que os resultados dos trabalhos não são apenas a publicação resultante. Na pesquisa em sala de aula é muito mais importante destacar produtos como a construção das habilidades de questionar, de

construir argumentos com qualidade e saber comunicar os resultados na medida em que são produzidos. Tudo isso expressa a qualidade política que emerge da pesquisa de sala de aula, qualidade de transformação dos sujeitos que se envolvem no processo, e num segundo momento também de outros sujeitos não diretamente envolvidos (MORAES; GALIAZZI; RAMOS,2004)

A educação por pesquisa acontece a se distinguir de outras propostas, pois considera o saber acadêmico como básico para a construção de um cidadão crítico, e que as verdades estabelecidas são construídas através de assuntos e em grupos (PARENTE, 2012).

A questão principal do Ensino por Pesquisa, baseia-se na crítica do movimento de transformações dos conceitos, centralizada numa visão acadêmica do ensino. Isso quer falar que a educação científica não pode ser somente em ciências, mas através e sobre a ciência, seja comprometida com a alfabetização científica. Para alguns autores, o envolvimento do aluno deve ser de forma cognitiva e afetiva, sem receber respostas prontas, caminhando para respostas a problemas de conteúdo interdisciplinar, cultural e educacionalmente relevante. Trabalha as capacidades processuais e procedimentais, relativas aos métodos científicos, do aprendiz, o que leva a ampliação do seu pensamento e da sua aprendizagem (CACHAPUZ, PRAIA e JORGE, 2000).

Quando se utiliza a investigação escolar, deve-se considerar as diferenças que existem entre este tipo de método, com o método científico, como por exemplo, as diferenças de contexto, a capacidade operacional, a estruturação conceitual, a especialização temática, o domínio das técnicas concretas e a finalidade que existe no científico e na escola (CAÑAL e PORLAN,1987).

É uma estratégia que orienta para o desenvolvimento de uma aprendizagem espontânea, é compatível e adequada para uma concepção construtivista do conhecimento, estimula a interação em aula e os processos comunicativos, além do desenvolvimento da autonomia.

A investigação escolar engloba três aspectos essenciais. Primeiro, tem-se a verificação do aluno como um processo de aprendizagem significativa; em segundo, tem-se a concepção do docente como facilitador desta aprendizagem e como investigador dos eventos que ocorrem durante a aula e, em terceiro, tem-se o enfoque investigativo e evolutivo do desenvolvimento curricular (CAÑAL e PORLAN, 1987). Para a concretização de uma investigação escolar deve-se adequar o ambiente da sala de aula, promover a formulação de problemas, provocando a curiosidades dos alunos,

colocar em jogo suas informações prévias sobre o problema investigado, levantar e confrontar argumentos, relacionar a informação prévia com a nova informação obtida, gerando um processo de construção cognitiva, realizar atividades de aplicação dos novos conhecimentos em contextos diferentes, promovendo o amadurecimento e a generalização das aprendizagens e acumular e difundir as informações.

Na escola, os conceitos são apresentados de forma abstrata e distanciados do contexto que lhes deram origem. Ocorre assim, uma separação entre o que é aprendido, do modo como esse conhecimento é aprendido e utilizado (BROWN, 1989). Os mesmos autores descrevem as atividades dos estudantes como centradas em uma forma de raciocínio estruturada a partir de leis, baseadas na manipulação de símbolos para resolver problemas bem definidos, produzindo significados fixos e conceitos imutáveis.

As atividades experimentais, tanto no ensino médio, como em muitas universidades, ainda são muitas vezes tratadas de forma acrítica e a problemática. Pouca oportunidade é dada aos alunos no processo de coleta de dados, análise e elaboração de hipóteses. Poucas são as oportunidades de se realizar investigações e de argumentar acerca dos temas e fenômenos em estudo. O resultado é que estudantes não aprendem conteúdo das Ciências e constroem representações inadequadas sobre a ciência como empreendimento cultural e social (ZULIANI, 2006).

Os materiais desenvolvidos, com ênfase na investigação científica, tinham uma perspectiva metodológica que visava planejar e executar experimentos, a fim de possibilitar a vivência dos alunos com o método científico, porém, esses materiais didáticos usados nas escolas até a década de 1990, apresentavam aspectos com concepções inadequadas da atividade científica (MOREIRA, M.A. e OSTERMANN, 1993).

O ensino por investigação passou, então, a assumir novas perspectivas com discussões sobre a história e natureza das ciências nas investigações proporcionadas em sala de aula e sua relação com aspectos sociais, culturais e políticos (SANDOVAL, 2005).

Assim, diversas pesquisas surgiram a fim de propor o ensino por investigação, como uma atividade com caráter motivacional, despertando o interesse e a atenção do aluno, com atividades que sejam funcionais, que possam ser feitas com materiais simples, na própria sala de aula e que facilitem a aquisição dos conceitos pelos alunos, além de favorecer que eles mesmos, construam seu conhecimento a partir de experiências sobre sua própria realidade.

Estratégias que enfrentem as dificuldades de aprendizagem dos conteúdos científicos nas aulas de ciências e, que possibilitem a aprendizagem, devem envolver os alunos, na busca de respostas e soluções bem articuladas, para as questões propostas, sem precisar, necessariamente, de um laboratório ou equipamentos sofisticados para esse fim. A riqueza destas atividades está em propiciar ao estudante, a oportunidade de trabalhar com coisas e objetos em um exercício de simbolização ou representação. Ela permite conectar símbolos com coisas, e situações imaginadas, o que raramente é buscado no laboratório, expandindo os horizontes de sua compreensão.

Uma estratégia que propõe uma problematização dos fenômenos e uma negociação dos significados, seria uma alternativa para que a, tão almejada, aprendizagem dos conceitos científicos acontecesse. Nessa perspectiva, o ensino por investigação, utilizado neste estudo é uma importante ferramenta de ensino e aprendizagem, com objetivo de levar os alunos a pensarem, debaterem, justificarem suas ideias e aplicarem seus conhecimentos em situações novas, usando os conhecimentos teóricos e matemáticos (AZEVEDO, 2004).

A atividade de investigação é muito diferente da atividade prática tradicional, onde o problema, o objetivo e o procedimento, são dados pelo professor (SÁ, 2007), enquanto os alunos simplesmente seguem os passos descritos por ele em um roteiro entregue na hora da aula. A não atuação dos alunos no planejamento do experimento, desestimula sua participação no processo de desenvolvimento dos conhecimentos físicos, pois os experimentos já são entregues em protocolos e, a eles, cabe responder de maneira correta.

Nesta proposta de ensino por investigação, os próprios alunos são estimulados a identificarem o problema, levantarem hipóteses, fazerem as escolhas pelos procedimentos e dos materiais com os quais vão trabalhar, além de coletarem os dados e obterem as conclusões. Toda a condução da aula deve ser somente orientada pelo professor, deixando os alunos como sujeitos ativos desse processo.

Desse modo, o presente trabalho propõe, como essencial ao ensino de ciências por investigação, que os estudantes se engajem com perguntas de orientação científica; deem prioridade às evidências ao responder questões; formulem explicações a partir de evidências; avaliem suas explicações à lucidez de outras alternativas, em particular, as que refletem o conhecimento científico; comuniquem e justifiquem explicações propostas.

Capítulo 5

METODOLOGIA

5.1 Tipo de pesquisa

Gil (2002) define a pesquisa, como um procedimento racional e sistemático, que tem o objetivo de proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa é requerida quando não há informação suficiente, para responder ao problema, ou quando a informação existente se encontra, em tal estado de desordem, que não pode ser adequadamente relacionada ao problema.

A pesquisa é uma atividade voltada para solucionar problemas teóricos ou práticos, utilizando-se de processos científicos. Segundo Manzato e Santos (2008), não é a única forma de se obter conhecimentos e descobertas. Existem outros meios de acesso ao saber, que dispensam o uso de processos científicos, embora válidos, não podem ser enquadrados como tarefas de pesquisa. Um desses meios, bastante recomendável, é a consulta bibliográfica, que se caracteriza por responder pequenas dúvidas, quando se recorre a documentos.

O método utilizado com os alunos, foi através do ensino por investigação, pelo qual foi montado um aparato experimental e a partir de estudos teóricos e prévios dos alunos, foram feitas algumas abordagens sobre o coeficiente de atrito e heterogeneidade dos materiais utilizados nos experimentos.

5.2 Local da pesquisa

A pesquisa foi realizada na Escola José Lins de Figueirêdo, da Rede Estadual de Ensino, na cidade de Altinho-PE. A referida escola, é uma escola de ensino fundamental e médio em regime regular, de forma que a carga horária do aluno é composta pela parte teórica (2 h/a semanais), desenvolvida em sala de aula e pela parte prática (2 h/a), no Programa Ensino Médio Inovador (PROEMI) realizada em sala de aula.

A escola possui gestor, coordenador pedagógico e desenvolve atividades pedagógicas que buscam desenvolver o aluno, em seus mais diferentes aspectos. Trabalha-se a filosofia de projetos, onde, anualmente, todo o corpo escolar participa da feira de ciências, atividades que buscam associar a prática às teorias trabalhadas em sala de aula.

5.3 Pessoas envolvidas na pesquisa

A pesquisa foi realizada com alunos do ensino médio, participantes do PROEMI. Na escola em estudo, existem sete turmas do ensino médio, distribuídas da seguinte forma: 2 turmas do primeiro ano, 2 turmas do segundo ano e 3 turmas do terceiro ano, que recebem alunos da zona urbana e rural do município de Altinho. São alunos de diferentes classes sociais. Considerando-se a existência de sete turmas, foram convidados alunos de todas as turmas do ensino médio para participar do projeto. Participaram 30 alunos do programa, que formaram grupos responsáveis pelo desenvolvimento das atividades experimentais. Antes e após a realização das atividades, tiveram seus conhecimentos avaliados, de forma a se observar se o uso dos experimentos trouxe conhecimentos novos aos entrevistados.

A ideia é formar alunos multiplicadores com os participantes das atividades experimentais que o programa oferece.

5.4 Aparato e método de coleta dos dados

O trabalho resultou na montagem de um experimento para o estudo da força de atrito. O experimento está detalhado no produto didático dessa dissertação. Consiste em uma plataforma giratória sobre um plano inclinado, no qual podemos regular o ângulo de inclinação. O ângulo crítico de deslizamento (chamamos assim ao ângulo limite de atrito estático), pode ser encontrado para cada ângulo ortotrópico (α), que é o ângulo de rotação horizontal da plataforma, ver figura 4.

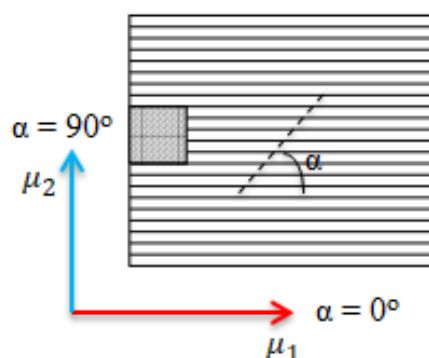


Figura 4. Vista superior da plataforma giratória. O ângulo α é o ângulo ortotrópico. As direções representadas por μ_1 (longitudinal) e μ_2 (transversal) correspondem a $\alpha = 0^\circ$ e $\alpha = 90^\circ$ respectivamente. Fonte: SCHIMIED (2010), modificada.

Material utilizado

- Plataforma de plano inclinado
- Bloco de madeira MDF e acrílico;
- Régua de 30 cm de comprimento;
- Superfície plana de madeira (tábua);
- Transferidores;
- Martelo.

Montagem

A montagem do equipamento experimental segue os seguintes passos:

a) Inicialmente, montamos o aparato, fixando paralelamente, duas tabuas de madeira, uma que ficará fixa horizontalmente e a outra, que poderá ser inclinada, para determinar o ângulo crítico. Em seguida, colocamos uma plataforma de madeira, que pode girar sobre o plano inclinado, onde serão colocados os diferentes blocos de madeira (material 1), MDF (material 2) e acrílico (material 3), ver figura 5. Nesta plataforma de madeira, vamos variar o ângulo ortotrópico. Os ângulos escolhidos para o estudo foram: 0, 10, 20, 30, 40, 45, 50, 60, 70, 80 e 85 graus.

b) Para completar a montagem, fixamos com fita dupla face a plataforma na parte superior do plano inclinado.



Figura 5. Plano inclinado e plataforma giratória de madeira usada nos experimentos.

As linhas que aparecem na superfície da plataforma, indicam os diferentes ângulos ortotrópicos (α) usados no experimento.

Na figura 6, uma vista horizontal de parte do aparato completo, composto pela plataforma e a rampa que garante o ângulo crítico de atrito estático. A direção do deslizamento é representada por μ_1 (coeficiente de atrito na direção do movimento), correspondente a $\alpha = 0^\circ$.

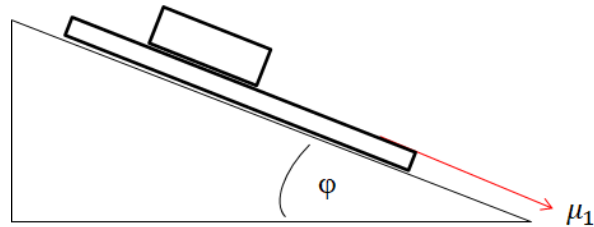


Figura 6. Vista lateral de parte do aparato experimental. O ângulo φ é o ângulo crítico. A direção representada por μ_1 é a direção de deslizamento $\alpha = 0^\circ$. O retângulo superior representa o corpo e o inferior, a plataforma giratória.

Neste primeiro experimento, trabalhamos com a lei clássica de Coulomb para o atrito ortotrópico. A partir desta lei, representada pela equação 5.1 (SCHMIED ET AL. 2010), encontramos μ_2 , que é o coeficiente de atrito na direção perpendicular à direção do movimento. Usamos para este experimento corpos de três materiais diferentes.

$$\tan \varphi = \frac{\mu_2^2 - \mu_1^2}{\mu_2^2 + \mu_1^2 (\tan \alpha)^2} \tan \alpha \quad 5.1$$

Usando cada um dos materiais (ver figura 7), encontramos, para cada α , o valor correspondente de φ , usando a segunda lei de Newton, apresentada na equação 5.2 e tabelamos esses valores em uma planilha eletrônica, que forma parte do pacote experimental resultante deste trabalho.

$$mg \sin \varphi = \mu_1 mg \cos \varphi \Rightarrow \tan \varphi = \mu_1 \quad 5.2$$



Figura 7. Blocos, em forma de paralelepípedo reto retangular, usados nos experimentos.

O segundo experimento consistiu em encontrar a distribuição das distâncias percorridas pelo bloco, na iminência de movimento, depois de ter sido perturbado seu estado de repouso, a partir de impactos controlados do martelo com a base da plataforma, ver figura 8.



Figura 8. Rampa com martelo.

O martelo que forma parte da plataforma será usado para, a partir de ângulos pré-estabelecidos ($\beta = 45^{\circ}$ e $\beta = 60^{\circ}$), impactar na base da plataforma, provocando perturbações ao sistema. A energia potencial inicial do martelo será transferida à plataforma, quando entrar em contato com ela, ver figura 9. O sistema absorve essa energia e, como consequência disto, acontece a quebra do estado de fixação, que garante a estática do bloco, provocando o início do movimento, até atingir o repouso novamente, devido às propriedades heterogêneas e anisotrópicas das superfícies dos materiais.



Figura 9. Bloco em movimento sobre a plataforma, na direção $\alpha = 0$.

Os dados foram coletados em outra planilha eletrônica, a qual forma parte também do conjunto experimental. Foram realizadas medições das distâncias percorridas pelos blocos dos diferentes materiais, a partir do impacto, até ficarem em repouso novamente. Uma imagem de um dos blocos em movimento sobre a plataforma se mostra na figura 9.

Para cada material se usaram os valores de α a partir de 0^0 até 80^0 , variando de 10 em 10 graus. Também foram inclusos os ângulos 45^0 e 85^0 . Para cada valor do ângulo ortotrópico, foram medidas 10 distâncias

Capítulo 6

ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 Resultados didáticos

Na tentativa de apreender os significados presentes nas manifestações de cada aluno, através das leituras das aulas expositivas sobre atrito, que foram realizadas ao longo da aplicação do produto educacional, buscou-se repassar aos alunos, lembrando os métodos de Ensino por Investigação, com a finalidade de aprofundar os significados por eles atribuídos ao fenômeno.

Para discutir como os alunos sob estudo percebem e concebem o aprender nas atividades investigativas no ensino de física, apresentamos fragmentos da transcrição das aulas, como está exposta no produto educacional dessa dissertação.

Através das observações em sala de aula, da leitura, abordagem dos conteúdos sobre atrito e das transcrições, conseguimos avaliar que o conhecimento dos alunos sobre a força de atrito é praticamente básico. Pôde-se, também, verificar os conhecimentos prévios, a ausência de conceitos, bem como a mudança na estrutura cognitiva de cada aluno envolvido.

A análise dos resultados foi feita aula a aula, de forma qualitativa, gradativamente, simultaneamente com o conteúdo trabalhado e com a análise das discussões ao longo das aulas. Todas as observações feitas, no desenvolvimento deste trabalho, têm caráter qualitativo e se referem às atividades aplicadas a turma do projeto descrito anteriormente.

A partir das explicações de como os materiais se comportam, e a introdução de termos novos como ângulos ortotrópicos, anisotropia e heterogeneidade, se estabeleceram vários debates fundamentados na curiosidade dos alunos. Quando foram abordadas as questões do nível microscópico dos materiais, por exemplo, o fato de que mesmo a superfície mais lisa possui pequenos picos ásperos e que, as pontas destes picos são as únicas partes que tocam o outro material, tiveram várias dúvidas sobre isso, chegando a fazer perguntas de “como é que uma lousa lisa pode ser áspera?”.

Partindo das abordagens teóricas, começamos a fazer as investigações dos fenômenos através do experimento. Uma dificuldade é que, uma boa parte dos alunos, teve seu primeiro contato com atividades, utilizando como ferramenta didática os experimentos. Isso atrapalhou para adaptação dos alunos no manuseio do aparato.

Também, de alguma forma, chamou a atenção de todos, o fato de verem os fenômenos, que antes viam em sala de aula com as teóricas, na prática e que existem várias possibilidades de se fazer uma investigação sobre fenômenos científicos, com métodos investigativos que não ficam apenas nos livros.

Os estudantes ainda têm a visão que o atrito depende exclusivamente da rugosidade dos materiais que estão em contato, pensamento esse que é abordado de forma mais explícita nos livros didáticos. Quando foi falado no conceito de anisotropia, heterogeneidade e ortotrópicos, termo novo para toda turma, as indagações e dúvidas surgiram aos montes. Perguntas sobre situações de seu cotidiano, envolvendo deslizamentos de corpos, dúvidas sobre como diversos materiais se comportam em contato com outros. Os debates foram extremamente proveitosos no que diz respeito ao “novos” termos e situações abordadas com os alunos no que diz respeito a força de atrito.

6.2 Resultados dos experimentos

6.2.1 Experimento 1

Os valores dos parâmetros obtidos no primeiro experimento se encontram relacionados na tabela 1. Uma simples análise dos valores apresentados na tabela nos permite perceber que, os coeficientes de atrito (a componente na direção do deslizamento e a componente perpendicular) são diferentes para os três materiais e para cada valor do ângulo ortotrópico, comprovando as suas características anisotrópicas. Também podemos verificar como, na medida em que nos afastamos da direção $\alpha = 0^\circ$, estes coeficientes aumentam. Quanto mais longe estamos desta direção, as propriedades anisotrópicas e heterogêneas do atrito se fazem mais visíveis. Dos três materiais, vemos que a maior variação de μ_1 e μ_2 acontece para o material 1 e a menor variação, para o material 3. Isto indica que o material 3 é o mais homogêneo e isótropo e a superfície do material 1 é a mais irregular.

ÂNGULO ORTOTRÓPICO (α)/ $\tan(\alpha)$	ÂNGULO LIMITE DE DESLIZAMENTO(ϕ)								
	MATERIAL 1			MATERIAL 2			MATERIAL 3		
	Φ	μ_1	μ_2	ϕ	μ_1	μ_2	ϕ	μ_1	μ_2
0^o(0,00)(0,00)	32 ^o (0,56)	(0,62)	1,03	25 ^o (0,44)	(0,47)	0,53	15 ^o (0,26)	(0,27)	0,18
10^o(0,17)(0,18)	34 ^o (0,59)	(0,67)	1,26	27 ^o (0,47)	(0,51)	0,64	16 ^o (0,28)	(0,29)	0,20
20^o(0,35)(0,36)	37 ^o (0,65)	(0,75)	1,74	27 ^o (0,47)	(0,51)	0,64	16 ^o (0,28)	(0,29)	0,20
30^o(0,52)(0,58)	38 ^o (0,66)	(0,78)	1,97	28 ^o (0,49)	(0,53)	0,70	17 ^o (0,30)	(0,31)	0,22
40^o(0,70)(0,84)	40 ^o (0,70)	(0,84)	2,60	28 ^o (0,49)	(0,53)	0,70	18 ^o (0,31)	(0,32)	0,25
45^o(0,79)(1,00)	41 ^o (0,72)	(0,87)	3,06	29 ^o (0,51)	(0,55)	0,77	19 ^o (0,33)	(0,34)	0,28

50⁰(0,87)(1,19)	41 ⁰ (0,72)	(0,87)	3,06	29 ⁰ (0,51)	(0,55)	0,77	19 ⁰ (0,33)	(0,34)	0,28
60⁰(1,05)(1,73)	43 ⁰ (0,75)	(0,93)	4,82	30 ⁰ (0,52)	(0,58)	0,85	20 ⁰ (0,35)	(0,36)	0,31
70⁰(1,22)(2,75)	44 ⁰ (0,77)	(0,97)	7,18	30 ⁰ (0,52)	(0,58)	0,85	21 ⁰ (0,37)	(0,38)	0,34
80⁰(1,40)(5,67)	-		-	31 ⁰ (0,54)	(0,60)	0,93	21 ⁰ (0,37)	(0,38)	0,34

Tabela 1. Resultados obtidos no experimento 1. Os valores que aparecem entre parênteses em preto representam os valores dos ângulos em radianos. Os valores que aparecem em vermelho representam os valores das tangentes, que no caso da segunda, quarta e sexta colunas, indicam os valores do coeficiente μ_1 para os respectivos materiais.

A partir destes parâmetros, e com o objetivo de verificar, de uma forma mais eficaz, as características próprias da anisotropia do atrito seco, foram feitas também, diferentes análises gráficas dos seus comportamentos.

O gráfico de μ_2 em função de μ_1 , mostra que os materiais apresentam características semelhantes (figura 10). A componente perpendicular μ_2 apresenta um comportamento não linear em relação à componente na direção do movimento μ_1 . Para um mesmo ângulo ortotrópico, vemos que os valores de μ_1 são diferentes para cada material, sendo maiores os coeficientes no material 1 e menores no 3, como era esperado. Os valores de μ_2 para o material 1, além de ser bastante maiores, crescem exponencialmente com μ_1 , enquanto para os outros dois materiais, a forma do crescimento não fica bem definida com os dados reportados no experimento. Ao comparar estes comportamentos com o comportamento para uma superfície aleatória, totalmente homogênea e isotropa, onde $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$, vemos que todos os materiais se afastam deste comportamento, manifestando-se as propriedades anisotrópicas e heterogêneas do coeficiente de atrito. Podemos dizer que o material 3 (acrílico) possui a superfície mais regular dentre os três materiais utilizados no experimento, isto devido ao valor da componente μ_1 do coeficiente de atrito. É interessante ressaltar que, no caso do material 1, praticamente todos os coeficientes μ_2 são maiores que 1, significando isto que, de ser escolhida esta direção como a de deslizamento, todos os ângulos críticos seriam maiores que 45°, mostrando a irregularidade da superfície do material.

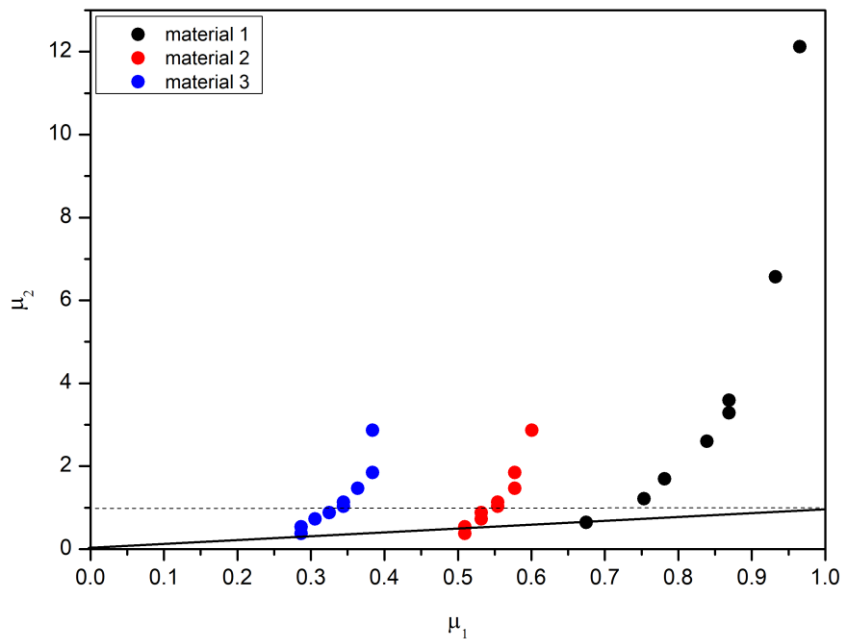


Figura 10. Comportamento da componente perpendicular à direção do movimento do coeficiente de atrito (μ_2) em função da componente na direção do movimento (μ_1).

Uma análise do comportamento das componentes do coeficiente de atrito em relação ao ângulo ortotrópico α , foi feita a partir dos gráficos das figuras 11 e 12. No primeiro gráfico, vemos um crescimento linear de μ_l em função de α . Os valores de μ_l correspondentes a cada α , para o material 2, são todos maiores do que os do material 3, mas por outro lado, a taxa de crescimento, representada pela inclinação da reta do ajuste linear, é a mesma nos dois materiais, mostrando que o material 2 possui maior coeficiente de atrito na direção do deslizamento, porém, as propriedades anisotrópicas dos dois materiais são semelhantes. Já a taxa de crescimento de μ_l em função de α para o material 1, é o triplo da dos outros materiais.

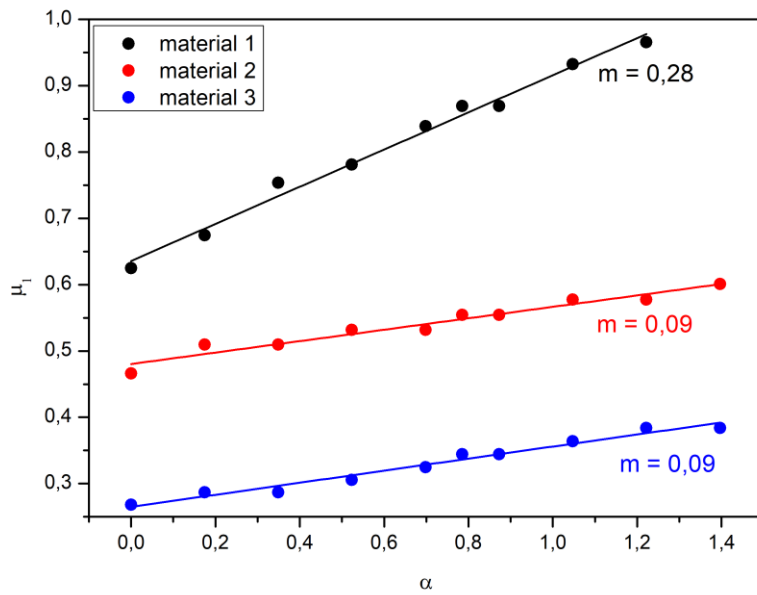


Figura 11. Comportamento da componente do coeficiente de atrito na direção do movimento ($\mu_1 = \tan \varphi$) com o ângulo ortotrópico α (rad).

No gráfico da figura 6.3, podemos comparar os comportamentos dos três materiais, em relação a como varia o coeficiente de atrito na direção perpendicular ao movimento, na medida em que aumentamos o ângulo ortotrópico α . Observamos um comportamento diferente para o material 1, se comparado com os outros dois materiais. Era esperado que este comportamento fosse exponencial, devido a que μ_l cresce linearmente com α , como vimos no gráfico da figura 11. e no gráfico da figura 10, vimos o comportamento exponencial de μ_2 em relação a μ_l . O crescimento de μ_2 com α , no caso dos materiais 2 e 3 é linear, e a taxa de crescimento no material 2 é praticamente o dobro da taxa correspondente ao material 3. Com isto, podemos afirmar que, na direção perpendicular do movimento, as propriedades anisotrópicas e heterogêneas do coeficiente de atrito no material 2, são mais evidentes do que no material 3. Também mostram, estes comportamentos, que o maior atrito na direção perpendicular ao deslizamento está presente entre as superfícies da plataforma e o material 1, e o menor, entre a plataforma e o material 3, como também acontecia no caso da direção do movimento.

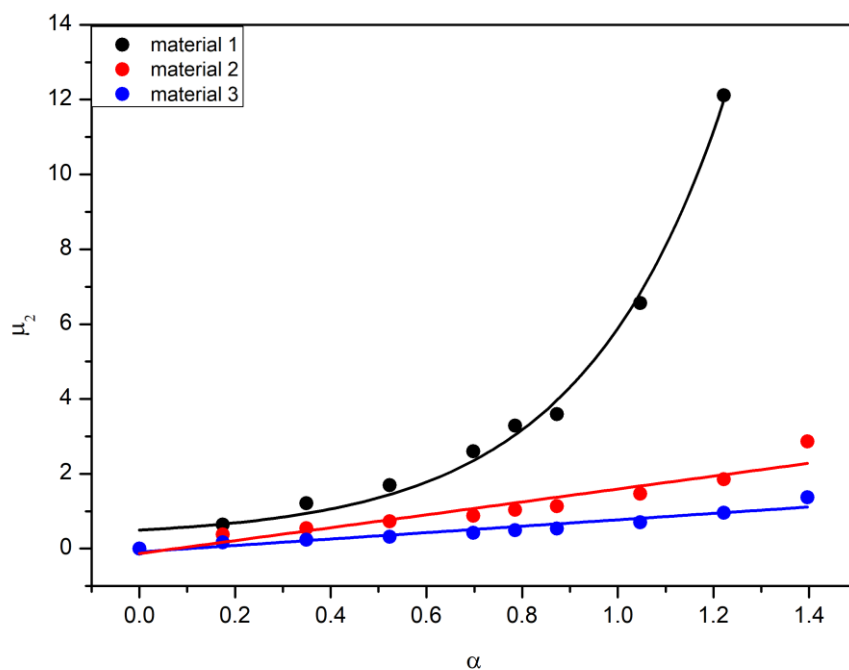


Figura 12. Comportamento da componente do coeficiente de atrito na direção perpendicular ao movimento (μ_2) com o ângulo ortotrópico α (*rad*). As taxas de crescimento de μ_2 em relação a μ_1 para os materiais 2 e 3 são, respectivamente 1,72 e 0,85.

6.2.2 Experimento 2

Os resultados obtidos para as distâncias percorridas pelos blocos sobre a plataforma giratória, correspondentes à segunda parte do trabalho experimental, foram coletados em uma planilha eletrônica e são mostrados nas tabelas 2, 3 e 4, a seguir.

α (rad)	α (°)	φ (rad)	φ (°)	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}	Médias
0	0	0,56	32	3,1/19	4,2/6,5	6,5/20,0	4,0/18	3,0/20,5	4,5/21,3	2,5/19,5	2,6/12,5	3,7/20,2	4,3/18,5	3,8/17,6
0,18	10	0,59	34	4,2/7,5	6,3/8,0	5,0/8,5	4,3/5,0	4,5/8,2	5,2/6,5	5,5/7,8	4,8/8,2	4,0/8,8	4,4/8,5	4,8/7,7
0,35	20	0,65	37	3,9/7,2	3,5/6,5	6,1/7,2	4,6/8,0	3,8/6,8	6,6/6,4	8,2/6,2	4,2/7,0	3,6/6,5	3,9/6,9	4,8/6,9
0,52	30	0,66	38	5,8/6,9	3,8/7,3	4,5/7,5	2,8/6,8	4,0/7,2	4,7/7,3	5,2/8,1	4,9/6,5	4,2/7,6	4,6/7,3	4,4/7,3
0,70	40	0,70	40	4,3/7,7	5,0/7,1	3,8/7,5	6,4/8,2	4,6/6,5	4,9/7,4	5,1/7,2	6,6/6,9	4,5/9,2	3,9/8,6	4,9/7,6
0,78	45	0,72	41	3,2/5,4	4,8/6,7	3,5/7,2	3,8/6,9	5,0/6,1	4,2/7,5	3,6/8,0	4,5/5,8	4,1/6,3	5,6/6,8	4,2/6,7
0,87	50	0,73	42	3,9/6,3	4,2/7,2	5,0/6,8	4,7/6,5	4,4/8,3	5,1/7,4	5,2/5,2	4,3/6,9	5,2/6,5	6,2/7,0	4,8/6,8
1,05	60	0,75	43	2,5/7,5	3,2/7,1	3,1/8,2	4,6/8,4	2,9/6,9	3,4/7,4	3,7/8,1	2,8/8,4	5,5/7,6	3,2/7,3	3,5/7,7
1,22	70	0,77	44	3,4/8,3	4,0/7,6	3,8/7,9	5,2/6,8	4,5/8,5	3,7/7,2	3,9/7,7	5,6/7,1	4,3/8,3	3,5/8,1	4,2/7,8
1,40	80	0,78	45	4,2/8,1	3,3/6,4	3,9/7,3	4,9/7,5	5,1/7,2	3,4/8,4	3,5/7,5	4,8/6,9	5,6/8,6	4,6/7,3	4,3/7,5
1,48	85	0,80	45	3,5/7,2	3,8/7,9	5,0/6,8	4,5/7,4	3,7/7,6	4,2/8,3	3,6/7,9	4,1/8,1	3,9/7,0	5,2/7,7	4,2/7,6

Tabela 2. Distâncias em centímetros percorridas pelo bloco do material 1 após a perturbação. Os ângulos de inclinação do martelo com reação à vertical foram $\beta = 45^\circ$ e $\beta = 60^\circ$ respectivamente.

Material 2(45°/60°)														
α (rad)	α (°)	φ (rad)	φ (°)	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}	Médias
0	0	0,44	25	4,2/8,5	5,0/9,0	4,8/10,3	4,3/7,4	5,6/12,0	4,7/11,5	4,3/9,3	5,2/9,9	4,9/13,2	4,4/10,5	4,7/10,2
0,18	10	0,47	27	4,3/7,4	4,2/7,0	3,9/7,5	5,5/7,8	4,8/6,9	4,8/6,7	4,5/7,3	5,1/7,2	4,7/7,4	4,0/7,1	4,6/7,2
0,35	20	0,47	27	4,8/7,7	5,3/7,4	4,5/6,9	4,2/7,5	4,9/8,2	4,3/8,0	5,5/7,9	6,1/7,6	5,1/7,9	4,2/7,5	4,9/7,7
0,52	30	0,49	28	5,1/8,2	4,2/8,0	4,7/7,7	4,6/7,1	5,4/7,6	4,8/7,3	5,3/7,5	5,0/8,2	4,4/8,0	4,3/7,9	4,8/7,8
0,70	40	0,48	28	4,5/7,0	4,3/7,2	6,7/7,6	5,4/6,9	5,0/7,8	5,3/8,3	4,6/7,9	4,9/7,4	5,1/7,5	5,3/7,3	5,1/7,5
0,78	45	0,51	29	5,2/7,4	4,9/7,7	5,5/7,5	4,6/7,9	4,3/7,3	4,7/8,0	5,3/7,6	5,2/8,2	4,7/8,1	4,2/7,7	4,9/7,7
0,87	50	0,51	29	6,3/6,5	4,9/7,2	5,7/6,8	5,3/7,0	4,6/7,3	5,2/7,5	4,7/6,2	4,2/6,7	4,8/7,1	5,1/6,3	5,0/6,9
1,05	60	0,52	30	4,8/7,1	5,2/6,5	4,7/6,2	4,5/7,2	5,6/6,9	5/6,6	5,5/6,7	4,6/7,0	4,9/6,8	5,1/6,3	5,0/6,7
1,22	70	0,52	30	4,7/6,8	4,2/7,2	4,8/6,9	5,3/6,5	4,9/6,3	5,6/6,8	5,8/7,3	5,1/6,9	5,4/6,1	4,8/6,4	5,1/6,7
1,40	80	0,54	31	3,9/7,5	4,1/7,0	4,5/7,2	4,7/6,7	4,2/6,9	3,5/6,5	3,8/6,6	4,3/6,1	4,6/7,1	4,1/6,5	4,2/6,8
1,48	85	0,56	32	4,2/6,3	4,5/6,8	3,8/6,4	3,5/6,7	4,3/7,0	5,2/7,2	4,9/6,5	4,3/6,2	4,7/6,6	3,9/6,8	4,3/6,7

Tabela 3. Distâncias em centímetros percorridas pelo bloco do material 2 após a perturbação. Os ângulos de inclinação do martelo com reação à vertical foram $\beta = 45^\circ$ e $\beta = 60^\circ$ respectivamente.

Material 3(45°/60°)														
α (rad)	α (°)	φ (rad)	φ (°)	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}	Médias
0	0	0,26	15	15/20	10/20	12/20	13/21	14/20	10/20	17/18	16/20	16/20	15/21	13,8/20,0
0,18	10	0,28	16	14/20	15/19	15/16	16/18	10/19	13/19	13/20	11/21	14/19	12/19	13,4/19,0
0,35	20	0,28	16	14/19	14/19	11/17	14/18	14/19	14/18	10/18	13/19	14/20	12/19	12,9/18,7
0,52	30	0,30	17	11/18	11/18	11/18	14/19	13/19	14/19	12/21	13/20	14/20	15/19	12,8/19,1
0,70	40	0,31	18	12/17	14/19	10/18	12/19	13/20	11/20	11/19	12/19	13/20	12/19	12,0/19,0
0,78	45	0,33	19	11/17	12/17	11/18	12/19	13/17	14/18	13/17	11/18	10/19	12/19	12,1/18,0
0,87	50	0,35	20	12/18	13/17	14/16	11/18	15/18	12/20	14/18	12/19	12/17	12/18	12,8/18,0
1,05	60	0,35	20	11/18	10/19	10/18	11/17	12/17	11/16	11/18	12/18	11/18	12/18	11,2/17,8
1,22	70	0,37	21	12/17	12/17	10/18	12/18	12/17	12/18	10/17	11/19	11/19	12/18	11,4/17,8
1,40	80	0,37	21	10/17	10/17	11/18	12/17	11/18	10/18	12/17	12/17	10/17	11/17	11,0/17,3
1,48	85	0,37	21	11/18	9/17	12/18	12/17	12/16	11/17	10/18	11/17	12/16	12/18	11,3/17,2

Tabela 4. Distâncias em centímetros percorridas pelo bloco do material 3 após a perturbação.

Os ângulos de inclinação do martelo com reação à vertical foram $\beta = 45^\circ$ e $\beta = 60^\circ$ respectivamente.

A primeira coisa a notar nestes resultados é que, com a inclinação do martelo correspondente a $\beta = 60^\circ$, os blocos percorrem maiores distâncias ao longo da plataforma, isto acontece da mesma forma para todos os ângulos ortotrópicos estudados. Inclinações maiores do martelo implicam maior energia transmitida ao sistema, através do choque do martelo com a plataforma. Esta energia é capaz de tirar o sistema do estado inercial de “pinning”, provocando uma avalanche e o bloco começa a se deslocar. A energia inicial do bloco vai diminuindo pelo atrito e por estar perdendo energia mecânica, provocando, em função das irregularidades das superfícies do bloco e a plataforma em contato, que o bloco fique em repouso novamente.

As distâncias percorridas pelo bloco do material 3, em todos os casos, são bem maiores que as distâncias percorridas pelos outros dois blocos, sugerindo que a superfície do bloco feito deste material é a mais regular, o que já tinha sido observado a partir dos resultados do primeiro experimento.

Outra análise importante feita a partir dos resultados do segundo experimento, foi o estudo da distribuição das distâncias percorridas pelos blocos. Nas figuras 13, 14 e 15, podemos ver os gráficos destas distribuições.

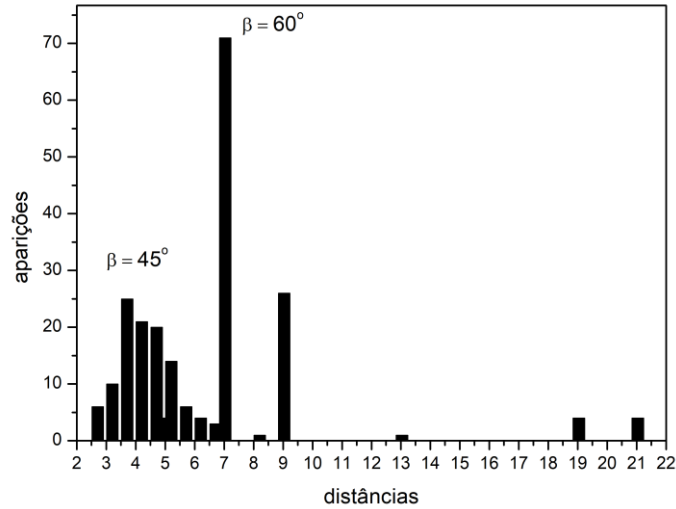


Figura 13. Distribuição das distâncias em centímetros percorridas pelo bloco do material 1. A distribuição da esquerda corresponde a $\beta = 45^\circ$ e a da direita, a $\beta = 60^\circ$. Aparições relativa das distribuições em função das distâncias.

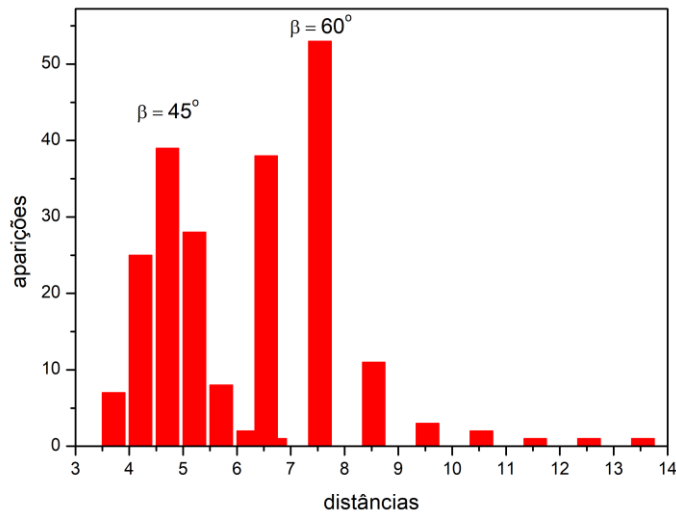


Figura 14. Distribuição das distâncias em centímetros percorridas pelo bloco do material 2. A distribuição da esquerda corresponde a $\beta = 45^\circ$ e a da direita, a $\beta = 60^\circ$. Aparições relativa das distribuições em função das distâncias.

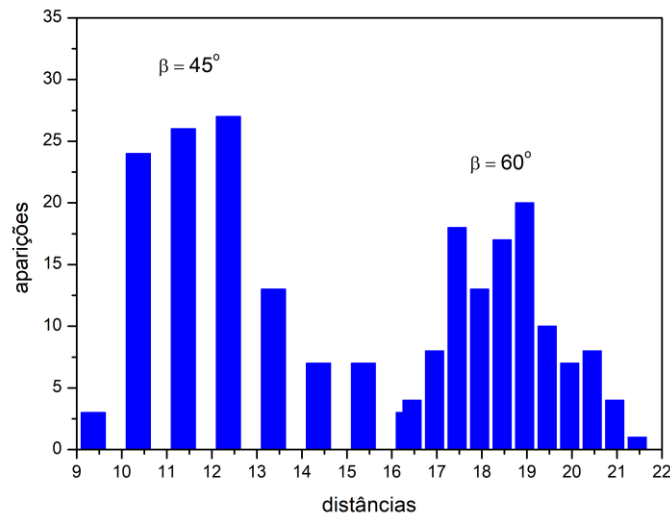


Figura 15. Distribuição das distâncias em centímetros percorridas pelo bloco do material 3. A distribuição da esquerda corresponde a $\beta = 45^\circ$ e a da direita, a $\beta = 60^\circ$. Aparições relativa das distribuições em função das distâncias.

De maneira geral, estes gráficos nos mostram que os valores mais prováveis das distâncias percorridas pelos blocos, são menores para o material 1 ($\sim 3,75$ cm para $\beta = 45^\circ$ e $\sim 7,00$ cm para $\beta = 60^\circ$) e maiores para o material 3 ($\sim 12,50$ cm para $\beta = 45^\circ$ e $\sim 18,75$ cm para $\beta = 60^\circ$), comportando-se de maneira esperada, a partir dos resultados anteriores já analisados. Os valores mais prováveis das distâncias para o material 2, são de $\sim 4,75$ cm para $\beta = 45^\circ$ e $\sim 7,50$ cm para $\beta = 60^\circ$. Para $\beta = 60^\circ$ se atingem as maiores distâncias, devido a que este ângulo do martelo proporciona uma maior energia inicial ao bloco a partir do impacto.

Também podemos extrair, dos gráficos anteriores, que as distâncias estão distribuídas de maneira mais aleatória para o material 3 e menos aleatória para o material 1. Isto comprova uma maior regularidade na superfície do material 3 e propriedades mais heterogêneas e anisótropas, no caso do material 1, como vinha sendo visto nos resultados obtidos do primeiro experimento.

Capítulo 7

CONCLUSÕES

Em busca de uma educação melhor, observa-se, através de estudos e discussões, de que o conhecimento é uma exigência social e exige, cada vez mais, competências para o desempenho de atividades. Porém, poucos trabalhos são realizados a fim de relacionar o ensino por investigação, como possibilidade de contribuição desta perspectiva, no sentido de utilizar as informações contidas na estrutura cognitiva em novos conhecimentos. A pesquisa realizada neste estudo se torna importante, pois utiliza o ensino por investigação, estratégia de ensino já estabelecida, como capaz de oportunizar uma aprendizagem significativa dos alunos.

A partir desse trabalho, percebemos a importância das atividades experimentais investigativas no contexto educativo, uma vez que permite ao professor e aluno, exercitar sua criatividade e criticidade, sendo levados a pensarem sobre os processos envolvidos na atividade experimental. Além disso, o processo de pensar sobre um determinado problema, pode fazer com que professores e alunos busquem novas respostas e alternativas. Por isso, a importância de métodos investigativos que saiam dos métodos tradicionais, utilizando ferramentas didáticas como as atividades experimentais.

Foi possível observar a liberdade para expressão e condução das atividades durante as aulas pelos alunos, o que torna o ensino por investigação, importante e facilitador para a compreensão do mundo, pois aguça a curiosidade dos estudantes, levando ao engajamento destes no processo de construção do conhecimento, mesmo diante de uma estratégia que eles não estavam acostumados, com experimentos e a falta de debate nas aulas tradicionais.

O estudo sobre o atrito, de forma como é abordada nos livros didáticos, fica, às vezes, vago, e esse trabalho teve como fundamento, quebrar alguns paradoxos sobre como é tratado o tema força de atrito. Portanto, de alguma forma, quando abordamos os conceitos de anisotropia, heterogeneidade dos materiais, estruturas microscópicas, desafiamos os alunos a pensarem de forma diferente e investigarem várias possibilidades e meios de, como se comportam os materiais na questão da força de atrito. Uma coisa que ficou clara dos experimentos realizados é que, o coeficiente de atrito estático nem sempre está no intervalo entre 0 e 1, como em geral é abordado na

maioria dos livros de ensino médio, divulgados no Brasil. Isto faz com que mude a maneira de interpretar o fenômeno em questão, já desde os primeiros anos do ensino da física.

Em relação aos resultados obtidos a partir dos experimentos, podemos concluir que, primeiramente, o coeficiente de atrito estático não é homogêneo e isotrópico em nenhuma das combinações de superfícies estudadas, ele depende da direção de deslizamento, e ao longo dessa direção, também não têm o mesmo valor em todos os pontos. A relação entre os coeficientes de atrito na direção do movimento e na direção perpendicular, não é linear em todos os casos e, em nenhum caso estudado, corresponde a uma reta com inclinação de 45^0 , como seria em caso de isotropia e homogeneidade. No caso do material 1, na direção perpendicular à direção de deslizamento, podemos deduzir que os ângulos críticos são todos maiores que 45^0 , o que prova a irregularidade da superfície do material. Outra conclusão importante é que todos os estudos realizados mostram que o material 3 (acrílico), por apresentar uma superfície mais polida, mostra uma maior homogeneidade e isotropia no atrito estático entre a sua superfície e a plataforma. Por outro lado, o material 1 (madeira) é o mais heterogêneo e anisótropo. O fato de o sistema, para uma combinação de ângulos ortotrópico e crítico específica, se encontrar na iminência do movimento, vai depender da energia que seja transferida ao sistema nesse estado. Se o sistema absorver energia suficiente, este estado pode ser quebrado e o corpo começar a deslizar, até uma configuração específica das interfaces fazer novamente o bloco parar. Finalmente, as distâncias percorridas pelos blocos dos diferentes materiais, são proporcionais à energia transferida ao bloco a partir do impacto do martelo com a plataforma. Quanto mais regular for a superfície, mais aleatoriamente estarão distribuídas as distâncias percorridas pelo bloco depois de o sistema ter sido perturbado e maiores serão estas distâncias

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFRED ZMITROWICZ, Models of kinematics dependent anisotropic and heterogeneous friction. **International Journal of Solids and Structures** 43 (2006) 4407-4451.

ALVES FILHO, Jose de Pinho. **Atividades experimentais: do método a prática construtivista**. 2000. 303 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

AMARAL, Ivan Amoroso do. Conhecimento formal, experimental e estudo ambiental. **Ciência e Ensino**, Campinas, n° 3, dez. 1997.

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176-194, Junho, 2003.

AUSUBEL, David P.; NOVAK, J.D. and HANESIAN, H. **Educational psychology: a cognitive view**. 2nd. ed. New York, Holt Rinehart and Winston, 1978.

_____. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro, Interamericana, 1980. Tradução para português, de Eva Nick et.al., da segunda edição de Educational psychology: a cognitive view

AUSUBEL, David P. **Psicología educativa: um punto de vista cognoscitivo**. México, Editorial Trillas, 1976. Traducción al español de Roberto Helier D., de la primera edición de Educational psychology: a cognitive view.

BRASIL. **Diretrizes Curriculares Nacionais para o ensino Médio**, Resolução CEB n° 3, de 26 de junho de 1998. Art. 10, inciso II. Educação & Sociedade, ano XXI, n° 70, Abril/00.

_____. Ministério da Educação Básica (MEC), Secretaria de Educação Básica. **Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/ SEB, volume 2, 2006.

_____. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM)**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, 1999.

DIOGO, R.C.; GOBARA, S.T. Sociedade, educação e ensino de física no Brasil: do Brasil Colônia ao fim da Era Vargas. In: **Simpósio Nacional de Ensino de Física**, 17., 2007, São Luis. Anais... São Luis: Sociedade Brasileira de Física, 2007.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I.C.C. Atividades experimentais de demonstração em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n.º. 2, p. 227-254, 2005.

HENRY, John. **A revolução científica e as origens da ciência moderna**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

MASINI, E. F. S; MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**: Condições para a ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos. 1. ed. São Paulo: Vetor, 2008.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1999.

_____. Ensino de Física no Brasil: retrospectivas e perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, n.1, p. 94-99, mar. 2000.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F.; SALZANO, E F. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MORTIMER, E. F. Pressupostos epistemológicos para uma metodologia de ensino de química: mudança conceitual e perfil epistemológico. **Química Nova**, vol. 15, n.º. 3, p. 242– 249, 1992.

NARDI, R. **Memórias da Educação em Ciências no Brasil: A pesquisa em Ensino de Física**. Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências. Departamento de Educação e Programa de Pós-Graduação para Ciências. Faculdade de Ciências –Universidade Paulista – UNEP. Campos de Bauru - São Paulo – Brasil.2004.

PEDRISA, C.M. Características históricas do ensino de ciências. **Ciência & Ensino**, Campinas, n. 11, p. 9-12, 2001.

SECRETARIA DA EDUCAÇÃO SEED. **Diretrizes Curriculares de Física para a Educação Básica**. Curitiba – PR, 2008.

SERÉ, Marie-Geneviève; COELHO, SUZANA MARIA; NUNES, ANTÔNIO DIAS. O Papel da Experimentação no Ensino de Física. In: **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis/BRA. v. 20, n.1, p.31-42, 2003.

VILLANI, Carlos Eduardo Porto; NASCIMENTO, SILVANIA SOUSA. A argumentação e o ensino de ciências: uma atividade experimental no laboratório didático de física do ensino médio. **Investigação em Ensino de Ciências**, Rio Grande do Sul, v.8, n.3, p.187-209, 2003.