

**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



## **DINÂMICA DE ROTAÇÃO PARA O ENSINO MÉDIO COM USO DE EXPERIMENTO DE BAIXO CUSTO**

**DÁCIO ALVES DE AZEVEDO**

Mossoró - RN  
2015

DÁCIO ALVES DE AZEVEDO

**DINÂMICA DE ROTAÇÃO PARA O ENSINO MÉDIO COM USO DE  
EXPERIMENTO DE BAIXO CUSTO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UFERSA como pré-requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino Física.

Orientador (a): Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Erlania Lima de Oliveira.

Co-orientador (a): Prof. Dr. Rafael Castelo Guedes Martins.

Mossoró - RN

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO TEIXEIRA - CAMPUS MOSSORÓ  
Setor de Informação e Referência

A994d Azevedo, Dácio Alves de.

Dinâmica de rotação para o ensino médio com uso de experimento de baixo custo / Dácio Alves de Azevedo. - Mossoró, 2016.  
94f. il.

Orientador: Erlania Lima de Oliveira  
Co-Orientador: Rafael Castelo Guedes Martins

Dissertação (MESTRADO PROFISSIONAL EM FÍSICA) -  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pesquisa e  
Pós-Graduação

1. Rotação. 2. Física - ensino. 3. Ensino médio. 4. Processo ensino-aprendizagem. 5. Experimento de baixo custo. I. Título

RN/UFERSA/BOT/058

CDD 531.113



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

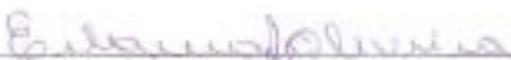
DÁCIO ALVES DE AZEVEDO

**DINÂMICA DE ROTAÇÃO PARA O ENSINO MÉDIO COM USO DE  
EXPERIMENTOS DE BAIXO CUSTO**

Dissertação apresentada à Universidade  
Federal Rural do Semi-Árido, campus  
Mossoró, como parte das exigências para  
a obtenção do título de Mestre em  
Ensino de Física.

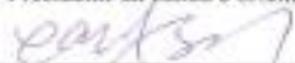
Aprovada em: 17/12/2015

BANCA EXAMINADORA



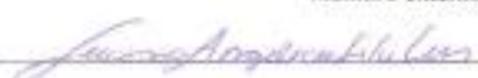
Prof. Dra. Erlania Lima de Oliveira – UFERSA

Presidente da banca e orientadora



Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos - UFERSA

Membro externo



Prof. Dra. Luciana Angélica da Silva Nanes – UFERSA

Membro interno



Prof. Dr. Geovani Ferreira Barbosa – UFERSA

Membro interno

Dedico este trabalho à minha esposa, Patrícia Roque, à minha irmã, Sandra Alves, à minha mãe, Nilda Alves, à minha tia, Nilba Alves, e aos meus avós, João Firmino e Carmosina (in memoriam).

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus Professores da UFERSA, pela dedicação ao Mestrado.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Erlania Lima de Oliveira, pela dedicação nas correções e orientações neste período de aprendizado.

Ao Prof. Dr. Rafael Castelo Guedes Martins, pelas dicas e ideias que fizeram diferença neste trabalho.

À minha colega de Pós-Graduação Monique Braga Barbosa, que nesse período me ajudou muito.

Ao IFPB – Campus SOUSA, pela confiança no meu trabalho.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

*Curo todas as feridas, saio e piso na  
manhã tranquila sem nem olhar pra trás, o  
temporal passou e o dia quase amanheceu  
em paz.(Uns e Outros)*

## RESUMO

Motivar o aluno em sala de aula é, atualmente, um dos principais problemas enfrentados pelos professores de Física no ensino médio, pois o ensino de Física não tem acompanhado os avanços tecnológicos ocorridos nas últimas décadas e tem se mostrado cada vez mais distante da realidade dos alunos. Neste cenário, experimentos de baixo custo constituem uma das alternativas na construção de uma ponte entre o conteúdo ministrado em sala de aula e o cotidiano dos alunos. Este trabalho tem como objetivo utilizar materiais de baixo custo nas aulas de Dinâmica de Rotação, como ferramenta para o professor estimular e dirigir o processo ensino-aprendizagem. Assim, foi desenvolvido um produto educacional constituído pelos experimentos e uma página na internet sobre o tema abordado, onde o visitante tem a oportunidade de verificar passo a passo os experimentos realizados em sala de aula, através de fotos e vídeos, com a finalidade de suprir uma carência observada em alguns livros didáticos utilizados no Ensino Médio, acerca do tema Dinâmica de Rotação. O trabalho foi desenvolvido com alunos da primeira série do Ensino Médio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, no Campus da cidade de Sousa. Foram feitos alguns arranjos experimentais com materiais de baixo custo, em conformidade com a teoria da Aprendizagem de Resolução de Problemas de Robert Mills Gagné. Como forma de avaliar o método utilizado, os alunos foram submetidos ao pré e ao pós-testes para avaliar o ganho na aprendizagem sobre o assunto abordado. Analisando os resultados obtidos nestes testes, pôde-se identificar um aumento significativo (21%) de acertos nos pós-testes. Além disso, foi possível observar um estímulo ao caráter investigativo, à tomada de decisão e à aprendizagem colaborativa. Os resultados sugerem a eficácia do uso de experimentos de baixo custo como estratégia de ensino para estimular e para construir coletivamente o conhecimento de forma ativa e participativa.

**Palavras-chave:** Ensino de Física, Dinâmica de Rotação, Experimento de baixo custo, Teoria da Aprendizagem de Resolução de Problemas, Ensino-Aprendizagem.

## ABSTRACT

Motivating students in the classroom is currently one of the main problems faced by physics teachers in secondary education, for the teaching of physics has not accompanied the technological advances in the past decades and has been increasingly distant from the reality of students. In this scenario, low-cost experiments are an alternative to building a bridge between the content taught in the classroom and the daily lives of students. This work aims to use low-cost materials in rotation dynamics classes as a tool for the teacher to stimulate and direct the teaching-learning process. So we developed an educational product consisting of the experiments and a website about the topic, in which the visitor has the opportunity to check step by step experiments in the classroom, through photos and videos, for the purpose of fill a shortage observed in some textbooks used in high school on the topic Rotation dynamics. The study was conducted with students from the first high school series of the Federal Institute of Education, Paraíba of Science and Technology Campus City Sousa. They made some experimental arrangements with inexpensive materials, in accordance with the theory of Troubleshooting Learning Robert Mills Gagné. In order to evaluate the method used, the students were submitted to pre and post-tests to assess the gain in learning about the subject matter. Analyzing the results obtained in these tests, it was possible to identify a significant increase (21%) scores in post-test. Furthermore, we observed a stimulus to investigative character, decision-making and collaborative learning. The results suggest the efficacy of low-cost experiments as a teaching strategy to stimulate and to collectively build the knowledge of active and participatory manner.

**Keywords:** Physics Teaching, Rotational Dynamics, Low-cost Experiment, Problem-Based Learning Theory, Teaching and Learning.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Fluxograma do Trabalho
- Figura 2** Centro de massa de um objeto simétrico
- Figura 3** Centro de massa de um objeto não-simétrico
- Figura 4** Deslocamento angular
- Figura 5** Torque aplicado em uma porta
- Figura 6** Conceito de torque
- Figura 7** Regra da mão direita 1
- Figura 8** Regra da mão direita 2
- Figura 9** Relação de livros do ensino médio
- Figura 10** Localização da cidade de Sousa
- Figura 11** Alguns materiais usados nos experimentos
- Figura 12** Equilíbrio de pedras de mármore
- Figura 13** Equilíbrio de garfos de metal
- Figura 14** A dança da vela
- Figura 15** Torre de Pisa
- Figura 16** Fogos de artifícios
- Figura 17** Centro de massa do triângulo
- Figura 18** João bobo tigre
- Figura 19** Resultado de todas as respostas do questionário prévio – centro de massa
- Figura 20** Resultado de respostas das alternativas do questionário prévio – centro de massa
- Figura 21** Resultado de todas as respostas do questionário avaliativo – centro de massa
- Figura 22** Resultado de respostas das alternativas do questionário avaliativo – centro de massa
- Figura 23** Comparativo entre o questionário prévio e avaliativo – centro de massa
- Figura 24** Carrinho em movimento circular uniforme
- Figura 25** Carrinho saindo pela tangente de uma curva
- Figura 26** Velocidade tangente à curva

- Figura 27** Largada no atletismo
- Figura 28** Pião girando na mão
- Figura 29** Hélice de ventilador
- Figura 30** Resultado de todas as respostas do questionário prévio –  
cinemática angular
- Figura 31** Resultado de respostas das alternativas do questionário prévio –  
cinemática angular
- Figura 32** Resultado de todas as respostas do questionário avaliativo –  
cinemática angular
- Figura 33** Resultado de respostas das alternativas do questionário avaliativo  
– cinemática angular
- Figura 34** Comparativo entre o questionário prévio e avaliativo – cinemática  
angular
- Figura 35** Bolas rolando num plano inclinado
- Figura 36** Carrinho de supermercado
- Figura 37** Bolinhas girando
- Figura 38** Equilibrista de circo
- Figura 39** Bailarina girando
- Figura 40** Resultado de todas as respostas do questionário prévio –  
momento de inércia
- Figura 41** Resultado de respostas das alternativas do questionário prévio –  
momento de inércia
- Figura 42** Resultado de todas as respostas do questionário avaliativo –  
momento de inércia
- Figura 43** Resultado de respostas das alternativas do questionário avaliativo  
– momento de inércia
- Figura 44** Comparativo entre o questionário prévio e avaliativo – momento  
de inércia
- Figura 45** Gangorra de régua – situação 2
- Figura 46** Gangorra de régua – situação 1
- Figura 47** Torque na porta – situação 1
- Figura 48** Torque na porta – situação 2
- Figura 49** Torque no martelo – situação 1

- Figura 50** Torque no martelo – situação 2
- Figura 51** Torque na porta com duas pessoas
- Figura 52** Torque na chave
- Figura 53** Torque na gangorra – situação 1
- Figura 54** Torque na gangorra – situação 2
- Figura 55** Torque no ippon
- Figura 56** Carrinho de mão
- Figura 57** Resultado de todas as respostas do questionário prévio - torque
- Figura 58** Resultado de respostas das alternativas do questionário prévio - torque
- Figura 59** Resultado de todas as respostas do questionário avaliativo - torque
- Figura 60** Resultado de respostas das alternativas do questionário avaliativo - torque
- Figura 61** Comparativo entre o questionário prévio e avaliativo - torque
- Figura 62** Cadeira giratória – braços abertos
- Figura 63** Cadeira giratória – braços fechados
- Figura 64** Hélice de brinquedo
- Figura 65** Conservação do momento angular
- Figura 66** Torque no parafuso
- Figura 67** Helicóptero
- Figura 68** Resultado de todas as respostas do questionário prévio – momento angular
- Figura 69** Resultado de respostas das alternativas do questionário prévio – momento angular
- Figura 70** Resultado de todas as respostas do questionário avaliativo – momento angular
- Figura 71** Resultado de respostas das alternativas do questionário avaliativo – momento angular
- Figura 72** Comparativo entre o questionário prévio e avaliativo – momento angular

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1** Relação de livros do ensino médio.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
1.1 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO MÉDIO .....	15
1.2 OBJETIVOS .....	17
1.3 METODOLOGIA .....	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	22
2.1 A TEORIA DA APRENDIZAGEM DE GAGNÉ .....	23
3 ESTUDOS RELACIONADOS À DINÂMICA DE ROTAÇÃO .....	27
3.1 CENTRO DE MASSA .....	27
3.2 CINEMÁTICA ANGULAR .....	28
3.3 MOMENTO DE INÉRCIA .....	30
3.4 TORQUE .....	31
3.5 MOMENTO ANGULAR .....	33
4 APLICAÇÃO DO PRODUTO E RESULTADOS .....	35
4.1 IMPLEMENTAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO .....	37
4.2 AULA 1 (CENTRO DE MASSA) .....	38
4.2.1 Experimentos .....	38
4.2.2 Resultados e Discussões .....	41
4.3 AULA 2 (CINEMÁTICA ANGULAR) .....	48
4.3.1 Experimento .....	48
4.3.2 Resultados e Discussões .....	51
4.3.3 Conclusão .....	58
4.4 AULA 3 (MOMENTO DE INÉRCIA) .....	58
4.4.1 Experimento .....	58
4.4.2 Resultados e Discussões .....	60
4.4.3 Conclusão .....	66
4.5 AULA 4 (TORQUE) .....	67
4.5.1 Experimentos .....	67
4.5.2 Resultados e Discussões .....	70
4.5.3 Conclusão .....	79
4.6 AULA 5 (MOMENTO ANGULAR E SUA CONSERVAÇÃO) .....	79
4.6.1 Experimentos .....	79
4.6.2 Resultados e Discussões .....	82
4.6.3 Conclusão .....	88

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	90
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO MÉDIO

Motivar o aluno em sala de aula é, atualmente, um dos principais problemas enfrentados pelos professores de Física no Ensino Médio, pois o ensino de Física tem se mostrado cada vez mais distante da realidade vivencial dos alunos. No Ensino Médio, a Física é tratada como uma ciência abstrata, ou seja, o processo de ensino-aprendizagem, na maioria das vezes, ocorre com grande rigor matemático, com situações que não fazem parte do dia-a-dia dos alunos e que objetivam apenas o caráter numérico da situação envolvida. No entanto, a Física tem como principal objetivo compreender os fenômenos da natureza, ou seja, o ensino de Física deve ser capaz de proporcionar ao aluno a compreensão do mundo onde ele vive e não apenas treinar o aluno para passar no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), como vem acontecendo atualmente.

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), que têm como objetivo orientar os Professores na busca de novas metodologias de ensino,

Esse quadro não decorre unicamente do despreparo dos professores, nem de limitações impostas pelas condições escolares deficientes. Expressa, ao contrário, uma deformação estrutural, que veio sendo gradualmente introjetada pelos participantes do sistema escolar e que passou a ser tomada como coisa natural. Na medida em que se pretendia ou propedêutico ou técnico, em um passado não muito remoto, o Ensino Médio possuía outras finalidades e era coerente com as exigências de então. “Naquela época”, o ensino “funcionava bem”, porque era propedêutico. Privilegiava-se o “desenvolvimento do raciocínio” de forma isolada, adiando a compreensão mais profunda para outros níveis de ensino ou para um futuro inexistente. (BRASIL, 1999, pág. 22-23).

Isso demonstra a necessidade de se buscar novas formas de “ensinar” Física, pois hoje o professor tem uma realidade bem diferente daquela que tinha no passado, os alunos atualmente têm diante de si uma infinidade de informações. O aluno precisa se apropriar do conhecimento científico e, dessa maneira, ser capaz de dar respostas

às perguntas sobre as situações e fenômenos que estão ao seu redor. Quando isso acontecer, o aluno terá estímulo para ir à escola, para querer aprender.

O conteúdo estudado em sala de aula deve ser contextualizado e integrado à vida dos estudantes, levando-se em conta o momento de transformações em que vivemos. Nesse cenário, é importante que os alunos adquiram um conjunto de conhecimentos e competências essenciais para uma educação científica que lhes será útil para entender o mundo moderno (BRASIL, 1999, P. 27).

Com essa compreensão, o aluno será capaz de compreender, opinar e tomar decisões baseadas no entendimento sobre o progresso científico/tecnológico. O ensino de Física deve estar voltado para a vida individual, social e profissional dos estudantes. Dentro desse contexto, o uso de experimentos como estratégia de ensino de Física tem sido defendido há bastante tempo (HIGA, 2012; ARAÚJO, 2003) e o seu uso tem sido apontado como um recurso importante na interpretação das teorias físicas e suas leis, como mostrado em várias pesquisas de ensino (RUBINI, 2014; DUARTE, 2012; FERNANDES, 2009; SANTOS, 2004). Segundo esses autores, experimentos de baixo custo são ferramentas didáticas que podem auxiliar as aulas de Física. Sendo um instrumento que pode ser usado para contornar o problema da falta de laboratórios nas escolas de Ensino Médio e, também, uma forma de aproximar o aluno da ciência, facilitando, dessa forma, o processo de ensino-aprendizagem através de materiais encontrados no seu cotidiano e de experimentos que podem ser facilmente reproduzidos.

No entanto, para alcançar o objetivo desejado, é necessário planejar as aulas e as atividades com antecedência; é importante, também, que o professor garanta a participação de todos os alunos na execução do experimento. Além disso, deve-se utilizar estratégias que mantenham a atenção dos alunos nas atividades, tais como solicitar registros escritos dos fenômenos observados e fazer questionamentos durante o experimento (OLIVEIRA, 2010), pois quando são solicitadas ao aluno justificativas que expliquem os fenômenos observados, eles são encorajados a romper a passividade que, geralmente, lhes é imposta na abordagem tradicional, possibilitando a construção do conhecimento de forma crítica e ativa e o desenvolvendo da autonomia dos alunos (GALIAZZI, 2004). O professor deve incentivá-los a participar das discussões, pois é através de suas ideias que será

reconstruído o conhecimento, ou seja, elas serão usadas como articuladoras de novos saberes (SOUSA, 2012).

Apesar de a experimentação ter sido apontada por vários pesquisadores como uma excelente ferramenta para demonstrar conceitos de Física, a maioria dos livros didáticos não utiliza esse recurso. Os que utilizam, geralmente, usam materiais de alta qualidade, inacessíveis ao aluno de escola pública, conseqüentemente, este recurso também é pouco usado pelos professores das escolas públicas, ainda que várias pesquisas mostrem que tanto professores como alunos consideram a experimentação um ótimo recurso para motivar o aluno a estudar Física (ARAÚJO, 2003).

Portanto, experimentos de baixo custo mostraram-se muito importantes no processo de ensino, por ser uma alternativa superacessível, capaz de estimular a autonomia dos estudantes, além de vincular o conteúdo estudado em sala de aula com o cotidiano. Outro ponto importante é a parte lúdica do experimento, já que quando o aluno manipula os objetos de estudo, há uma melhor compreensão da situação, melhor entendimento do fenômeno estudado, deixando o aluno numa condição de saber o que fazer diante do fenômeno analisado, permitindo-lhe aprimorar e, também, amenizar os erros que eventualmente acontecem em um experimento.

## 1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem dois objetivos principais, a saber: i) utilizar materiais de baixo custo nas aulas de Física do Ensino Médio, como ferramenta para o professor estimular a autonomia dos alunos no processo de construção do conhecimento, de forma ativa e estimuladora. ii) suprir uma carência observada em alguns livros didáticos utilizados no ensino médio. Nesse contexto, a física será apresentada de uma maneira alternativa, sem as temidas equações matemáticas, com curiosidades do cotidiano do aluno sendo respondidas em forma de experimentos simples.

Nessa perspectiva, os objetivos específicos deste trabalho se baseiam nos seguintes pontos: i) a aprendizagem do aluno mediante modelo pedagógico apresentado; ii) a relação professor-aluno no âmbito da sala de aula referente ao processo ensino-aprendizagem do conteúdo ministrado, dando ênfase ao comportamento e interesse por parte do discente; iii) a eficácia das atividades

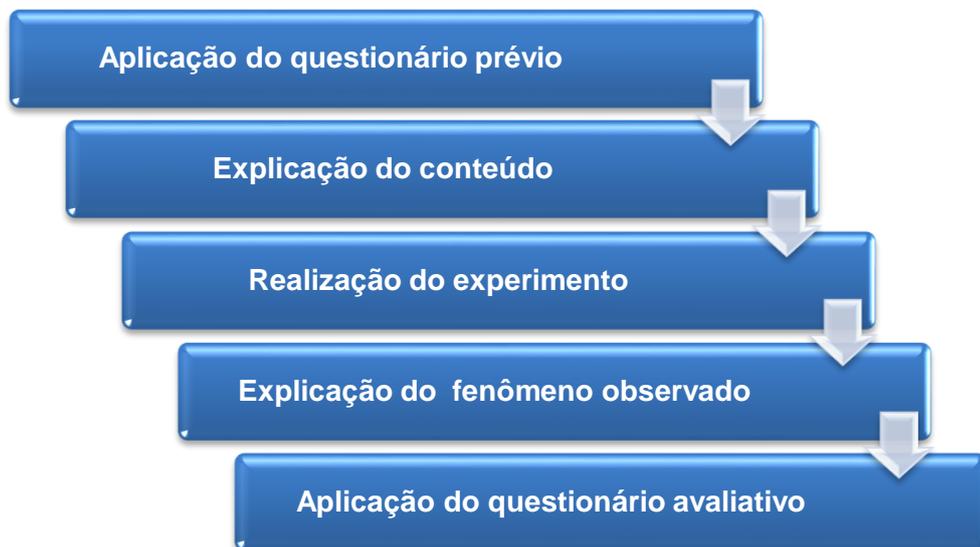
experimentais desenvolvidas em sala de aula; iv) os resultados comparativos dos questionários prévio e avaliativo aplicados durante a aula.

### 1.3 METODOLOGIA

A metodologia empregada em todas as aulas ministradas para a realização deste trabalho está baseada no fluxograma abaixo. Esta sequência foi pensada de modo adequar o conteúdo ministrado à teoria de aprendizagem de Robert Mills Gagné.

Este trabalho tem como objetivo utilizar materiais de baixo custo nas aulas de Dinâmica de Rotação, como ferramenta para o professor estimular e dirigir o processo ensino-aprendizagem.

**Figura 1:** Fluxograma do trabalho.



**Fonte:** Autoria própria.

Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais, “Espera-se que o ensino de Física contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação” (BRASIL, 1999, p. 22). A fim de atingir este objetivo, o

presente trabalho utilizou-se como estratégia a participação dos alunos nos experimentos, dando suas contribuições com sugestões, discutindo entre si sobre o fenômeno visualizado e, muitas vezes, tirando suas próprias conclusões a respeito do assunto.

Em relação às habilidades e competências que o aluno tem de adquirir ao longo da sua vida, é importante frisar sobre a qualidade dos processos de acesso a universidades, que, no país, a porta de entrada se dá, na maioria dos casos por meio do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Essa seleção tem como diferencial “tratar as questões de uma forma contextualizada, buscando uma articulação das competências gerais que se deseja promover com os conhecimentos disciplinares” (BRASIL, 2001, p.1).

- Desenvolver a capacidade de investigação física. Classificar, organizar, sistematizar. Identificar regularidades. Observar, estimar ordens de grandeza, compreender o conceito de medir, fazer hipóteses, testar.
- Conhecer e utilizar conceitos físicos. Relacionar grandezas, quantificar, identificar parâmetros relevantes. Compreender e utilizar leis e teorias físicas.
- Compreender a Física presente no mundo vivencial e nos equipamentos e procedimentos tecnológicos. Descobrir o “como funciona” de aparelhos.
- Construir e investigar situações-problema, identificar a situação física, utilizar modelos físicos, generalizar de uma a outra situação, prever, avaliar, analisar previsões.
- Articular o conhecimento físico com conhecimentos de outras áreas do saber científico. (BRASIL, 1999, p.29).

Para adquirir essas competências e habilidades, o aluno precisa entre outras coisas de um material que satisfaça e que contemple a grade estrutural desse tipo de seleção. Diante dessa realidade, a metodologia utilizada neste trabalho condiz com as condições e regras do PCN+, dando um melhor apoio didático ao aluno.

É indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir, em diferentes formas e

níveis. É dessa forma que se pode garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desenvolvendo sua curiosidade e o hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável. (BRASIL, 2001, p.111).

A matriz de referência do Enem no edital de 2015, traz na competência de área 6, especificamente no item H20 - *Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes* - concordando assim com este trabalho realizado numa turma da primeira série do Ensino Médio.

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa nos livros didáticos mais utilizados no país e verificou-se que o tema “Dinâmica de Rotação” é carente na maioria deles. A Tabela 1 mostra o resultado desta pesquisa.

**Tabela 1:** Relação de livros do ensino médio.

LIVRO DIDÁTICO	COMPONENTE CURRICULAR				
	Centro de Massa	Cinemática Angular	Momento de Inércia	Torque	Momento Angular e sua Conservação
<b>Física Clássica</b> - Caio Sérgio Calçada, José Luiz Sampaio	X	X			
<b>Universo da Física</b> - Caio Sérgio Calçada, José Luiz Sampaio	X	X			
<b>Tópicos da física</b> - Ricardo Helou Doca, Gualter José Biscuola, Newton Villas Bôas	X	X			
<b>Os Alicerces da física</b> – Luiz Felipe Fuke, Carlos Tadashi Shigekiyo, Kasuhito Yamamoto	X	X			
<b>Física</b> – Ricardo Helou Doca, Gualter José Biscuola, Newton Villas Bôas	X	X			
<b>Física Ciência e Tecnologia</b> – Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo César Penteado, Paulo Toledo Soares, Carlos Magno Torres	X	X			X
<b>GRAF</b> – Grupo de Reelaboração no Ensino de Física		X	X	X	X

**Fonte:** Autoria própria.

É notória a carência do assunto de dinâmica de rotação nos principais livros didáticos do Ensino Médio do país, onde se tem uma amostra de sete livros

diferentes que não abrangem todos os tópicos do tema em questão. Nota-se que a maioria deles não abrange momento de inércia, torque e momento angular. Este fato é particularmente preocupante, pois o livro didático desempenha um papel muito importante no processo de aprendizagem, já que este serve como guia para a elaboração das aulas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os adultos passam a intervir nas atividades das crianças, com um planejamento de ensino que foi denominado de didática. As teorias de aprendizagem não são novas, visto que são mensuradas desde Comênio (1592-1670), com sua obra, a *Didacta Magna*, na qual defende que o homem deve ser educado de acordo com o seu desenvolvimento natural, respeitando sua idade e capacidade, até Paulo Freire (1921-1997), com sua *Pedagogia do Oprimido*, na qual se vê a importância de uma sociedade menos dominadora. Na tentativa de criar uma proposta que minimize os problemas citados anteriormente, procurou-se inspiração em algumas teorias de aprendizagem existentes.

Ivan Pavlov (1849-1936), com sua teoria de reflexos condicionados, declama que um cão saliva somente em ouvir um sinal sonoro repetido por várias vezes associado a um alimento, levando a uma alteração na função orgânica do animal para a concretização o aprendizado. Já Skinner (1904-1990), com sua teoria de extinção e esquecimento, diz que, na extinção, há uma redução gradual na frequência de uma resposta e, no esquecimento, essa frequência também diminui por conta da resposta não ter sido emitida durante muito tempo. Jean Piaget (1896-1980), com sua ideia cognitiva de assimilação, relata que a interação do sujeito com o objeto é iniciativa do organismo, por exemplo, quando se diz que uma grandeza física é vetorial, incorpora-se a essa grandeza um vetor, ou seja, o conhecimento da realidade não é modificado, caso contrário ao da acomodação, onde há modificação no processo de aprendizagem, quando o meio apresenta dificuldades.

Já o pensador Robert Mills Gagné (1916-2002) considera o comportamento do indivíduo como evidência de sua aprendizagem, mas leva em consideração o que se passa na sua cabeça. Nessa perspectiva, com o intuito de fazer valer os objetivos deste trabalho que foram expostos na Introdução, usou-se uma das teorias desse autor, que é a Resolução de Problemas, pois, com aplicação dos questionários, as aulas expositivas e a parte experimental, o professor tem condições de verificar as habilidades iniciais dos alunos e usá-las como meios para promover novos saberes.

Segundo Gagné (1983), o processo de aprendizagem se realiza a partir do momento em que a situação estimuladora interfere de tal forma com o aprendiz, que o desempenho por ele apresentado antes de entrar em contato com essa situação

se altera depois de ser colocado. A modificação do desempenho é que nos leva à conclusão de que a aprendizagem se concretizou.

O professor deve desafiar o aluno, deixá-lo desconfortável em relação a certo fenômeno físico que acontece ao seu redor, a fim que este perceba a importância de querer saber o porquê daquela ocorrência. A didática do professor deve seguir as inovações, buscar novas metodologias, exemplos do dia-a-dia, acontecimentos que estejam próximos do aluno, instigar sua curiosidade, torna-lo capaz de construir o seu próprio conhecimento. É importante que o professor investigue as habilidades de cada aluno, pois, só dessa forma, ele poderá ser o agente estimulador no processo de ensino aprendizagem.

Nas escolas brasileiras, a deficiência na aprendizagem em Física tem várias vertentes. Uma delas é o desinteresse dos alunos por Física, que se explica pela falta de motivação, pois as aulas, na maioria das vezes, são realizadas através de procedimentos mecânicos, sem nenhum significado para o aluno. No entanto, como se falou anteriormente, existem elementos que podem tornar essas aulas mais atrativas, como a manipulação de objetos do dia a dia na confecção de um aparato experimental, em que o aluno pode fazê-lo em casa sem muita dificuldade. Tornar o aluno investigativo, fazer com que ele pense, pergunte e discorde, faz da aula um prazer e melhora o processo ensino-aprendizagem.

## 2.1 A TEORIA DA APRENDIZAGEM DE GAGNÉ

A teoria de aprendizagem adotada neste trabalho foi a “Resolução de Problemas”, que foi escolhida por ter uma importante relação entre os conteúdos abordados e o conhecimento prévio dos alunos, onde os mesmos são postos a pensar e dar explicações sobre os fenômenos observados no experimento, interagindo com o ambiente externo, tendo o professor como mediador deste processo. Nessa teoria, acredita-se que a aprendizagem é uma modificação na disposição ou na capacidade do homem, independente do seu processo de crescimento, manifestando-se como uma alteração no comportamento, como se fosse um “antes e depois” de uma situação de aprendizagem (MORAIS, 2010).

De acordo com Gagné (1983), é muito importante levar em conta os conhecimentos prévios dos alunos no processo de ensino-aprendizagem, pois essas

habilidades iniciais desempenham um papel importante na determinação das condições requeridas para uma aprendizagem posterior, além disso, também é importante considerar o meio em que eles vivem.

Sendo assim, para obter-se êxito no processo de ensino-aprendizagem, o professor deverá: i) diagnosticar a realidade dos alunos; ii) planejar as aulas e as atividades com antecedência, focando no estímulo à autonomia; iii) fazer possíveis intervenções em sala de aula, promovendo o debate entre os alunos; iv) trabalhar em grupo, para a construção coletiva do conhecimento; v) acompanhar e avaliar os alunos durante o processo de ensino-aprendizagem.

O professor deve, portanto, evitar o mecanismo de fuga, no qual pensa erroneamente que o estudante ainda não está suficientemente maduro para aprender determinado assunto, pois, qualquer aprendiz tem condições de apreender um novo conhecimento quando lhe são apresentados requisitos prévios, ou seja, quando já adquiriu a habilidade necessária por meio de uma aprendizagem anterior. (GAGNÉ, 1983).

Em sua obra, Gagné (1983) diz que ENSINAR significa organizar as condições exteriores próprias à aprendizagem, na qual essa organização deve ser gradual, levando-se em conta, em cada etapa, as habilidades recentemente adquiridas. Foi com base nesse ponto de vista que os tópicos do presente trabalho foram cuidadosamente organizados, assim como os experimentos realizados em sala de aula, que fazem parte do conteúdo e que podem ser batizados de “situação estimuladora”.

Outro fator importante dentro das condições de aprendizagem diz respeito à escolha de metodologias, mecanismos para o ensino. Na maioria das escolas brasileiras, usa-se apenas a comunicação oral e escrita, mas, dependendo dos recursos adotados, a aprendizagem pode ser organizada de maneira e grau diferentes, isso por que uns se adaptam mais facilmente a objetos educacionais que outros.

Segundo Gagné (1983), quando o indivíduo interage com o ambiente, o que chama de *input*, como consequência terá o *output*, que é uma modificação do comportamento que é observada como um desempenho humano, o que difere explicitamente com as ideias de Skinner, mas por sua vez, está de acordo com pensamentos behavioristas.

À primeira vista, o conceito de aprendizagem proposto por Gagné (1983) insere-se no contexto de uma abordagem behaviorista, do tipo 'estímulo-resposta'. Entretanto, contrariamente à posição de Skinner, por exemplo, que não está preocupado com processos intermediários (entre o estímulo e a resposta), e sim com o controle do comportamento por meio das respostas do indivíduo, Gagné (1983) focaliza o processo da aprendizagem. Na abordagem skinneriana o que interessa é o comportamento observável e não o que ocorre na mente do indivíduo durante o processo de aprendizagem, enquanto que na de Gagné (1983) a aprendizagem é algo que se realiza 'dentro da cabeça' do indivíduo e é destacada a importância das teorias de aprendizagem. (MOREIRA,1999).

Não se pode observar diretamente ainda a conexão entre o estímulo e a resposta em um indivíduo, a ciência não chegou nesse nível, mas através de teorias podemos apontar ocorrências que descrevam alguma aprendizagem. Na teoria da "Resolução de Problemas", o indivíduo, uma vez adquirido alguns princípios, ele pode utilizá-los com finalidades diversas e melhorá-los. Isso significa que o indivíduo pode e tem condições de buscar novos princípios de uma hierarquia mais elevada, combinando antigos e novos princípios, torna-se apto a resolver problemas novos e adquirindo uma maior reserva de habilidades.

Algumas condições podem ser identificadas sobre esse tipo de aprendizagem: i) o indivíduo que aprende é capaz de perceber traços da resposta antes mesmo de chegar a ela; ii) os princípios entendidos anteriormente devem ser lembrados; iii) os princípios lembrados combinam-se de maneira que um novo princípio apareça e seja aprendido; iv) os degraus da sabedoria envolvidos no problema resultantes do ato de pensar, parecem ser resistentes ao esquecimento. Na tentativa de compreender como se dá a aprendizagem, foram utilizados conceitos desta teoria na busca de associar o conteúdo estudado com o dia-a-dia dos alunos. "Quando a solução do problema é alcançada, alguma coisa é sempre aprendida, no sentido de que a capacidade do indivíduo se modificou mais ou menos permanentemente" (GAGNÉ, 1983).

O propósito deste estudo é auxiliar o professor no planejamento de suas aulas e suas atividades de forma positiva, promovendo a discussão entre os alunos, focando

principalmente na construção coletiva do conhecimento e assim despertar o interesse e a curiosidade do estudante pela ciência.

Este trabalho surgiu dos problemas encontrados como professor de Física do Ensino Médio, pois a maioria dos livros didáticos não aborda o tema de Dinâmica de Rotação, assim como as atividades experimentais. Abrindo-se uma lacuna na formação do aluno, no sentido da carência de contextualização no meio tecnológico, afetando seu interesse pela ciência e, possivelmente, propiciando o aparecimento de dificuldades no acompanhamento das disciplinas de Física no Ensino Superior.

De acordo com os PCN,

O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos.

Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas. (BRASIL, 1999, p.22).

Na tentativa de minimizar esse problema, utilizou-se, neste estudo, como fundamentação teórica, a Resolução de Problemas, a partir da qual o aluno pode combinar os princípios já aprendidos com novos princípios de hierarquia mais elevada. “Combinando princípios antigos e novos somos capazes de resolver problemas novos, adquirindo assim uma maior reserva de habilidade.” (GAGNÉ, 1983).

Ou seja, durante as discussões em sala de aula procurou-se articular o conhecimento prévio do aluno com o conteúdo ministrado na tentativa de uma aprendizagem mais significativa, em que o aluno possa relacionar os conteúdos da sala de aula com situações vivenciadas no dia-a-dia. Assim, poder-se-á contribuir na formação de cidadãos capazes de compreender, opinar e tomar decisões baseadas no entendimento sobre o progresso científico/tecnológico e os riscos e conflitos de interesses nele contidos.

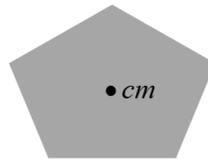
### 3 ESTUDOS RELACIONADOS À DINÂMICA DE ROTAÇÃO

Anteriormente foi estudada em sala de aula apenas a mecânica de partículas pequenas cuja estrutura interna não era importante. Para estudar o movimento de rotação, é preciso inicialmente descrever o centro de massa de um corpo, uma vez que serão considerados objetos de maior complexidade geométrica. No entanto, para simplificar, será discutido o movimento de um objeto ideal, denominado corpo rígido. O corpo rígido é um objeto no qual as forças entre os átomos são tão fortes e de uma característica tal, que forças pequenas que são necessárias para movê-lo não o dobram. A sua forma fica essencialmente a mesma quando ele se move (MATTHEW, FEYNMAN e LEIGHTON, 2008).

#### 3.1 CENTRO DE MASSA

O Centro de Massa (CM) de um corpo extenso ou de um sistema de partículas é o ponto onde toda sua massa fica concentrada. Considera-se que todas as forças externas são aplicadas nesse ponto. Os objetos que possuem eixo de simetria têm seu CM nesse eixo. Conforme se pode observar nas Figuras 2 e 3.

**Figura 2:** Centro de massa de um objeto simétrico.



**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 3:** Centro de massa de um objeto não-simétrico.



**Fonte:** Autoria própria.

Observe na Figura 2 que quando o objeto é simétrico e homogêneo, o CM se encontra no centro geométrico, entretanto, isso não ocorre quando o objeto não é simétrico (Fig.3), neste caso para localizar o CM consideraremos o corpo como sendo feito de muitas partículas pequenas e utiliza-se a seguinte equação:

$$\vec{r}_{cm} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i} \quad (1)$$

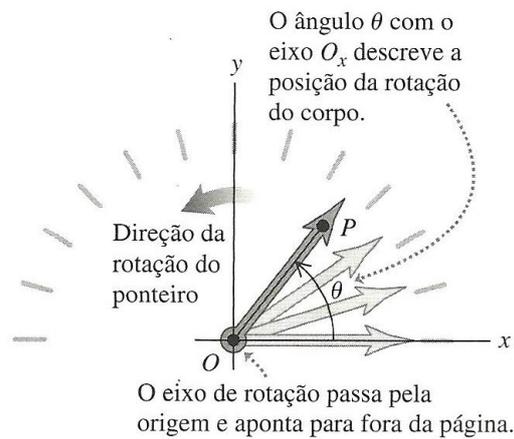
Para simplificar iremos considerar somente a direção x, porque se entendermos esta, podemos entender as outras duas direções:

$$X_{CM} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i} \quad (2)$$

Suponha que o corpo está dividido em pequenos pedaços, todos tendo a mesma massa  $m$ ; então a massa total é simplesmente o número  $N$  de pedaços. Então esta equação diz simplesmente que  $X_{CM}$  é a média de todos os  $x$ , se as massas são iguais (MATTHEW, FEYNMAN e LEIGHTON, 2008).

### 3.2 CINEMÁTICA ANGULAR

Para definir as grandezas angulares, considere inicialmente o eixo de rotação fixo, dessa forma não precisa levar em consideração o caráter vetorial de tais grandezas e em seguida marque um ponto em algum lugar no objeto que não seja no eixo. Dessa forma, pode-se localizar o objeto sabendo onde o ponto marcado se encontra, como mostra a Figura 4.

**Figura 4: Deslocamento angular**

**Fonte:** YOUNG, 2008, p.287.

A única informação necessária para descrever a posição deste ponto é o ângulo  $\theta$ . Portanto, podemos afirmar que a rotação consiste de um estudo da variação do ângulo com o tempo. Observe que o ponto P sofre um deslocamento angular  $\Delta\theta$  num intervalo de tempo  $\Delta t$ , ocasionando assim, uma velocidade angular média  $\omega_m$ , dada pela equação:

$$\omega_m = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (2)$$

Esta equação nos diz quanto o ângulo muda por unidade de tempo. Se o ângulo é medido em radianos e o tempo em segundos, então  $\omega_m$  será tantos e tantos radianos por segundo. Se a velocidade angular média do corpo varia então ele produz uma aceleração angular média:

$$\alpha_m = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (3)$$

Sabe-se que a velocidade linear  $v$  de cada ponto do corpo em rotação é tangente à curva da rotação e seu módulo pode ser determinado a partir do módulo do vetor  $\omega$ , ou vice-versa:

$$v = \omega R \quad (4)$$

Observe que a velocidade linear depende de R, sendo assim, partículas que se encontram em diferentes distâncias do eixo, possuem variáveis lineares diferentes. Por isso, é mais conveniente descrever o movimento de um corpo rígido através de variáveis angulares, pois todas as partes do corpo rígido possuem as mesmas variáveis angulares (YOUNG).

### 3.3 MOMENTO DE INÉRCIA

Um corpo rígido girando é constituído por massas em movimento, portanto possui energia cinética ( $E_c$ ). A energia cinética total deste corpo é a soma das energias cinéticas de todas as partículas que compõem o corpo:

$$K = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + \frac{1}{2} m_3 v_3^2 + \dots = \sum_i \frac{1}{2} m_i v_i^2 \quad (5)$$

Como  $v = \omega r$

$$K = \sum_{i=1} \frac{1}{2} m_i (\omega r_i)^2 = \frac{1}{2} \left( \sum_{i=1} m_i r_i^2 \right) \omega^2 \quad (6)$$

A grandeza entre parênteses é definida como o momento de inércia  $I$  do corpo em relação ao eixo de rotação. Isto é:

$$I = \sum_i m_i r_i^2 \quad (7)$$

O momento de inércia pode ser calculado como a soma dos momentos de inércia de cada pequena porção do corpo em relação a um eixo de rotação. A unidade de medida do momento de inércia no sistema Internacional de medidas é o  $\text{kg.m}^2$

Pode-se associar o momento de inércia com a massa no movimento de translação, no entanto, há uma diferença importante entre elas. A massa é uma propriedade intrínseca do corpo, no entanto o momento de inércia pode mudar, pois

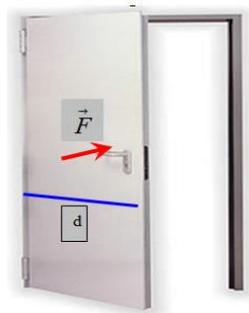
ele depende de como a massa está distribuída em relação ao eixo de rotação. Por exemplo, se ficarmos em pé em uma plataforma giratória e sem atrito com os nossos braços abertos e segurando algum peso em nossas mãos enquanto giramos, podemos mudar o momento de inércia flexionando nossos braços para dentro, mas nossa massa não muda.

### 3.4 TORQUE

Sabe-se que uma força atuando num corpo determina sua aceleração linear, entretanto, no movimento de rotação, apenas a força não é suficiente para determinar a aceleração angular. Para produzir o movimento rotacional é necessária uma ação giratória ou de rotação. A grandeza física que descreve a ação giratória do corpo é o *torque*, ou seja, o torque efetivo que atua sobre o corpo que determina a aceleração angular.

Para abrir uma porta, você certamente deve aplicar uma força, no entanto, apenas isso não é suficiente. Onde você aplica a força e o sentido da força também são importantes. Por exemplo, se a direção da força que você aplicar coincidir com seu raio de giro (reta que passa pelo ponto de aplicação da força e pelo eixo de rotação) não produzirá rotação e se você aplicar a força mais perto do eixo das dobradiças, ou em qualquer ângulo diferente de  $90^\circ$  em relação ao plano da porta, você precisa usar uma força mais intensa para mover a porta do que se aplicar a força na maçaneta perpendicular ao plano da porta.

**Figura 5:** Torque aplicado em uma porta.



**Fonte:** <<http://www.brasilecola.com/fisica/torque-uma-forca.htm>>

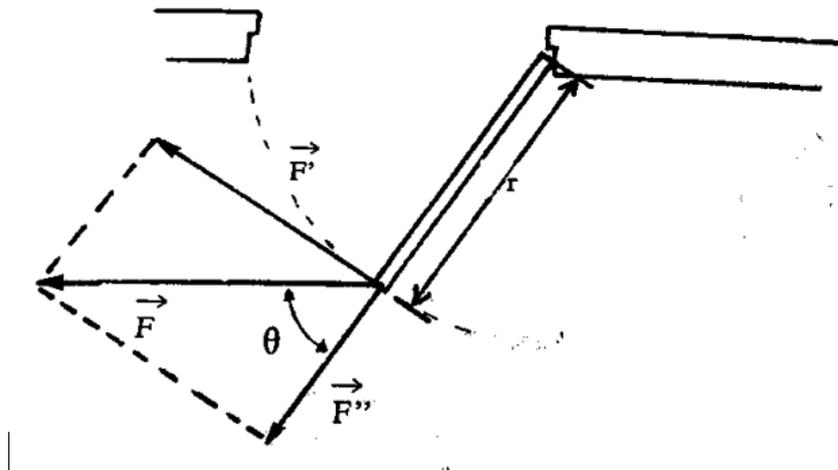
Assim, para que haja movimento de rotação de um corpo em relação ao eixo de rotação, é necessário que seja aplicada sobre o corpo, uma força “deslocada” em relação ao um eixo. Além disso, pelo menos uma componente da força aplicada deve ser perpendicular ao raio de giro. Dizemos que esta força produz um **torque** sobre o corpo em relação a esse eixo. Se o torque devido à força for nulo, ela não produz movimento rotacional.

A expressão matemática do módulo do torque de uma força relativamente a um certo eixo é:

$$\tau = rF' \quad (8)$$

em que  $F' = F \cdot \text{sen}\theta$  corresponde à componente da força na direção perpendicular ao raio de giro,  $\theta$  é o ângulo entre a direção do raio de giro e a força aplicada e  $r$  é o raio de giro, como mostra a figura 6. Neste caso, o sentido do torque se dá pela regra da mão direita, que aponta perpendicularmente para dentro da página.

**Figura 6:** Conceito de torque.



**Fonte:** GREF, 1999, p.83.

Assim como a velocidade angular, o torque é uma grandeza vetorial, para ser definida completamente, precisa ter definidos seu módulo, direção e sentido.

Tomando a direção do eixo de rotação coincidente com a do torque, o sentido desse torque é determinado pela regra da mão direita mostrado na Figura 7. Por convenção, dizemos que torque é positivo quando produz uma rotação no sentido anti-horário e negativo quando produz uma rotação no sentido horário.

**Figura 7:** Regra da mão direita 1.



**Fonte:** <[http://www.monolitonimbus.com.br/wp-content/uploads/2014/06/regra\\_mao\\_direita.jpg](http://www.monolitonimbus.com.br/wp-content/uploads/2014/06/regra_mao_direita.jpg)>

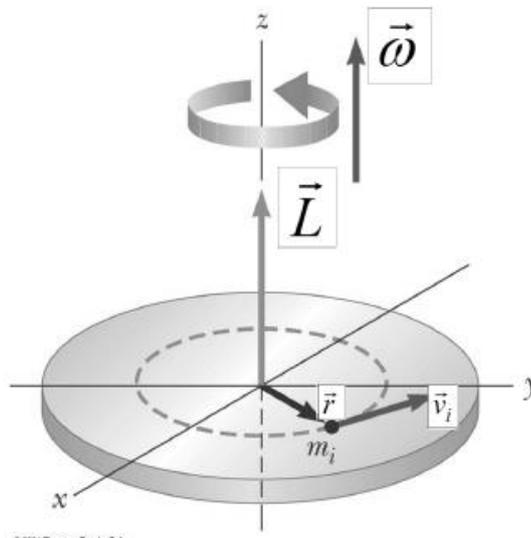
### 3.5 MOMENTO ANGULAR

Todo corpo que gira em relação a um referencial possui momento angular  $L$ , grandeza física que está relacionada com a direção de rotação. Quanto maior o momento angular de um corpo, mais difícil é alterar a sua direção de rotação.

Para um corpo rígido que gira em torno de um eixo de simetria,  $L$  e  $\omega$  possuem a mesma direção e o mesmo sentido (Figura 8). Logo, é válida a seguinte relação vetorial:

$$\vec{L} = I\vec{\omega} \quad (9)$$

Esta equação indica que o momento angular depende da velocidade angular e indica que sua direção e sentido são os mesmos da velocidade angular, como mostra a Figura 8.

**Figura 8:** Regra da mão direita 2.**Fonte:**

<[http://moodle.fct.unl.pt/pluginfile.php/147655/mod\\_resource/content/0/TRANSPARENCIAS/Aula16pb.pdf](http://moodle.fct.unl.pt/pluginfile.php/147655/mod_resource/content/0/TRANSPARENCIAS/Aula16pb.pdf)>.

Quando o torque externo resultante num corpo ou sistema de corpos é nulo, não há mudança de momento angular, portanto, o momento angular se conserva.

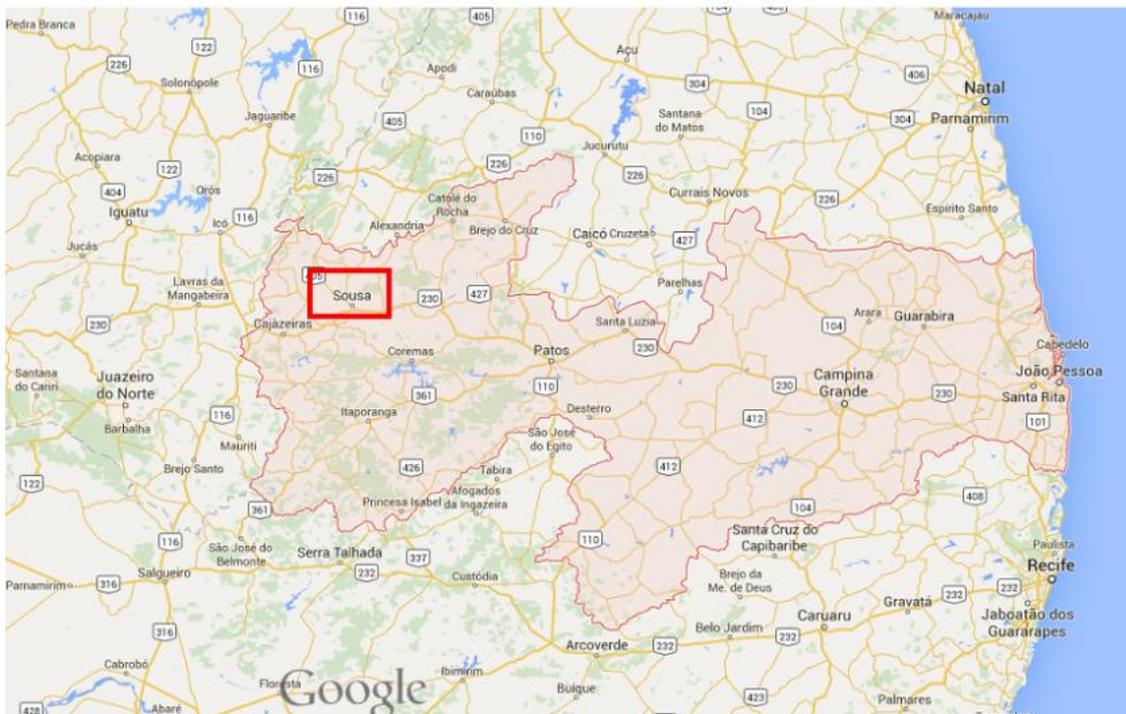
$$\frac{\vec{I}_1}{I_2} = \frac{\vec{\omega}_2}{\omega_1} \quad (10)$$

O momento de inércia e a velocidade angular são inversamente proporcionais. Podemos aplicar esta lei a uma acrobata que acabou de sair de um salto com braços e pernas estendidos, girando no sentido anti-horário em torno de seu centro de massa. Quando ela fecha os braços e as pernas seu momento de inércia em relação ao centro de massa diminui. A única força externa que atua sobre a acrobata é o peso, que não possui nenhum torque em relação a um eixo passando pelo centro de massa. Portanto, o momento angular permanece constante, e sua velocidade angular aumenta.

#### 4 APLICAÇÃO DO PRODUTO E RESULTADOS

Esta proposta de trabalho foi desenvolvida numa turma da primeira série do ensino médio, no Instituto Federal da Paraíba (IFPB-campus Sousa). A instituição possui aproximadamente 500 alunos, divididos em 8 cursos, que são, Ensino Médio, Proeja, Licenciatura em Química, Medicina Veterinária, Tecnologia em Agroecologia, Tecnologia em Alimentos e Licenciatura em Educação Física. Ao todo são 90 docentes efetivos, 8 docentes substitutos e 97 técnicos administrativos. A Figura 10 abaixo mostra a localização de Sousa, cidade conhecida nacionalmente pelas pegadas dos dinossauros.

**Figura 10:** Localização da cidade de Sousa.



**Fonte:** Google Maps.

O ingresso do aluno ao ensino médio na Instituição é feito através de exame de seleção e o ingresso aos cursos superiores, através do SISU (Sistema de Seleção Unificada). Atualmente a área de Física é composta por 3 Professores. Recentemente, a Instituição adquiriu um kit de laboratório completo de Física, mas ainda não foi instalado. A Instituição dispõe de acesso à internet em todos os ambientes, com conexão wi-fi, dispõe também de biblioteca e lousa interativa.

A partir deste breve relato sobre o IFPB – campus Sousa, percebe-se um bom potencial que a referida Instituição possui - com seus 60 anos de fundação, solidificado nesta cidade - e isso foi bastante significativo para a implementação do trabalho, visto que o apoio pedagógico e da direção de ensino também contribuiu para o sucesso do projeto.

Em grande parte das escolas do Ensino Médio, a Física é tratada como uma ciência abstrata, completamente descontextualizada, o que desestimula o aluno a estudá-la.

Na tentativa de minimizar esse problema, procurou-se apresentar um tema da Física de uma maneira alternativa, com curiosidades do cotidiano do aluno sendo respondidas em forma de experimentos simples, abordando um tema frequentemente omitido nos livros didáticos. Ou seja, foi elaborada uma proposta de inserção de dinâmica de rotação, com suas teorias e experimentos facilitadores de aprendizagem, utilizando a estratégia de Resolução de Problemas de Robert Mills Gagné (1983).

Inicialmente foram escolhidas nove práticas experimentais referentes à dinâmica de rotação, seguindo os critérios de conteúdo, materiais e facilidade no desenvolvimento. Depois, foram ministradas as aulas com uma abordagem simples e objetiva aliadas aos experimentos de baixo custo, promovendo, dessa forma, a contextualização da dinâmica de rotação e estimulando a autonomia dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem.

Outro ponto importante desta pesquisa foi a confecção de uma página na internet, onde o visitante tem a oportunidade de acessar todo o conteúdo utilizado nas aulas. O site ([www.profdacio.com.br](http://www.profdacio.com.br)) é o produto deste trabalho. Espera-se que o mesmo possa facilitar a construção do conhecimento de dinâmica de rotação de forma participativa e que os professores de física se sintam motivados a elaborar suas aulas e atividades a partir da realidade dos alunos e, nesse sentido, motivá-los a entender Física. É importantíssimo e urgente resgatar o interesse do aluno em Física, fazê-lo perceber o quão grandioso é o universo de fenômenos que estão ao nosso redor.

Como forma de avaliar o método utilizado, foi aplicado um questionário prévio aos alunos com perguntas sobre o conteúdo, de forma a coletar informações referentes ao conhecimento prévio dos mesmos. Em seguida foi realizada a experiência sobre o assunto e feito um vídeo de curta duração para cada uma. Posteriormente, foi aplicado novamente o questionário como uma forma de avaliar o

quão significativo foi a descoberta do chamado princípio de ordem superior, abordado na teoria de GAGNÉ (1983).

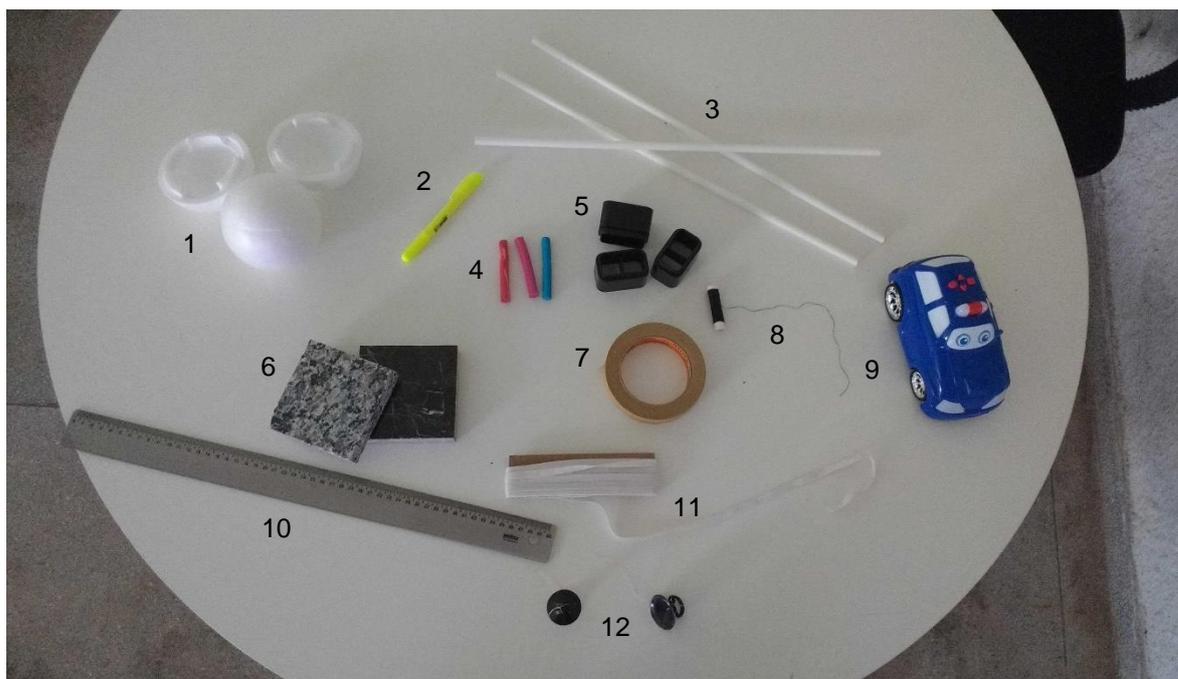
#### 4.1 IMPLEMENTAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO

Esta seção traz o relato de como foi desenvolvido o trabalho com a turma, a implementação das atividades, dos experimentos, uma visão mais detalhada da proposta do projeto colocado em prática e os resultados.

O trabalho foi desenvolvido entre outubro e dezembro de 2014, num total de 10 encontros, com carga horária de 1h e 40 min cada.

Em todos os experimentos foram usados material de baixo custo. Utilizados como uma ferramenta de apoio à aula presencial e busca a construção do conhecimento de forma crítica e ativa, possibilitando assim o estímulo à autonomia dos alunos, rompendo a passividade que geralmente lhes é imposta na abordagem tradicional. A Figura 11 mostra alguns dos materiais usados nos experimentos.

**Figura 11:** Alguns materiais usados no experimento.



**Fonte:** Autoria própria.

- 1) Bolas de isopor;
- 2) Lápis marca-texto;

- 3) Canaletas de plástico;
- 4) Massas de modelar;
- 5) Peças de plástico encaixáveis;
- 6) Pedras de mármore;
- 7) Fita adesiva;
- 8) Linha;
- 9) Carrinho de brinquedo à pilha;
- 10) Régua de plástico;
- 11) Elástico;
- 12) Conectores de plástico.

#### 4.2 AULA 1 (CENTRO DE MASSA)

A fim de se promover uma atividade pedagógica para se trabalhar o tema de centro de massa em sala de aula, fundamentada nas teorias de GAGNÉ (1983) mencionadas anteriormente e ciente dos componentes pré-estabelecidos sobre tal assunto, se faz necessário investigar os conhecimentos prévios dos alunos, para isso foram realizados debates e discussões com a turma durante o experimento com o objetivo de captar os conhecimentos prévios dos estudantes em relação ao fenômeno físico observado, e assim utilizá-las como articulador de novos saberes no processo de ensino-aprendizagem.

##### 4.2.1 Experimentos

Estes experimentos de Centro de Massa foram utilizados como recurso didático na promoção de uma aprendizagem mais significativa.

#### **Experimento 1: Equilíbrio de pedras de mármore**

##### **Objetivo:**

O objetivo principal deste experimento é que o aluno compreenda o conceito de equilíbrio e assim identifique a melhor maneira de colocar as pedras sem que as

mesmas cheguem a cair, entendendo desta forma o conceito de centro de massa e criando nele o hábito de relacionar tal experimento com situações reais, como por exemplo, a torre de pisa na Itália.

### **Materiais e Procedimento experimental:**

Neste experimento utilizaram-se oito pedras de mármore encontradas em qualquer marmoraria. Foi proposto aos alunos que tentassem equilibrar essas pedras umas por cima das outras numa mesa, de acordo com a figura 12. Em alguns casos, as pedras caíram, mas com a repetição das tentativas dos alunos, foi observada a melhor maneira de chegar ao equilíbrio. Para evitar possíveis acidentes foram colocadas algumas almofadas no chão.

**Figura 12:** Equilíbrio de pedras de mármore.



**Fonte:** Autoria própria.

### **Experimento 2: Equilíbrio dos garfos**

#### **Objetivo:**

O objetivo principal deste experimento é mostrar para o aluno que o centro de massa de um corpo não está necessariamente contido dentro do corpo e que uma simples maneira de encontra-lo, é achar o ponto de apoio para que o corpo fique em equilíbrio. Além de promover a discussão entre os alunos e vincular o conteúdo estudado em sala de aula com situações vivenciadas pelos estudantes no dia a dia,

como por exemplo, numa brincadeira de criança equilibrando uma vassoura na horizontal.

### **Materiais e Procedimento experimental:**

Foram utilizados dois garfos de metal de cozinha, um pouco de massa de modelar e dois palitos de madeira. O desafio deste experimento é equilibrar os garfos conectados pela massa de modelar apenas na ponta do palito, conforme a figura 13. A grande dificuldade dos alunos era de encontrar o tamanho certo do palito que fica entre os garfos e a abertura dos mesmos, pois, quanto mais se aproximam os garfos, mais o centro de massa se afasta da parte de metal. Depois de alguns erros cometidos, a maioria entendeu essa relação e conseguiu o equilíbrio com mais facilidade.

**Figura 13:** Equilíbrio de garfos de metal.



**Fonte:** Autoria própria.

### **Experimento 3: A dança da vela**

#### **Objetivo**

O objetivo principal deste experimento consiste que o aluno entenda que a posição do centro de massa de um corpo pode mudar com a alteração do seu formato e do seu tamanho. Além disso, que relacione o conteúdo estudado com situações do

cotidiano dos alunos, como por exemplo, a gangorra nos parques de diversões das praças da cidade.

### **Materiais e Procedimento experimental:**

Os materiais utilizados aqui foram uma vela de parafina, fósforo, uma agulha de metal, um pedaço de linha, oito pedras de mármore e uma folha de cartolina. A linha foi introduzida na agulha e esta, no meio da vela, as pedras serviram como base para a sustentação da vela e a folha de cartolina para aparar os pingos de parafina, a fim de não danificar a mesa. Então, a vela foi acesa dos dois lados, para isso teve que cortar um pouco até aparecer a pontinha do cordão da mesma, e após algum tempo, a vela começa a oscilar, com suas chamas subindo e descendo. O esquema montado é visto na Figura 14.

**Figura 14:** A dança da vela (Autoria própria)..



**Fonte:** Autoria própria

### 4.2.2 Resultados e Discussões

A seguir, os questionários prévios e avaliativos que foram aplicados antes e após a explicação do conteúdo de Centro de Massa, respectivamente e o rendimento percentual da turma a cada resposta.

*Questionário prévio/avaliativo de centro de massa:*

- 1- O que você sabe sobre centro de massa?
  - a) É o centro geométrico de um objeto maciço
  - b) Ponto onde se concentra toda a massa do corpo
  - c) É a massa de um objeto central
  - d) Não sei
  
- 2- Uma das razões que a Torre de Pisa na Itália não cai, é a posição do seu:
  - a) Centro de massa
  - b) Ponto de inclinação
  - c) Peso no chão
  - d) Não sei

**Figura 15:** Torre de Pisa.



**Fonte:** <<http://pnld.moderna.com.br/2012/02/27/torre-de-pisa-tomara-que-nao-caia/>>

- 3- Em relação aos fogos de artifício, a direção das fagulhas tem a ver com:
  - a) Quantidade de pólvora
  - b) As cores dos fogos
  - c) Centro de massa
  - d) Não sei

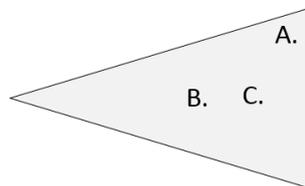
**Figura 16:** Fogos de artifícios.



**Fonte:** <<http://www.fundospaisagens.com/imagens-fogos-de-artificio-de-cores-jpg-1280x1024>>

- 4- Observando o objeto homogêneo na figura abaixo, você saberia dizer em que ponto está localizado o seu centro de massa?
- a) Ponto A
  - b) Ponto B
  - c) Ponto C
  - d) Não sei

**Figura 17:** Centro de massa do triângulo.



**Fonte:** Autoria própria.

- 5- Você tem alguma ideia onde está localizado o centro de massa do João Bobo?
- a) No nariz
  - b) Na barriga
  - c) Em baixo, perto dos pés
  - d) Não sei

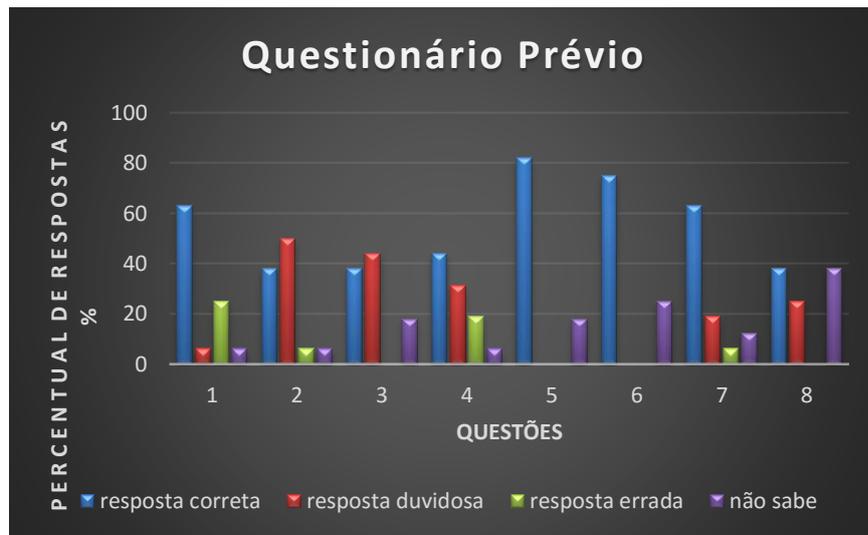
**Figura 18:** João bobo tigre.



**Fonte:** <<http://www.mobly.com.br/joao-bobo-teimoso-3d-tigre-44669-colorido-intex-200436.html>>

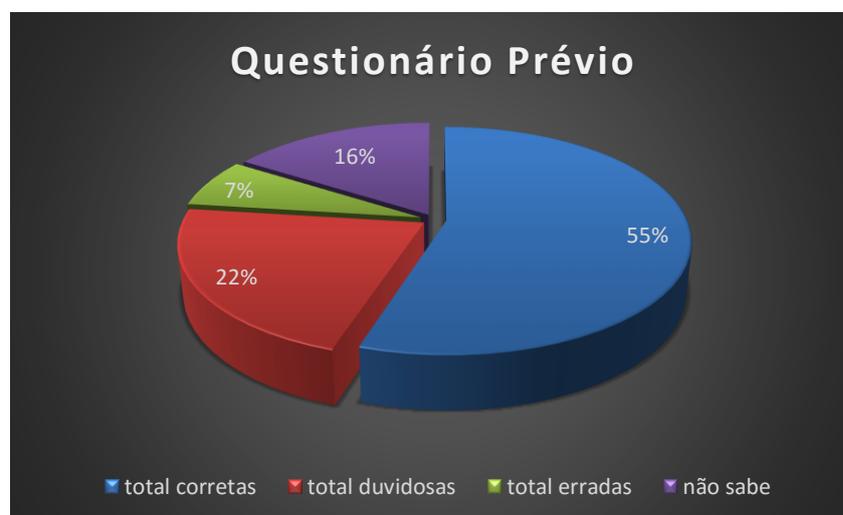
- 6- O centro de massa do nosso corpo fica aproximadamente
- a) No pescoço
  - b) No umbigo
  - c) Perto do coração
  - d) Não sei
- 7- O centro de massa explica
- a) O equilíbrio dos corpos
  - b) O peso dos corpos
  - c) A altura dos corpos
  - d) Não sei
- 8- Uma característica que pode alterar a posição do centro de massa de um corpo é:
- a) O seu peso
  - b) A sua forma geométrica
  - c) A sua cor
  - d) Não sei

**Figura 19:** Resultado de todas as respostas do questionário prévio – centro de massa.



**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 20:** Resultado de respostas das alternativas do questionário prévio – centro de massa.



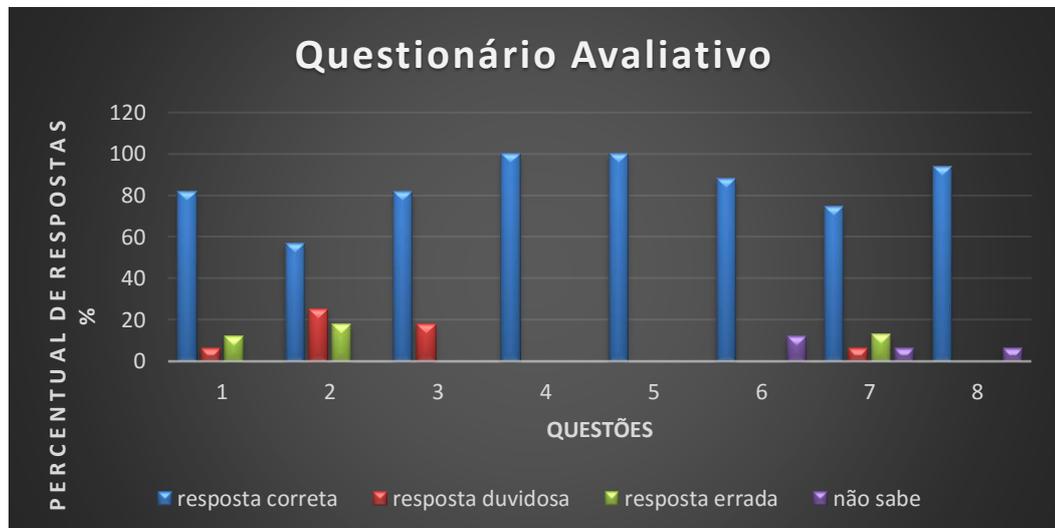
**Fonte:** Autoria própria.

Pode-se observar que os conhecimentos prévios da maioria dos alunos a respeito do assunto eram distorcidos. Como destaque tem-se a questão 5, tratando

sobre o centro de massa do “joão bobo”, em que nenhum aluno errou a resposta, já a questão 8, que trata do formato do corpo e seu centro de massa, muitos alunos erraram, mostrando que o conceito de centro de massa não está muito claro para eles.

Após a aplicação do questionário prévio, os três experimentos citados acima foram realizados com grande participação dos alunos nas discussões e montagens. Posteriormente, foi aplicado o mesmo questionário como uma forma de avaliar o quão significativo foi à descoberta do chamado princípio de ordem superior, abordado na teoria de GAGNÉ (1983).

**Figura 21:** Resultado de todas as respostas do questionário avaliativo – centro de massa



**Fonte:** Autoria própria.

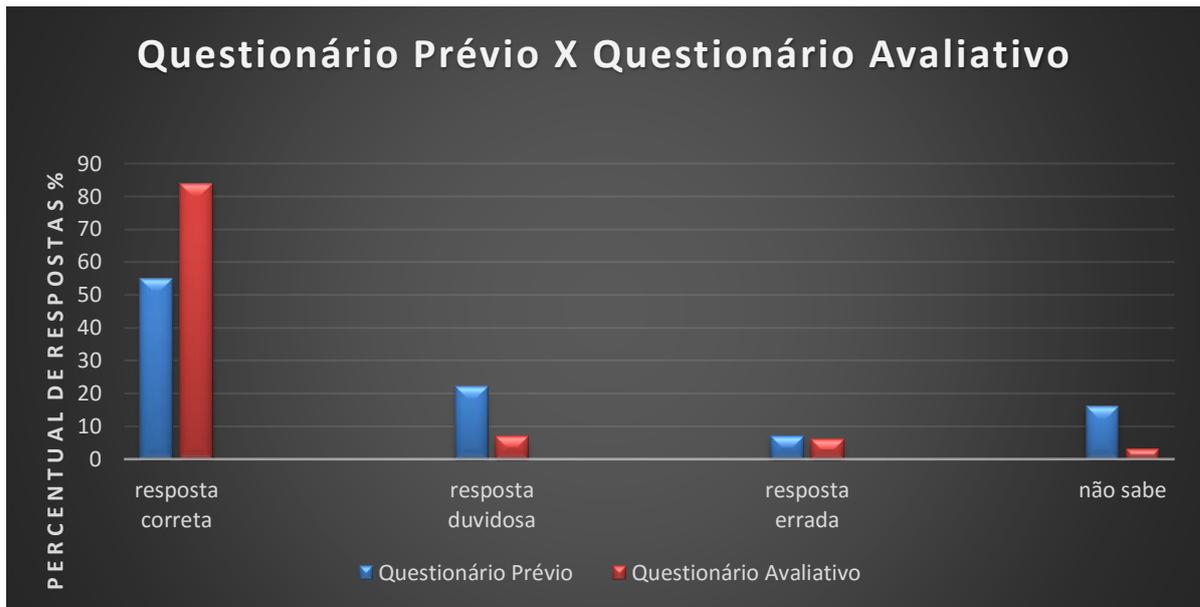
**Figura 22:** Resultado de respostas das alternativas do questionário avaliativo – centro de massa.



**Fonte:** Autoria própria.

Podemos observar pelas Figuras 21 e 22 que após a realização dos experimentos, a maioria dos alunos conseguiram dar respostas corretas ao teste, tendo como destaque a questão 2, que fala sobre a torre de pisa, onde o percentual de respostas duvidosas caiu consideravelmente e também a questão 8, sobre o formato do corpo e seu centro de massa, onde o desconhecimento do conceito diminuiu, favorecendo ao aluno um processo de ensino e aprendizagem integrada a situações do cotidiano que eles conhecem, mas provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos suficiente para interpretá-los. A Figura 23 mostra um comparativo entre o questionário prévio e o avaliativo, pode-se perceber um avanço no entendimento do conteúdo que pode ser atribuído ao bom desenvolvimento da aula, principalmente por que os alunos puderam participar efetivamente dos experimentos, procurando justificativas que explicassem os fenômenos observados e relacionando-os com situações do dia a dia.

**Figura 23:** Comparativo entre o questionário prévio e avaliativo – centro de massa.



**Fonte:** Autoria própria.

A utilização de experimentos usando material de baixo custo mostrou ser uma ótima alternativa como instrumento pedagógico no processo de ensino-aprendizagem, tendo em vista um aumento de aproximadamente 30% de acertos na questão correta, uma redução de 15% nas questões duvidosas e também uma redução de 13% no item “não sei”. Portanto, utilizar experimento de baixo custo como recurso didático na construção coletiva do conhecimento mostrou-se ser muito eficiente, pois os erros e dúvidas sobre o assunto diminuíram consideravelmente. Além disso, facilita a associação teoria e prática e rompe a passividade que geralmente lhes é imposta na abordagem tradicional.

### 4.3 AULA 2 (CINEMÁTICA ANGULAR)

Nesta seção serão investigadas as relações entre a cinemática linear e a cinemática angular, segundo Gagné (1983), para o aluno resolver um problema, deve ser capaz de evocar os princípios importantes anteriormente aprendidos.

#### 4.3.1 Experimento

Foi realizado apenas um experimento de cinemática angular, partindo do pressuposto que o aluno já tenha em mente a noção de velocidade. A grande contribuição do experimento sem dúvida foi mostrar ao aluno a relação entre a velocidade linear e a velocidade angular em um movimento circular uniforme.

### **Experimento 1: Calculando a velocidade linear e angular**

#### **Objetivo**

O objetivo principal é que os alunos entendam a relação entre as velocidades linear e angular em um movimento circular, dando-lhes suporte para o entendimento dos próximos tópicos da Dinâmica de Rotação e favorecendo o entendimento de situações do cotidiano, como por exemplo, do carrossel num parque de diversão, onde as pessoas giram sobre o mesmo e dependendo da posição dessas pessoas, elas adquirem velocidades lineares diferentes e independentes da posição, a velocidade angular é a mesma.

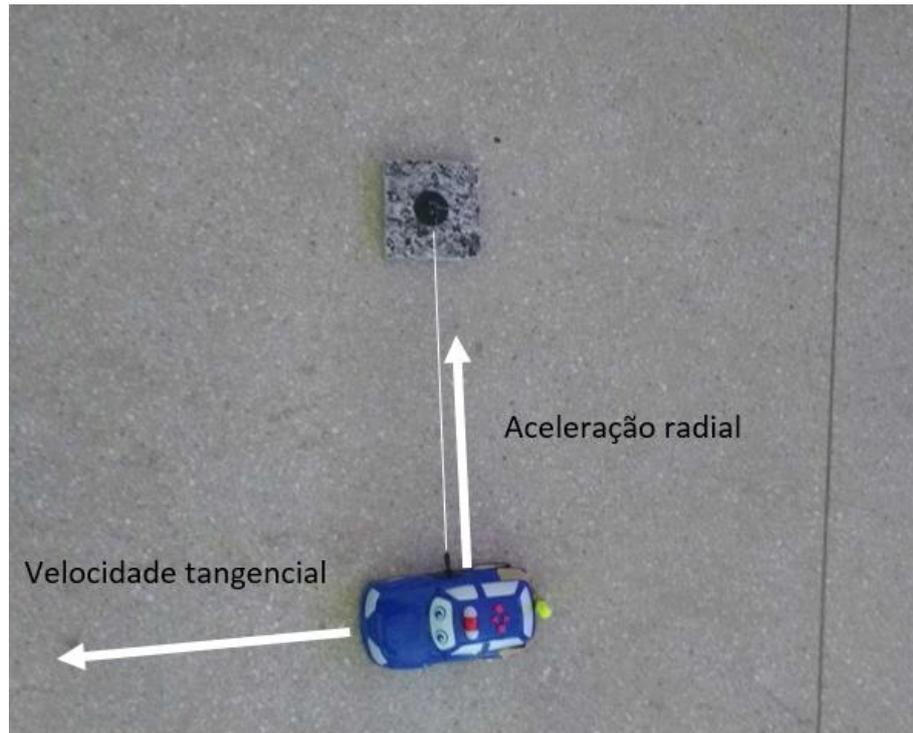
#### **Materiais e Procedimento experimental**

Neste experimento utilizou-se um carrinho de brinquedo a pilha, um pedaço de cordão, um lápis marca texto, uma tesoura, uma fita adesiva, uma folha de cartolina, dois conectores de plástico e um relógio (pode ser usado também um cronômetro de um aparelho celular).

Acoplou-se o lápis na traseira do carrinho com a ponta voltada para baixo e fez-se o carrinho adquirir movimento circular uniforme (MCU, onde o módulo da velocidade linear e a velocidade angular são constantes) de raio  $R$ , com isso o chão foi sendo riscado, mostrando ao aluno uma trajetória circular.

Sabe-se pela cinemática vetorial, que o vetor velocidade é tangente à trajetória em cada ponto, portanto, no MCU ela varia continuamente e desta forma surgirá sobre o carro uma aceleração radial, apontando para o centro. A aceleração radial surge devido à força radial resultante e esta força é responsável pela mudança na direção do vetor velocidade, fazendo desta forma que o carro efetue a curva. Neste caso, a força resultante radial é a tensão do fio (SEARS, 2008).

**Figura 24:** Carrinho em movimento circular uniforme.



**Fonte:** Autoria própria.

Com ajuda da turma foram coletados os dados deste movimento, que são fundamentais para calcular as velocidades linear e angular. Um dos alunos marcou o tempo em que o carrinho sofreu o deslocamento angular e assim foi possível calcular a velocidade angular através da equação (2) do capítulo 3. Em seguida outro aluno mediu o tamanho do cordão, obtendo assim o raio  $R$  do movimento circular. Estas informações foram aplicadas na equação (4) do capítulo 3 para o cálculo da velocidade linear. No final do movimento do carrinho, cortou-se o cordão com a tesoura e como consequência, o carrinho saiu pela tangente, pois quando a corda é cortada a força resultante sobre o carrinho desaparece, e de acordo com a primeira Lei de Newton, “*quando nenhuma força resultante atua no corpo, se o corpo estiver em movimento com velocidade constante, ele continuará neste estado de movimento*”. Portanto, quando a corda é cortada o carrinho continuará em movimento em linha reta, ou seja, sairá pela tangente. A Figura 25 mostra o esquema do experimento.

**Figura 25:** Carrinho saindo pela tangente de uma curva.



**Fonte:** Autoria própria.

#### 4.3.2 Resultados e Discussões

Após a realização deste experimento foi possível associar o movimento do carrinho há várias situações do nosso cotidiano e explicar, por exemplo, por que a Terra não cai no Sol.

A seguir é mostrado o questionário para cinemática angular, aplicado antes e após o experimento.

*Questionário prévio/avaliativo de cinemática angular:*

- 1- Você sabe a diferença entre movimento de rotação e movimento de translação?
  - a) Na rotação o corpo gira e na translação, ele cai.
  - b) Os dois representam a mesma coisa

- c) Ambos representam giros, mas a diferença está no referencial.
- d) Não sei

2- Uma volta completa pode ser representada por:

- a)  $180^\circ$
- b)  $360^\circ$
- c)  $200^\circ$
- d) Não sei

3- A letra grega  $\pi$  (pi) tem valor angular de:

- a)  $120^\circ$
- b)  $180^\circ$
- c)  $360^\circ$
- d) Não sei

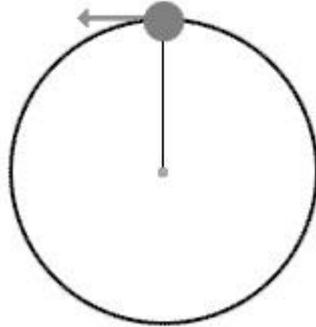
4- A letra grega  $\pi$  (pi) tem valor escalar de:

- a) 3,14
- b) 2,16
- c) 4,15
- d) Não sei

5- A bolinha da figura ao lado gira no sentido anti-horário. A seta indica:

- a) O seu espaço angular
- b) A sua velocidade angular
- c) A sua velocidade tangencial
- d) Não sei

**Figura 26:** Velocidade tangente à curva.



**Fonte:** Autoria própria.

- 6- Numa competição de atletismo (ver Figura abaixo), quando a prova começa numa curva, os atletas ficam posicionados uns à frente dos outros, por quê?
- a) Para compensar o tamanho do raio
  - b) Para ficar mais bonita a largada
  - c) Os organizadores colocam os mais rápidos atrás, para darem chance aos outros.
  - d) Não sei

**Figura 27:** Largada no atletismo.



**Fonte:** <<http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2013/08/conheca-os-diferentes-tipos-de-corrida.html>>

7- A Figura a abaixo mostra um pião girando na mão de uma pessoa. Esse movimento em relação ao eixo vertical, em relação a mão, do pião é:

- a) Translação
- b) Rotação
- c) Retilíneo
- d) Não sei

**Figura 28:** Pião girando na mão.



**Fonte:** <[http://cm-freixoespadacinta.pt/index.php?option=com\\_content&task=view&id=46&Itemid=111](http://cm-freixoespadacinta.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=46&Itemid=111)>

8- As hélices de um ventilador giram em que sentido?

- a) Horário
- b) Anti-horário
- c) Depende do ponto de vista
- d) Não sei

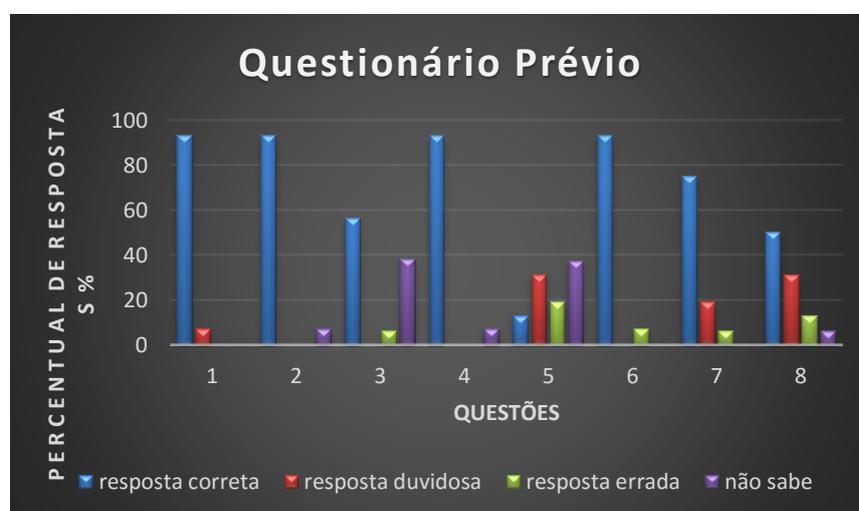
**Figura 29:** Hélice de ventilador.



**Fonte:** <<http://www.rcolitti.com.br/loja/default/ventiladores/helices/helice-p-ventilador-ge-antigo-40-cm.html>>

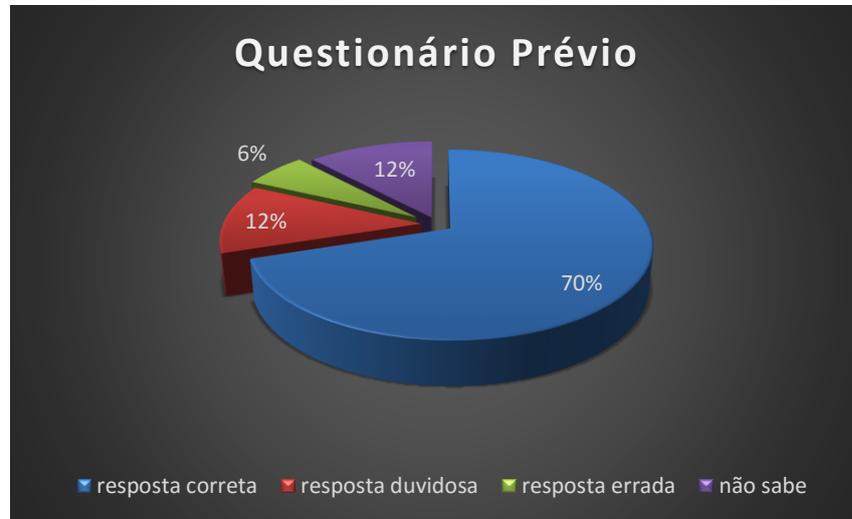
Destaca-se neste gráfico as respostas à questão 5, onde a maioria dos alunos erraram, pois não tinham o conhecimento de velocidade tangente à curva. Em relação às demais questões, havia um bom conhecimento prévio dos alunos, na ideia de ângulos, giros, valores de “pi”, voltas completas, meia volta, entre outros. Seguem abaixo os gráficos relativos ao questionário prévio.

**Figura 30:** Resultado de todas as respostas do questionário prévio – cinemática angular.



**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 31:** Resultado de respostas das alternativas do questionário prévio – cinemática angular.



**Fonte:** Autoria própria.

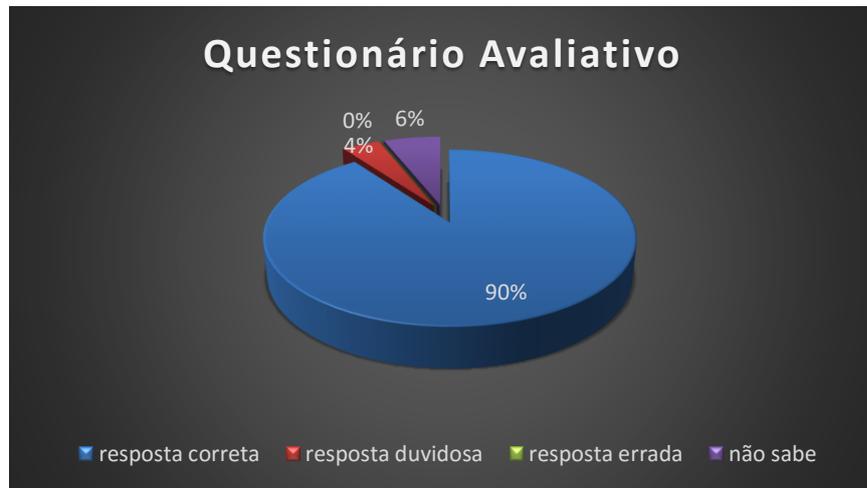
As Figuras 32 e 33 apresentam os resultados obtidos com a aplicação do questionário após o experimento.

**Figura 32:** Resultado de todas as respostas do questionário avaliativo – cinemática angular.



**Fonte:** Autoria própria.

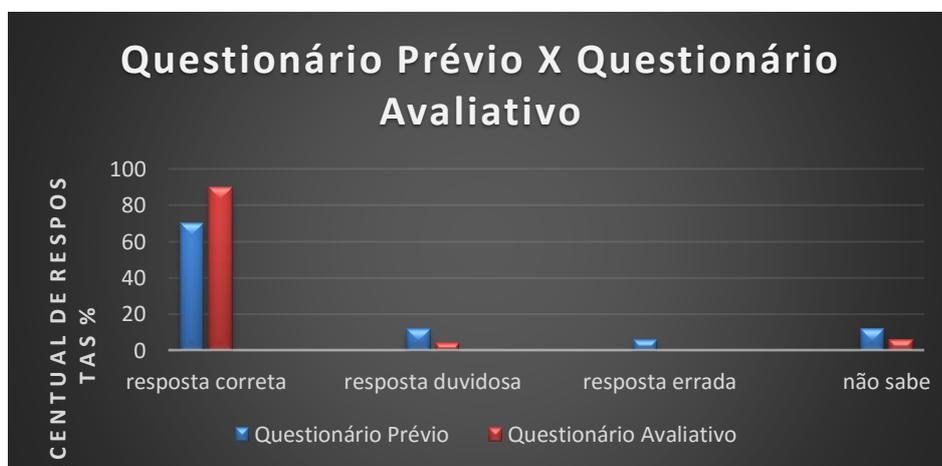
**Figura 33:** Resultado de respostas das alternativas do questionário avaliativo – cinemática angular.



**Fonte:** Autoria própria.

A comparação das respostas ao questionário, aplicado antes e após o experimento (Figura 34) sugere a eficácia deste experimento. Podemos observar a melhoria no processo ensino-aprendizagem, onde as dúvidas foram sanadas quase na sua totalidade e também um ponto importantíssimo, não houve nenhuma marcação de respostas erradas. Portanto, o experimento cumpriu seu papel, de aproximar o conteúdo estudado com o cotidiano dos alunos.

**Figura 34:** Comparativo entre o questionário prévio e avaliativo – cinemática angular.



**Fonte:** Autoria própria.

### 4.3.3 Conclusão

Portanto, pode-se concluir que este experimento desempenhou um importante papel na construção do conhecimento, pois houve um aumento de 20% de acertos na questão correta, uma redução de 8% nas questões duvidosas, também uma redução de 6% no item “não sabe” e o grande destaque sem dúvida foi a não marcação de respostas erradas. Além do que, facilitou a articulação do conteúdo estudado em sala de aula com situações do dia a dia que os alunos conhecem, mas não tinham conhecimentos científicos para interpretá-los.

## 4.4 AULA 3 (MOMENTO DE INÉRCIA)

O momento de inércia, embora seja muito importante na física, quase não é abordado no ensino médio. No entanto é fundamental no movimento de rotação, fazendo uma analogia com o movimento de translação, o momento de inercia é tão importante para a rotação quanto a massa para a translação. No entanto, o momento de inércia, diferente da massa, depende da forma do corpo e da localização do eixo de rotação.

### 4.4.1 Experimento

Foi realizado apenas um experimento de Momento de Inércia, suficiente para se alcançar os objetivos desta aula, já que a teoria expositiva na lousa facilitou bastante a absorção do conteúdo. A grande contribuição do experimento foi mostrar o efeito na rotação de dois corpos com momentos de inércia diferentes.

### **Experimento 1: Bolas rolando num plano inclinado**

#### **Objetivo**

Os objetivos principais deste experimento são dois: i) abordar um assunto que não é visto no ensino médio, mas é essencial no estudo de rotação. ii) mostrar para o aluno que a distribuição de massa do corpo no espaço afeta a velocidade angular. Este fato pode ser observado, por exemplo, no movimento de uma patinadora no gelo,

quando a patinadora encolhe os braços, nota-se que a sua velocidade angular aumenta.

### **Materiais e Procedimento experimental**

Neste experimento utilizaram-se duas bolas de isopor ocas, duas canaletas de plástico, uma fita adesiva, massa de modelar e uma mesa.

Colocou-se massa de modelar no interior das bolas de isopor, mas de maneira que a distribuição dessas massas ficasse diferente. Na primeira concentrou-se a massa no centro e na segunda, a massa foi espalhada na superfície interna. Em seguida as bolas foram colocadas no topo da mesa, separadas por canaletas, e abandonadas. A Figura 35 mostra o experimento.

**Figura 35:** Bolas rolando num plano inclinado.



**Fonte:** Autoria própria.

#### 4.4.2 Resultados e Discussões

Verificou-se neste experimento que devido a distribuição de massa, as velocidades angulares das bolas eram diferentes, tornando possível associar este fato a várias situações do dia a dia. Além disso, houve uma maior participação dos alunos durante a aula, com vários questionamentos. A seguir é apresentado o questionário para o tema momento de inércia, que foi aplicado antes (prévio) e após (avaliativo) a execução do experimento.

*Questionário prévio/avaliativo de momento de inércia:*

- 1- O que você sabe sobre momento de inércia?
  - a) É o momento em que o corpo perde a sua inércia
  - b) É o tempo em que o corpo muda seu movimento de rotação para translação
  - c) É a dificuldade de alterar a rotação de um corpo
  - d) Não sei
  
- 2- Qual seria o sinônimo de momento de inércia?
  - a) Momento translacional
  - b) Inércia rotacional
  - c) Momento inercial
  - d) Não sei
  
- 3- O momento de inércia de um corpo está ligado
  - a) À sua massa
  - b) À distribuição de sua massa
  - c) Ao seu tamanho
  - d) Não sei
  
- 4- Num supermercado, ao andar com o carrinho, notamos que a dificuldade em fazer uma curva aumenta na medida em que colocamos a feira
  - a) Mais próxima da gente
  - b) Mais afastado da gente
  - c) Na parte de baixo do carrinho

d) Não sei

**Figura 36:** Carrinho de supermercado.



**Fonte:** <<http://www.dicasdotimoneiro.com.br/carrinhos-de-supermecados-fonte-de-contaminacao/>>

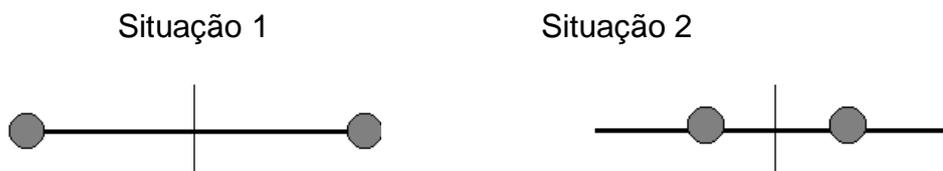
5- O momento de inércia é maior numa

- a) Esfera oca
- b) Esfera maciça
- c) Esfera de plástico
- d) Não sei

6- Em que situação as bolinhas têm mais facilidade de girar?

- a) Na situação 1
- b) Na situação 2
- c) Não há diferença
- d) Não sei

**Figura 37:** Bolinhas girando).



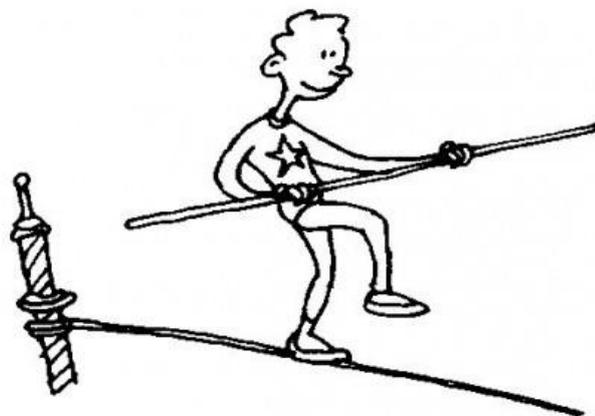
**Fonte:**

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/examenes/choques/choques1.htm>

7- Um equilibrista de circo usa uma vara para melhor se equilibrar, porque com a vara:

- a) O seu momento de inércia aumenta
- b) O seu momento de inércia se anula
- c) O seu momento de inércia diminui
- d) Não sei

**Figura 38:** Equilibrista de circo.



**Fonte:** <http://pintarimagenes.org/dibujos-de-equilibristas-de-circo-para-pintar/>

8- Quando uma bailarina fecha os braços consegue um giro maior, já que o seu momento de inércia

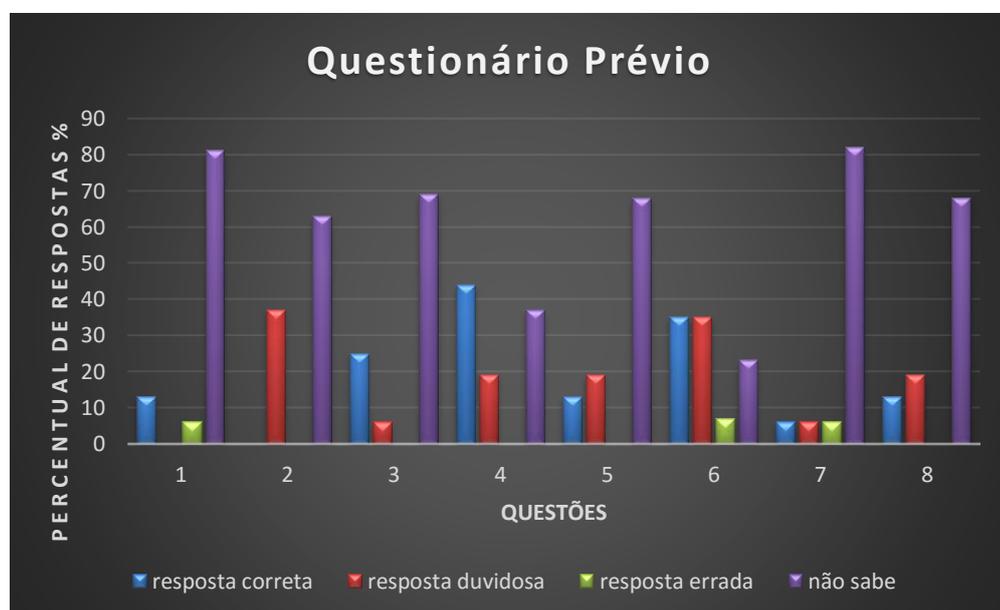
- a) Aumenta
- b) Diminui
- c) Tem valor zero
- d) Não sei

**Figura 39:** Bailarina girando.



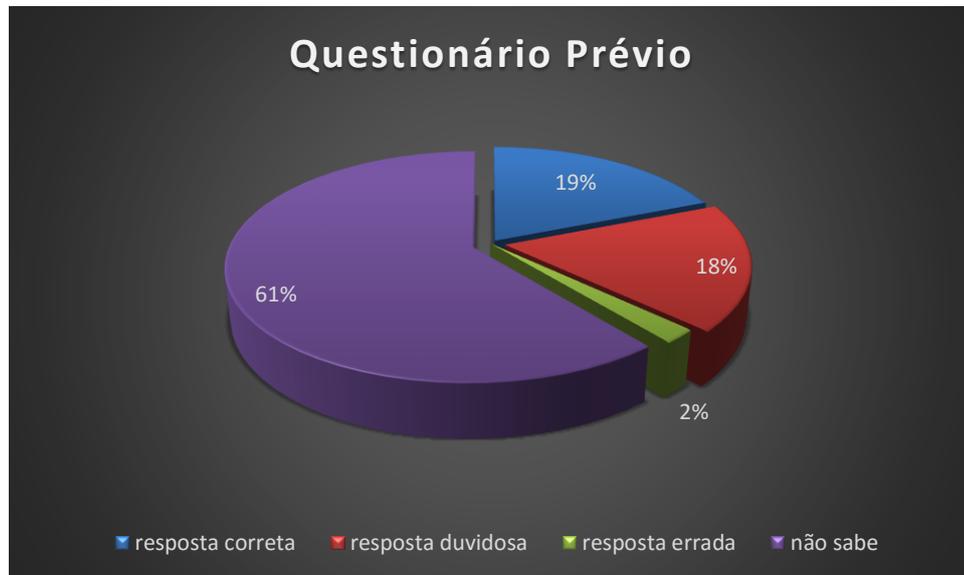
**Fonte:** <<http://diadafisicacp2.blogspot.com.br/2010/10/o-giro-da-bailarina.html>>

**Figura 40:** Resultado de todas as respostas do questionário prévio – momento de inércia.



**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 41:** Resultado de respostas das alternativas do questionário prévio – momento de inércia.



**Fonte:** Autoria própria.

Pelos resultados do questionário prévio percebe-se que a maioria dos alunos não dispõe de conhecimento científico suficiente para interpretar situações do dia a dia sobre momento de inércia. No decorrer do experimento surgiram alguns desafios, como a inclinação adequada da mesa; a percepção na diferença de velocidade das bolas e a distribuição das massas nas bolas.

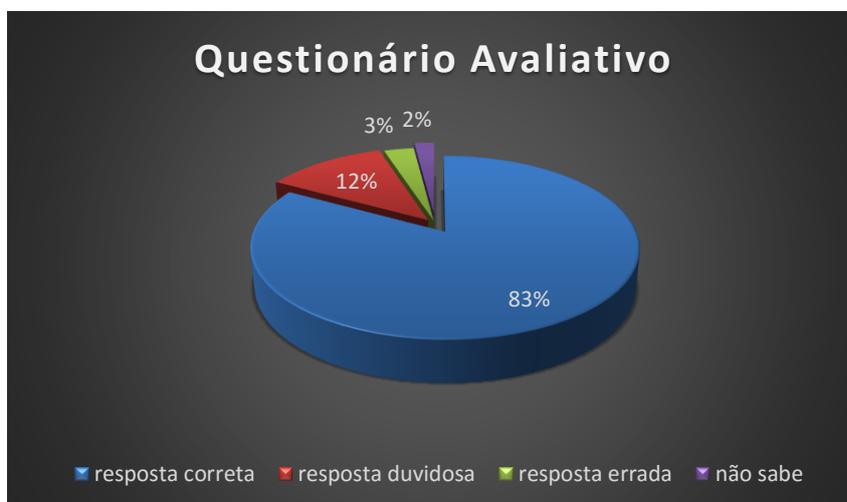
Os gráficos das Figuras (42) e (43) mostram o rendimento percentual da turma a cada resposta no pós-teste.

**Figura 42:** Resultado de todas as respostas do questionário avaliativo – momento de inércia.



**Fonte:** Autoria própria.

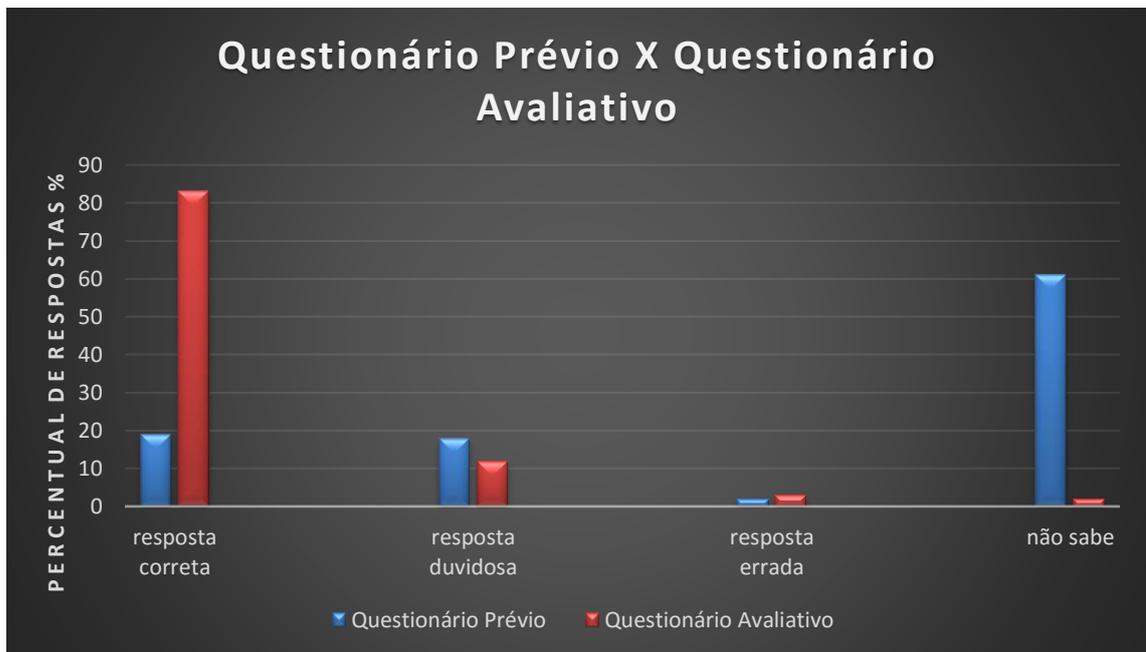
**Figura 43:** Resultado de respostas das alternativas do questionário avaliativo – momento de inércia.



**Fonte:** Autoria própria.

O Gráfico da Figura 44 mostra o comparativo das respostas do questionário aplicado antes e depois da aula. Podemos observar que o objetivo foi alcançado, pois houve um aumento de 64% de acertos na questão correta, uma redução de 6% nas questões duvidosas e uma considerável redução de 59% no item “não sabe”.

**Figura 44:** Comparativo entre o questionário prévio e avaliativo – momento de inércia.



**Fonte:** Autoria própria.

#### 4.4.3 Conclusão

Apesar deste tema ser considerado complexo para ser abordado na primeira série do ensino médio, a utilização de experimentos de baixo custo mostrou ser um material potencialmente significativo, pois houve um aumento de 64% de acertos na questão correta, uma redução de 6% nas questões duvidosas e uma considerável redução de 59% no item “não sabe”. Sugerindo assim, que esta é uma ferramenta útil para que os alunos percebam que a Física representa os fenômenos naturais, não é uma ciência puramente abstrata e desvinculada da realidade.

## 4.5 AULA 4 (TORQUE)

Como falado anteriormente, Torque descreve a ação giratória ou o efeito de rotação de uma força. O Torque resultante que atua sobre um corpo determina sua aceleração angular, assim como a força resultante que atua sobre um corpo determina aceleração linear no movimento de translação. Inicialmente os alunos apresentaram dificuldade no entendimento desta grandeza devido à carência que os mesmos apresentavam sobre o tema “Leis de Newton”, que é um requisito básico para o entendimento deste tópico. Após este diagnóstico, foi traçado um plano de aula com figuras e aplicações de força e torque, diferenciando essas duas grandezas físicas e após essa exposição conceitual, foi desenvolvida a parte experimental com a participação dos alunos. A seguir, detalha-se sobre os experimentos realizados com a turma.

### 4.5.1 Experimentos

Foram realizados dois experimentos sobre Torque, onde o aluno teve a oportunidade de vivenciar os fenômenos físicos envolvidos e tirar várias conclusões sobre os mesmos. A grande contribuição dos experimentos foi mostrar como o Torque age, dando a oportunidade dos alunos de relacionarem o equilíbrio e/ou giro dos corpos com a força aplicada e o ponto dessa aplicação.

#### **Experimento 1: Gangorra de régua**

##### **Objetivo**

O objetivo deste experimento é mostrar que o efeito de uma força, para executar um movimento circular em torno de um eixo, depende não só do módulo, da direção e do sentido da força, mais depende também do ponto de aplicação desta força. Podemos relacionar este assunto com várias situações do nosso cotidiano, como por exemplo, a gangorra nos parques de diversão.

##### **Materiais e Procedimento experimental**

Neste experimento utilizaram-se uma régua de madeira, algumas peças de plásticos encaixáveis (pode-se usar peças de lego) e duas canaletas de plástico, todos encontrados em papelarias ao preço acessível.

Colocou-se a régua sobre a canaleta e com as peças de plásticos tentou-se fazer pequenas alavancas interfijas (gangorras). Alterando-se as distâncias e o número de peças, verifica-se o equilíbrio das gangorras, como mostram as figuras 45 e 46 abaixo.

**Figura 45:** Gangorra de régua – situação 1.



**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 46:** Gangorra de régua – situação 2.



**Fonte:** Autoria própria.

## Experimento 2: Dinamômetro de elástico

### Objetivo

O objetivo deste experimento foi o aluno perceber que mesmo alterando a distância do ponto de aplicação da força em relação ao eixo da porta, consegue-se obter o mesmo valor para o Torque com valores também diferentes de força. Com este experimento é possível exemplificar uma situação cotidiana, como por exemplo, ao trocar um pneu do carro usando uma chave de boca para afrouxar os parafusos da roda.

### Materiais e Procedimento experimental:

Neste experimento utilizou-se uma régua de madeira, um elástico branco, uma fita adesiva e uma caneta esferográfica, ambos encontrados em papelarias a um preço baixo.

Confeccionou-se um dinamômetro com a régua e o elástico a fim de calcular a intensidade da força necessária para abrir uma determinada porta. Uma ponta do elástico é presa à porta em dois pontos distintos, como se vê nas figuras 47 e 48 abaixo.

**Figura 47:** Torque na porta – situação 1.



**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 48:** Torque na porta – situação 2.



**Fonte:** Autoria própria.

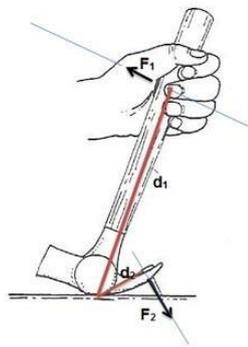
#### 4.5.2 Resultados e Discussões

Os alunos tiveram certa dificuldade em associar força com a deformação do elástico, porém, após uma breve explicação de força elástica esse desafio foi superado. Após a realização desses experimentos foi verificado um acentuado aprendizado no que se refere à Torque. O resultado do experimento serviu como base para os alunos continuarem a busca por novos experimentos com material de baixo custo e com isso aperfeiçoar seus resultados, conseguindo um melhor aprendizado sobre o assunto. Como nos casos anteriores, foi aplicado o questionário antes e após o experimento.

Questionário prévio/avaliativo de torque:

- 1- Ao arrancar um prego de uma tábua utilizando um martelo, a pessoa faz uma força perpendicular no braço do martelo, a fim de obter:
- a) Torque nulo
  - b) Torque mínimo
  - c) Torque máximo
  - d) Não sei

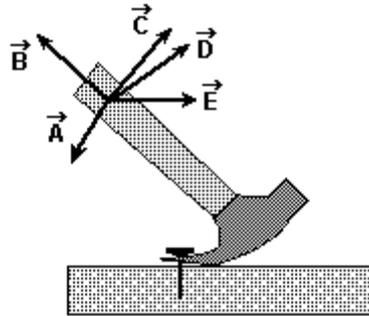
**Figura 49:** Torque no martelo – situação 1.



**Fonte:** <<http://amentecriativa.com.br/martelo-entenda-o-seu-funcionamento/>>

- 2- Pretendendo arrancar um prego com um martelo, conforme mostra a figura, qual das forças indicadas será mais eficiente? Considere todas as forças com mesmo módulo
- a) A
  - b) D
  - c) C
  - d) Não sei

**Figura 50:** Torque no martelo – situação 2.



**Fonte:** Prova de vestibular da UFMS 2006.

- 3- Duas pessoas, um adulto e uma criança estão empurrando uma porta, conforme a figura abaixo, uma tentando abri-la e outra fechá-la, exercendo forças de mesma intensidade. Qual pessoa obterá êxito?
- A criança
  - O adulto
  - Nenhuma das duas
  - Não sei

**Figura 51:** Torque na porta com duas pessoas.

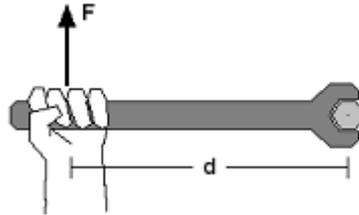


**Fonte:** Prova de vestibular da UFRRJ 2000.

- 4- Uma pessoa deseja apertar um parafuso, usando uma chave, de acordo com a figura abaixo. A fim de fazer o mínimo de esforço, ela deve se preocupar com:
- A força exercida  $F$
  - O ponto de aplicação da força  $F$

- c) O tamanho do parafuso
- d) Não sei

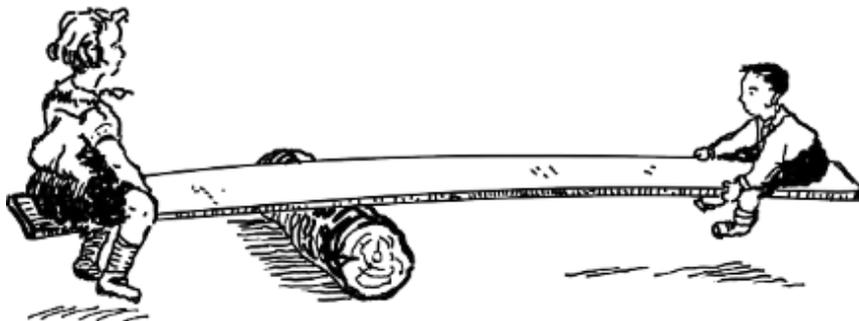
**Figura 52:** Torque na chave.



**Fonte:** <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=458>>

- 5- Na brincadeira de gangorra, para se ter equilíbrio, a pessoa mais pesada deve ficar:
- a) Mais próxima do eixo
  - b) Mais distante do eixo
  - c) Do mesmo lado da outra pessoa
  - d) Não sei

**Figura 53:** Torque na gangorra – situação 1.



**Fonte:** <<https://pixabay.com/pt/gangorra-parque-infantil-crian%C3%A7as-148269/>>

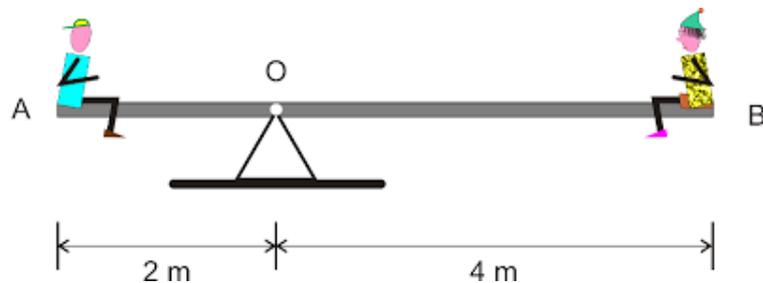
- 6- Numa brincadeira de gangorra, quando se obtém o equilíbrio, significa que:
- a) O torque resultante é positivo

- b) O torque resultante é negativo
- c) O torque resultante é zero
- d) Não sei

7- Na Figura a seguir, duas crianças A e B, brincam de gangorra num parque da cidade. Sabe-se que a criança A tem o dobro do peso da criança B. Nas posições em que elas estão, pode haver equilíbrio?

- a) Não
- b) Sim
- c) Depende do peso da gangorra
- d) Não sei

**Figura 54:** Torque na gangorra – situação 2.



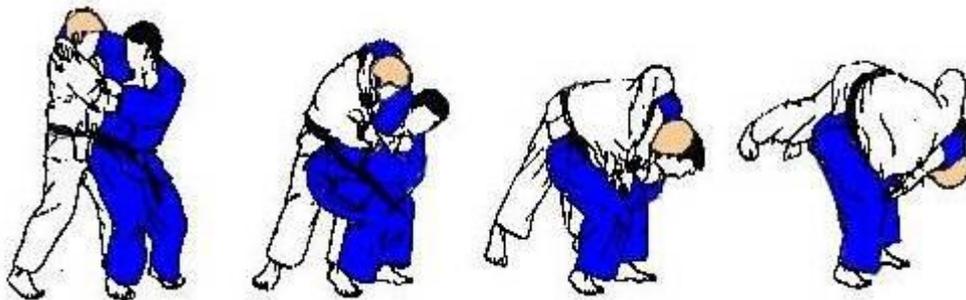
**Fonte:** <[http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2013/12/cursos-do-blog-mecanica\\_16.html](http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2013/12/cursos-do-blog-mecanica_16.html)>

- 8- Dois torques em sentidos opostos estão sendo aplicados num mesmo corpo. Se este corpo gira, então podemos dizer que:
- a) Os torques possuem valores iguais
  - b) Os torques possuem valores diferentes
  - c) Os torques valem zero cada um
  - d) Não sei
- 9- No judô, um golpe muito conhecido é o *ippon*, em que numa competição, dá vitória a quem realizou. Nesse golpe, o corpo de uma pessoa gira em torno da

outra. A técnica do *ippon* perfeito é adquirida com muito treino e dedicação. Para um *ippon* bem-sucedido, é preciso o conhecimento de:

- a) Força
- b) Potência
- c) Torque
- d) Não sei

**Figura 55:** Torque no ippon.



**Fonte:**

<[http://club.quomodo.com/tatamisclub63/le\\_judo/techniques\\_debout.html](http://club.quomodo.com/tatamisclub63/le_judo/techniques_debout.html)>

10- Um trabalhador utiliza um carrinho de mão para transportar entulho de uma construção. Escolha a alternativa que explica a maneira de carregar o entulho com menor esforço.

- a) O braço do carrinho tem que ser pequeno
- b) O entulho deve ficar bem próximo das mãos do homem
- c) O entulho deve ficar bem próximo do eixo da roda do carrinho
- d) Não sei

**Figura 56:** Carrinho de mão.



**Fonte:** <[http://www.photaki.es/foto-sitio-ocupado-africa-trabajo\\_155225.htm](http://www.photaki.es/foto-sitio-ocupado-africa-trabajo_155225.htm)>

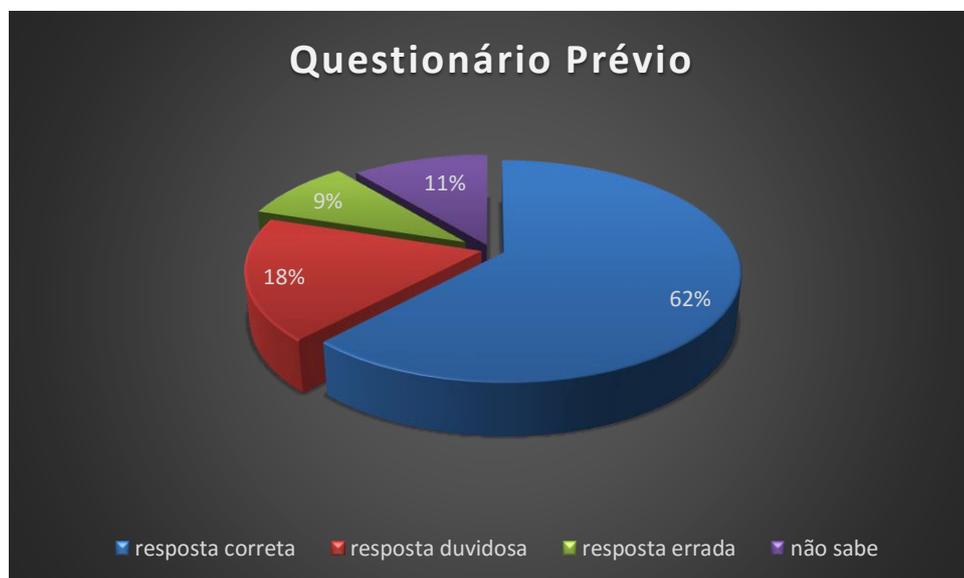
As Figuras 57 e 58 mostram as respostas do questionário aplicado antes da aula. Diferentemente das aulas anteriores, esta foi realizada com a aplicação do questionário contendo dez questões, o que torna a pesquisa mais acentuada. Dentre as questões do questionário prévio, destacam-se as respostas da questão 6, na qual a maioria acertou e também a questão 7, onde não houve nenhuma dúvida, já que trata de uma situação vivenciada por todos.

**Figura 57:** Resultado de todas as respostas do questionário prévio – torque.



**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 58:** Resultado de respostas das alternativas do questionário prévio – torque.



**Fonte:** Autoria própria.

Após a realização dos experimentos e das discussões, foi aplicado o questionário novamente (Figuras 59 e 60). Podemos observar que o percentual de respostas corretas melhorou significativamente. O destaque foi na questão 10 e na questão 4, onde o aluno ainda continua com dúvidas a respeito de eixo de rotação.

**Figura 59:** Resultado de todas as respostas do questionário avaliativo – torque.



**Fonte:** Autoria própria.

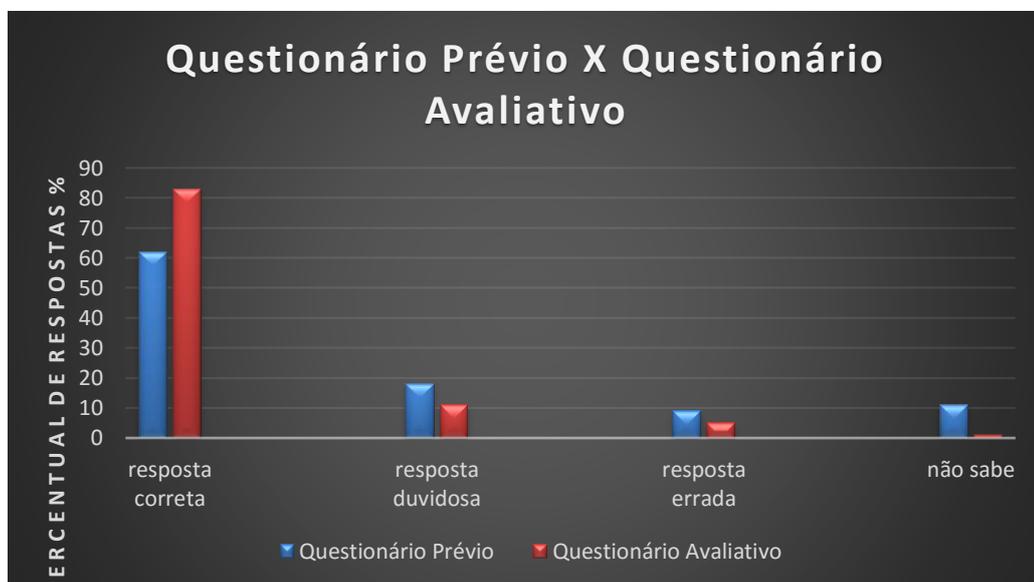
**Figura 60:** Resultado de respostas das alternativas do questionário avaliativo – torque



**Fonte:** Autoria própria.

O comparativo do questionário aplicado antes e depois da aula (Figura 61) confirma que após a aula os alunos conseguiram associar o conteúdo estudado com situações do seu dia a dia, pois as justificativas para os fenômenos físicos ficaram mais coerentes. Um detalhe importante neste gráfico é a comparação do percentual de respostas corretas com o item “Não Sei”, onde praticamente todos os alunos sabiam de alguma coisa sobre torque.

**Figura 61:** Comparativo entre o questionário prévio e avaliativo – torque.



**Fonte:** Autoria própria.

### 4.5.3 Conclusão

O uso de experimentos de baixo custo mostrou ser um recurso facilitador no processo de ensino aprendizagem, pois conseguiu-se um aumento de 21% de acertos nas questões corretas, uma redução de 7% nas questões duvidosas e também uma redução de 10% no item “Não Sei”. Além disso, foi constatada uma maior participação dos alunos durante as aulas, comprovando assim seu caráter motivador.

## 4.6 AULA 5 (MOMENTO ANGULAR E SUA CONSERVAÇÃO)

O momento angular é uma das grandezas mais importantes da Física, pois ela se conserva, quando os torques externos são desprezados. Este é o enunciado da Lei da Conservação do Momento Angular e através desta lei podemos compreender o funcionamento de vários sistemas mecânicos, como por exemplo, o movimento das hélices de um helicóptero.

### 4.6.1 Experimentos

Foram realizados dois experimentos sobre Momento Angular e sua Conservação. A principal contribuição dos experimentos foi demonstrar a Lei da Conservação do Momento Angular para os estudantes através de uma abordagem simples, dando-lhes a oportunidade de entender o movimento de rotação de uma bailarina e também a função da hélice pequena em um helicóptero.

### **Experimento 1: Cadeira giratória**

#### **Objetivo**

O Principal objetivo deste experimento é mostrar a conservação do momento angular e os objetivos específicos são: i) identificar a relação entre o momento de inércia e a velocidade angular do corpo; ii) identificar as variações na velocidade angular do corpo durante o experimento como resultado da conservação do momento angular; iii) associar o experimento com situações do cotidiano dos alunos, como por

exemplo, o movimento de uma bailarina abrindo e fechando os braços numa apresentação.

### **Materiais e Procedimento experimental**

Neste experimento utilizou-se uma cadeira giratória de escritório e duas pedras de mármore.

Uma pessoa foi posta a girar sentada na cadeira segurando em cada mão uma pedra de mármore e foram observadas duas situações, uma com a pessoa de braços abertos e outra de braços fechados, como mostram as Figuras 62 e 63.

**Figura 62:** Cadeira giratória – braços abertos.



**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 63:** Cadeira giratória – braços fechados.



**Fonte:** Autoria própria.

## **Experimento 2: Hélices de brinquedo**

### **Objetivo**

O objetivo deste experimento foi o aluno perceber mais uma vez a conservação do momento angular, utilizando material acessível ao aluno, pode-se simular a hélice superior de um helicóptero e perceber a necessidade de se ter uma hélice lateral nessa aeronave, a fim de evitar seu giro quando o mesmo estiver no ar.

### **Materiais e Procedimento experimental**

Neste experimento, utilizaram-se duas peças de plástico encaixáveis, uma canaleta de plástico, massa de modelar e cordão, ambos encontrados a um preço acessível.

Inicialmente as duas peças de plásticos foram conectadas por meio de um cordão, distanciadas aproximadamente 5 cm uma da outra. Em seguida, foi colocada a canaleta de plástico no interior da peça de plástico superior com auxílio de massas de modelar, simulando uma hélice. Segurou-se a peça inferior com uma das mãos e

girou-se a peça superior com a outra mão, torcendo o cordão, em seguida o conjunto foi solto. Logo após este procedimento, notou-se que as duas peças giravam em sentidos opostos, confirmando a conservação do momento angular.

**Figura 64:** Hélice de brinquedo.



**Fonte:** Autoria própria.

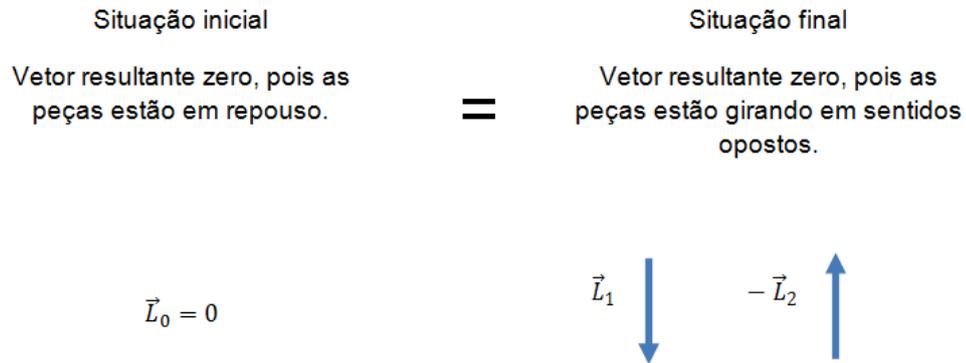
#### 4.6.2 Resultados e Discussões

No experimento da *cadeira giratória*, observou-se que quando a pessoa encolhe os braços e aproxima as pedras de seu corpo, sua velocidade angular aumenta. Os alunos conseguiram explicar este fenômeno facilmente pela conservação do momento angular, pois quando encolhemos o braço diminuimos o momento de inércia e como o momento angular é constante, a velocidade angular aumenta. Isto é, se reduzirmos o momento de inércia, temos que aumentar a velocidade angular.

Para o experimento *Hélices de brinquedo*, os alunos apresentaram dificuldades em explicar porque as peças giravam em sentidos opostos e com velocidade angular diferente quando eram soltas, para o entendimento foi preciso explicar o conceito de vetor, utilizando a regra da mão direita, mencionada anteriormente. Se antes da soltura, as peças encontravam-se em repouso, logo o vetor resultante é zero. Quando as peças foram soltas, pela conservação do momento angular, o vetor resultante deve continuar igual a zero, portanto, as peças giraram em

sentidos opostos. A Figura 62 mostra a relação do antes e depois das peças serem soltas, em formato de vetores, já que o momento angular é uma grandeza vetorial.

**Figura 65:** Conservação do mometo angular



**Fonte:** Autoria própria.

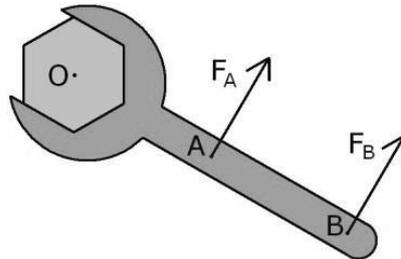
A seguir temos o questionário que foi utilizado para avaliar os resultados.

*Questionário prévio/avaliativo de momento angular e sua conservação:*

- 1- O que você entende por Torque?
  - a) É uma força capaz de deformar o corpo
  - b) É quando um corpo sofre uma força capaz de girá-lo
  - c) É quando um corpo é torcido
  - d) Não sei
  
- 2- A chave de boca da figura ao lado é usada para apertar um parafuso. O torque produzido no parafuso é maior se a força for aplicada:
  - a) No ponto A
  - b) No ponto B

- c) É igual
- d) Não sei

**Figura 66:** Torque no parafuso.



**Fonte:** <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Torque.JPG>>

- 3- Um corpo possui momento angular quando está:
- a) Parado
  - b) Em movimento retilíneo
  - c) Em rotação
  - d) Não sei
- 4- Como se encontra o sentido do momento angular?
- a) Pela regra de Pitágoras
  - b) Pela regra da mão direita
  - c) Pela regra da mão esquerda
  - d) Não sei
- 5- Quanto maior o torque:
- a) Maior o momento angular do corpo
  - b) Menor o momento angular do corpo
  - c) O momento angular não tem relação com o torque
  - d) Não sei
- 6- Quando o torque é zero:
- a) O momento angular também é zero
  - b) O momento angular se conserva

- c) O momento angular aumenta
- d) Não sei

7- Quando o torque é zero:

- a) O momento de inércia e a velocidade angular são inversamente proporcionais
- b) O momento de inércia e a velocidade angular são diretamente proporcionais
- c) O momento de inércia e a velocidade angular são iguais
- d) Não sei

8- Geralmente os helicópteros possuem dois sistemas de hélices, as superiores e as laterais. Você sabe o motivo?

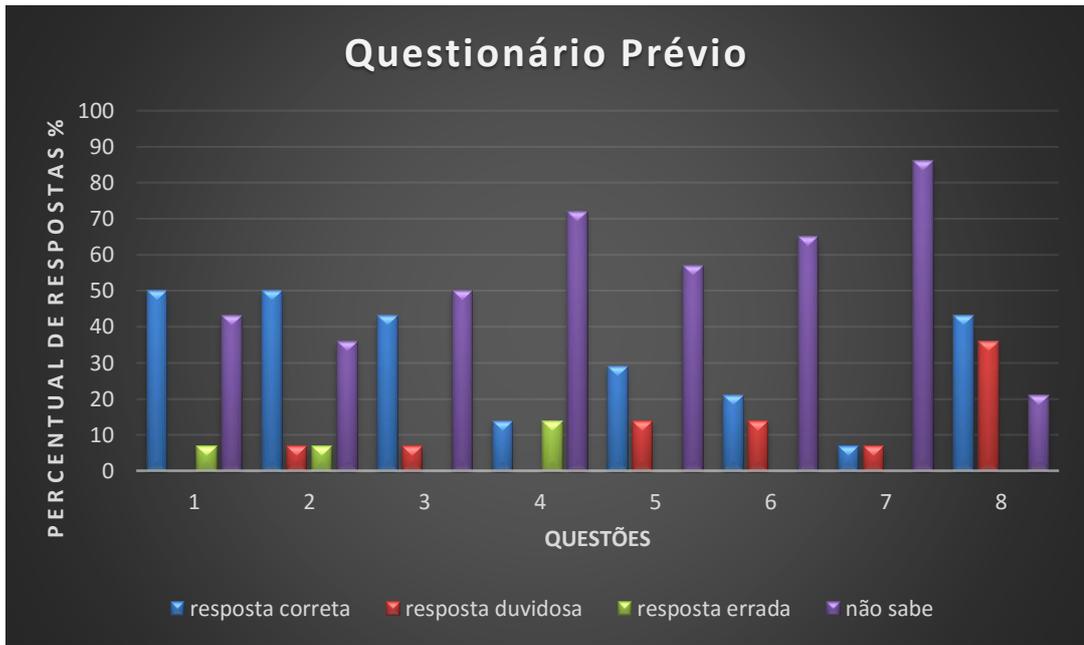
- a) Para ficar mais bonito
- b) Para evitar girar quando decolar
- c) Para ficar mais potente
- d) Não sei

**Figura 67:** Helicóptero.



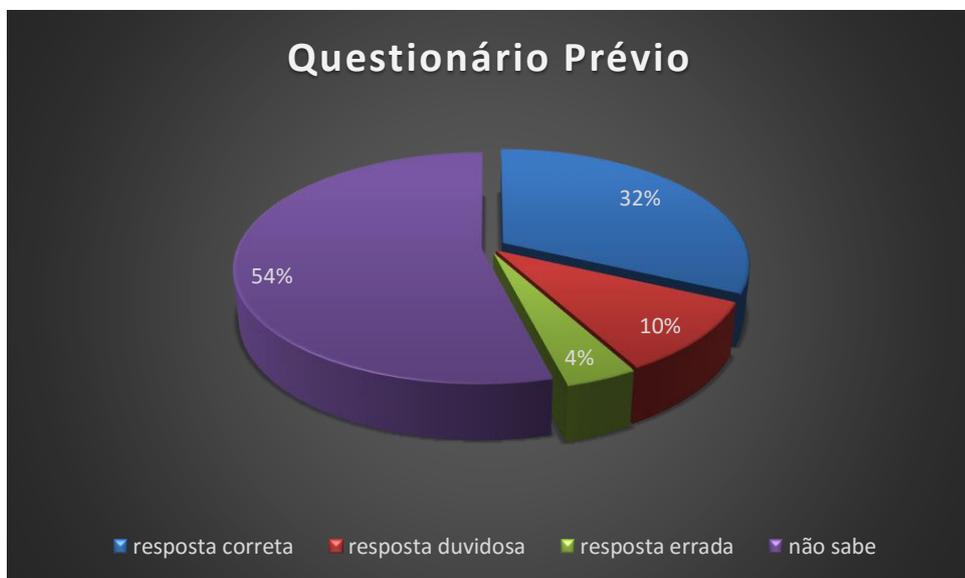
**Fonte:** <<http://galeria.colorir.com/veiculos/helicopteros/mais-visitados/>>

**Figura 68:** Resultado de todas as respostas do questionário prévio – momento angular.



**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 69:** Resultado de respostas das alternativas do questionário prévio – momento angular.



**Fonte:** Autoria própria.

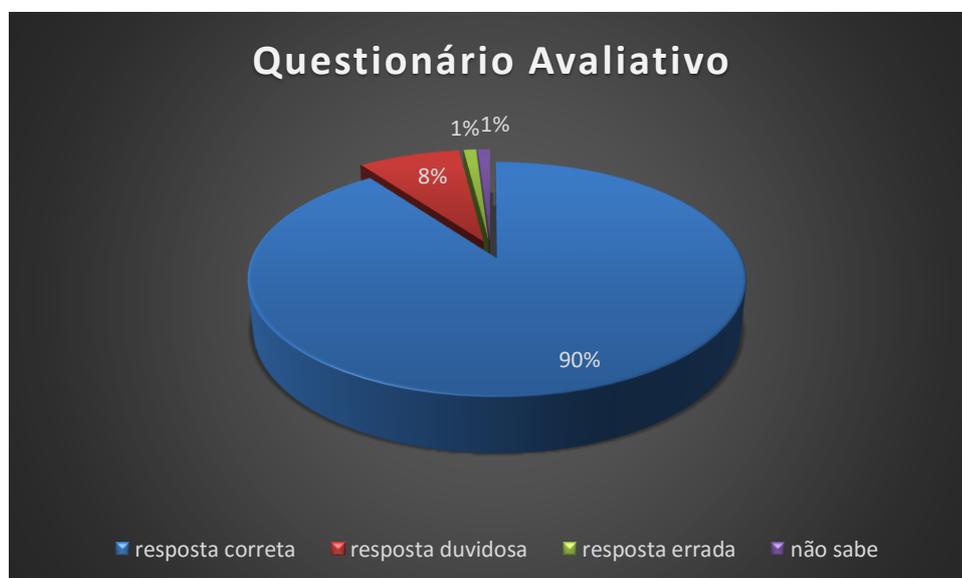
O destaque dos resultados do questionário prévio é a questão 7, que aborda o fato do torque resultante ser nulo, onde o aluno não tinha o conhecimento adequado e, portanto, observa-se que a maioria marcou a opção “*Não Ser*”.

**Figura 70:** Resultado de todas as respostas do questionário avaliativo – momento angular.



**Fonte:** Autoria própria.

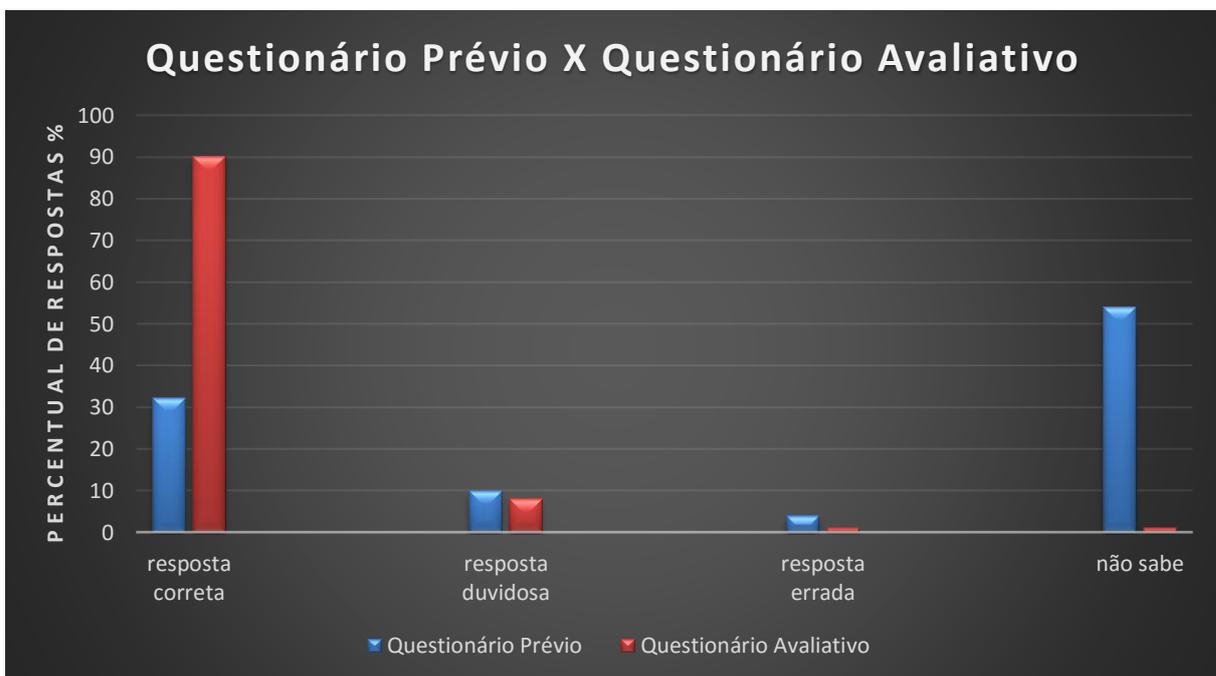
**Figura 71:** Resultado de respostas das alternativas do questionário avaliativo – momento angular.



**Fonte:** Autoria própria.

O comparativo antes e depois da aula mostra a eficácia deste método didático, pois os erros e dúvidas sobre o assunto diminuíram consideravelmente, como se verifica na Figura 72. Observa-se um aumento de 58% de acertos na questão correta e o destaque está no percentual na alternativa “Não Sei” que praticamente zerou, mostrando desta forma que o método utilizado é um recurso importante na interpretação das teorias físicas e auxilia o professor a combinar os princípios já conhecidos dos alunos com novos princípios de hierarquia mais elevada e contribuindo desta forma no processo de ensino-aprendizagem.

**Figura 72:** Comparativo entre o questionário prévio e avaliativo – momento angular.



**Fonte:** Autoria própria.

#### 4.6.3 Conclusão

Comparando os resultados do questionário aplicado antes e depois da aula, verificou-se que muitos alunos apresentavam concepções errôneas do assunto, tais concepções foram reformuladas e substituídas por concepções cientificamente corretas, tendo em vista um aumento de 58% de acertos na questão correta e uma redução de 53% nas questões “Não Sei”. Isto mostrar que este é um

método didático importante para que o aluno vivencie os fenômenos e os relacione com situações do seu cotidiano.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os experimentos de baixo custo constituem uma alternativa na construção de uma ponte entre o conteúdo ministrado em sala de aula e o cotidiano dos alunos. Além disso, os experimentos favorecem estímulo ao caráter investigativo, à tomada de decisão e à aprendizagem colaborativa, pois, quando é solicitado aos alunos justificativas que expliquem os fenômenos observados, eles são encorajados a romper a passividade que geralmente lhes é imposta na abordagem tradicional, possibilitando assim a construção do conhecimento de forma crítica e ativa, desenvolvendo dessa forma a autonomia.

Nessa perspectiva, utilizou-se neste trabalho experimentos com materiais de baixo custo nas aulas de dinâmica de rotação para alunos da primeira série do Ensino Médio do Instituto Federal da Paraíba, no Campus Sousa, como ferramenta para o professor estimular e dirigir o processo ensino-aprendizagem. A escolha do tema deve-se a sua carência nos principais livros didáticos do Ensino Médio do país. Esse fato é particularmente preocupante, pois o livro didático desempenha um papel muito importante no processo de aprendizagem, já que este serve como guia para a elaboração das aulas. Na tentativa de minimizar esse problema, utilizou-se neste estudo como estratégia pedagógica a metodologia de Robert Mills Gagné, mais especificamente “Resolução de Problemas”,

Como forma de avaliar a eficiência da estratégia didática, os alunos foram submetidos à pré (questionário prévio) e pós-teste (questionário avaliativo), aplicados antes e depois da aula, respectivamente. Além disso, o pré-teste tem como finalidade fazer o aluno a pensar sobre a relação da física e situações do seu cotidiano. Analisando os resultados obtidos nestes testes foi confirmada a eficácia do uso de experimentos de baixo custo nas aulas de Dinâmica de Rotação como estratégia de ensino para o professor estimular e construir coletivamente o conhecimento de forma ativa e participativa, pois houve um aumento de acertos no pós-teste e também um aumento na participação dos alunos durante a aula.

Espera-se que este material seja um recurso didático que auxilie o professor de Física na construção do conhecimento de dinâmica de rotação de forma participativa e que os professores se sintam motivados a elaborar suas aulas

contextualizadas e integradas ao dia-dia do aluno e desta forma motivá-los a aprender Física.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Mauro S. Teixeira. **Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v25n2/a07v25n2>>. Acesso em 21/06/2015.

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) para o Ensino Médio, - **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais** – Física, 2001.

BRASIL. MEC. SEMTEC. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.** Brasília: Secretaria de Educação Média e Tecnologia, 1999.

CALÇADA, Caio Sérgio; SAMPAIO, José Luiz. **Física Clássica – Mecânica**, Vol. 1 – 1ª Edição. São Paulo: Atual, 2012.

CALÇADA, Caio Sérgio; SAMPAIO, José Luiz. **Universo da Física – Mecânica**, Vol. 1. São Paulo: Atual, 2001.

DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José; BÔAS, Newton Villas. **Tópicos de Física – Mecânica**, Vol. 1 – 20ª Edição reformulada. São Paulo: Saraiva, 2007.

DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José; BÔAS, Newton Villas. **Física – Vol. 1** – 1ª Edição. São Paulo: Saraiva, 2010.

DUARTE, Sérgio Eduardo. **Física para o Ensino Médio usando Simulações e Experimentos de Baixo Custo: um exemplo abordando Dinâmica da Rotação.** CAD. BRAS. ENS. FÍS., V. 29, N. ESPECIAL 1: P. 525-542, SET. 2012.

FERNANDES, Marcelo. **Rolamento De Uma Bola Em Um Plano Inclinado. (Um Experimento Para O Ensino Médio).** Disponível em:

<[http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/\\_rolamentodeumabolaemumpl.trabalho.pdf](http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_rolamentodeumabolaemumpl.trabalho.pdf)>. Acesso em 12/06/2015.

FERRARO, Nicolau Gilberto; PENTEADO, Paulo Cesar; SOARES, Paulo Toledo; TORRES, Carlos Magno. **Física Ciência e Tecnologia – Vol. único**. São Paulo: Moderna, 2001.

GAGNÉ, Robert Mills. **COMO SE REALIZA A APRENDIZAGEM**. 1ª edição. Rio de Janeiro: LTC; 1983.

GALIAZZI, Maria do Carmo. **A Natureza Pedagógica da Experimentação: Uma Pesquisa na Licenciatura em Química**. Quim. Nova, Vol. 27, No. 2, 326-331, 2004.

REF, Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 1 – Mecânica – 5ª Edição**. São Paulo: Edusp, 1999.

HIGA, Ivanilda. **A experimentação nas pesquisas sobre o ensino de Física: Fundamentos Epistemológicos e Pedagógicos**. Educar em Revista, Curitiba, Brasil, n. 44, p. 75-92, abr./jun. 2012. Editora UFPR.

MATTHEW, Sands; FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B. **Lições de Física de Feynman – 1ª Edição**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

OLIVEIRA, Jane R. Silva. **Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: Reunindo elementos para a prática docente**. Disponível em: <<http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/acta/article/view/31>>. Acesso em 23/05/2015.

RUBINI, Gustavo. **“Coisas Que Giram” – A Conservação Do Momento Angular De Forma Interativa**. Disponível em:

<[http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/\\_coisasquegiram-aconserva.trabalho.pdf](http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_coisasquegiram-aconserva.trabalho.pdf)  
>. Acesso em 14/10/2014.

SANTOS, Emerson Izidoro. **Atividades Experimentais de Baixo Custo Como Estratégia De Construção da Autonomia de Professores de Física: Uma Experiência em Formação Continuada.** Disponível em: <[http://www.cienciamao.usp.br/dados/epef/\\_atividadesexperimentaisd.trabalho.pdf](http://www.cienciamao.usp.br/dados/epef/_atividadesexperimentaisd.trabalho.pdf)>. Acesso em 12/07/2015.

SOUSA, Guida S. R. Bonfim. **O Erro no Processo de Construção da Aprendizagem.** Campina Grande, REALIZE Editora, 2012.

YAMAMOTO, Kazuito; FUKU, Luiz Felipe; SHIGEKIYO, Carlos Tadashi. **Os Alicerces da Física – Mecânica**, Vol. 1 – 15ª Edição reformulada. São Paulo: Saraiva, 2007.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A.. **Física I – Mecânica** – 12ª Edição. São Paulo: Pearson, 2008.