



## **Ensino de conceitos relacionados à rotação dos corpos com uso de demonstrações utilizando o kit LEGO Mindstorms 9797 e materiais reutilizados**

DEMÉTRIUS LUCAS DE OLIVEIRA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Nacional Profissional em ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, polo 58-UFRPE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. Michael Lee Sundheimer

Paulista – PE

Janeiro 2022

**Ensino de conceitos relacionados à rotação dos corpos  
com uso de demonstrações utilizando o kit LEGO  
Mindstorms 9797 e materiais reutilizados**

DEMÉTRIUS LUCAS DE OLIVEIRA

Orientador: Dr. Michael Lee Sundheimer

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pólo 58-UFRPE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

---

Dr. João Francisco Liberato de Freitas

---

Dr. Michael Lee Sundheimer

---

Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Paulista – PE  
Janeiro de 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

O48de123 Oliveira, Demetrius Lucas  
ee Ensino de conceitos relacionados à rotação dos corpos com uso de demonstrações utilizando o kit Lego Mindstormns  
9797 e materiais reutilizados / Demetrius Lucas Oliveira. - 2021.  
204 f. : il.

Orientador: Michael Lee Sundheimer.  
Inclui referências e apêndice(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS), Recife, 2022.

1. Ensino de Física. 2. Aplicação. 3. Aprendizagem. I. Sundheimer, Michael Lee, orient. II. Título

CDD 530

---

Dedico este trabalho ao meu pai Isaias Damião de Oliveira e a minha mãe Maria do Carmo Lucas de Oliveira por tudo que fizeram para meu crescimento pessoal e profissional. A todos que participaram do meu desenvolvimento pessoal e profissional

## **Agradecimentos**

Agradeço inicialmente, minha esposa Neila Carla Lima da Silva que sempre esteve comigo nos momentos bons e ruins orientando-me, motivando-me e sempre acreditando e apoiando as minhas decisões.

A todos os professores da Universidade Rural Federal de Pernambuco, responsáveis pelo Mestrado Nacional Profissional que proporcionaram uma aprendizagem bastante significativa e enriquecedora, contribuindo para a minha formação acadêmica na Pós- Graduação Stricto Senso em Ensino de Física.

Agradeço em especial ao Professor e Orientador Dr. Michael Lee Sundheimer, quedurante toda pós-graduação teve paciência, compreensão e discernimento.

Aos meus companheiros da turma 2018 do Mestrado Nacional Profissional em Ensinode Física, que durante todos os encontros contribuíram no meu amadurecimento intelectual, profissional e pessoal. Em especial a Moises Andrade e Rafael Menezes.

Aos meus familiares: meu pai Isaias Damião de Oliveira, minha mãe Maria do Carmo Lucas de Oliveira que me orientou durante parte de minha caminhada. Aos meus irmãos Antônio Alexandre e Marília pelas suas companhias. Meus filhos. A toda minha família, os meus agradecimentos.

Aos meus companheiros de trabalho. Em especial Wendell Paulino e Ricardo Lopes Catarino. Aos meus caros estudantes pelas contribuições na pesquisa, meus sinceros agradecimentos. A todos que direta e indiretamente Participaram deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## Resumo

Atualmente uma das maiores dificuldades para obter um aprendizado consistente em escolas do ensino básico é a falta de conexão dos conteúdos com o cotidiano dos discentes. Um dos seus efeitos mais danoso é o desinteresse por parte dos alunos. Este e outros problemas atingem de forma bastante significativa os professores de Física no ensino médio. Os conteúdos são trabalhados descontextualizados, distantes dos anseios e realidades da comunidade escolar, tendo impacto em várias áreas da sociedade. Resultando em um aprendizado deficiente e formação de uma mão de obra desqualificada. Outro fator importante dessa equação é a desestruturação dos ambientes escolares que não acompanharam a velocidade das inovações tecnológicas ocorridas, mostrando-se cada vez mais desconectada da realidade dos alunos. Neste cenário, utilizar ferramentas disponibilizadas ou desenvolvê-las, por exemplo, demonstração de baixo custo constitui uma saída possível criando uma conexão entre o conteúdo ministrado, o cotidiano dos alunos e as necessidades de aprendizado.

O presente trabalho utiliza equipamentos da robótica educacional disponível na escola e materiais reutilizados para produção de material para demonstração dos conteúdos relacionados a movimento circular e momento angular, conteúdos da Dinâmica de Rotação, como estratégia para facilitar e estimular processo ensino aprendizagem. Foi desenvolvido então, um produto educacional constituído de instrumentos para visualização dos conceitos. Com uso deste o discente terá oportunidade de observar o passo a passo das demonstrações realizadas através de fotos e vídeos. A pesquisa foi com alunos oriundos do segundo ano em 2020 que estão cursando o terceiro ano do Ensino Médio em 2021 da escola de referência em ensino médio José Manoel de Queiroz, no município do Paulista. Foram montados instrumentos pensados e desenvolvidos para o tema abordado, adaptadas de montagens presentes nos manuais do kit LEGO Mindstorms NXT 9797 tendo como base didático-pedagógica a teoria da Aprendizagem cumulativa de Gagné, o construtivismo de Piaget e o sócio interacionismo de Vygotsk. Os alunos responderam ao pré e ao pós-teste para avaliação do ganho na aprendizagem sobre o assunto abordado e participaram de atividades virtuais que possibilitaram aprendizado sobre o conteúdo.

Palavras- chave: Ensino de Física, aplicação, aprendizagem.

## ABSTRACT

Currently, one of the biggest difficulties in achieving consistent learning in elementary schools is the lack of connection between the contents and the daily lives of students. One of its most damaging effects is disinterest on the part of students. This and other problems affect Physics teachers in high school quite significantly. The contents are worked out of context and far from the expectations and realities of the school community, having an impact on various areas of society. Resulting in deficient learning and training of an unskilled workforce. Another important factor in this equation is the disruption of school environments that have not kept up with the speed of technological innovations that have taken place, showing themselves increasingly disconnected from the reality of students. In this scenario, using available tools or developing them, for example, low-cost demonstrations, constitutes a possible solution, creating a connection between the content taught, the daily lives of students and their learning needs.

This work uses educational robotics equipment available at school and reused materials to produce material to demonstrate circular motion and angular momentum contents, Rotation Dynamics contents, as a strategy to facilitate and stimulate the teaching-learning process. An educational product consisting of instruments for visualizing the concepts was then developed. With the use of this, the student will have the opportunity to observe step by step the demonstrations carried out through photos and videos. The work was with students from the second year in 2020 who are attending the third year of high school in 2021 at the reference school in high school José Manoel de Queiroz, in the municipality of Paulist. Instruments designed and developed for the topic addressed were assembled, adapted from assemblies present in the manuals of the LEGO Mindstorms NXT 9797 kit, based on Gagné's theory of cumulative Learning, Piaget's constructivism and Vygotsk's socio-interactionism. Students responded to the pre- and post-test to assess the gain in learning about the subject covered and participated in virtual activities that enabled learning about the content. .

Keywords: Physics education, application, and learning.

## Sumário

	Pg.
1. <b>INTRODUÇÃO</b>	1
1.2. Justificativa	5
1.3. Objetivos	12
1.3.1. Objetivos gerais	12
1.3.2. Objetivos específicos	12
2 <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA PEDAGÓGICA</b>	13
3 <b>FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS FÍSICA</b>	20
3.1. Centro de massa (CM)	20
3.2. Cinemática angular	22
3.3. Momento de inércia ou inércia rotacional	30
3.3.1. Momento de inércia de sistemas discretos	33
3.3.2. Momento de inércia de corpos contínuos	33
3.4. Momento angular	33
3.5. Torque	39
3.6. Rolamento sem deslizamento	41
4 <b>METODOLOGIA</b>	44
4.1. Demonstrações	47
4.1.1. Demonstração 1	48
4.1.2. Demonstração 2	48
4.1.3. Demonstração 3	49
4.1.4. Demonstração 4	49
4.1.5. Demonstração 5	50

5	<b>RESULTADOS</b>	51
5.1	Questão 1 formulário pré 1 pós 1	55
5.2	Questão 2 formulário pré 1 pós 1	57
5.3	Questão 3 formulário pré 1 pós 1	58
5.4	Questão 4 formulário pré 1 pós 1	59
5.5	Questão 5 formulário pré 1 pós 1	60
5.6	Questão 6 formulário pré 1 pós 1	62
5.7	Questão 7 formulário pré 1 pós 1	63
5.8	Questão 1 formulário pré 2 pós 2	64
5.9	Questão 2 formulário pré 2 pós 2	69
5.10	Questão 3 formulário pré 2 pós 2	66
5.11	Questão 4 formulário pré 2 pós 2	69
5.12	Questão 5 formulário pré 2 pós 2	69
5.13	Questão 1 formulário pré 3 pós 3	70
5.14	Questão 2 formulário pré 3 pós 3	72
5.15	Questão 3 formulário pré 3 pós 3	73
5.16	Questão 4 formulário pré 3 pós 3	74
5.17	Questão 5 formulário pré 3 pós 3	76
6	<b>CONCLUSÕES</b>	77
	Referências bibliográficas	80
	Apêndice A Produto educacional	83
	Apêndice B Questionários de sondagem e avaliação	185

## Listas de figuras

	Pg.
Figura 2.1- Conceitos envolvidos no processo de aprendizagem segundo Gagné	14
Figura 2.2: Relação entre habilidades de baixo nível e de alto nível	15
Figura 2.3: esquema da teoria de Piaget	16
Figura 2.4: Esquema da ZDP	17
Figura 3.1: Corpo rígido	20
Figura 3.2: Deslocamento de um ponto P pela circunferência	22
Figura 3.3: Movimento circular de um ponto P em torno do centro 'O'	25
Figura 3.4: Na figura adaptada observamos o ponto P em movimento circular em torno do centro do círculo	26
Figura 3.5: Fotos do autônomo da demonstração 3	31
Figura 3.6: Inércia rotacional de corpos homogêneos de várias formas.	32
Figura 3.7: Momento angular e linear em relação aos eixos x, y e z	34
Figura 3.8: Direção e sentido do momento angular (imagem A) e velocidade angular (imagem B).	35
Figura 3.9: Salto ornamental e momento de inércia	39
Figura 3.10: O torque	39
Figura 3.11: A direção e o sentido do torque é dado pela regra da mão direita	40
Figura 4.1: sequência das atividades que devem ser desenvolvidas pelo professor com os alunos	45
Figura 4.2: Fotos das caixas de peças e do Brick do kit LEGO Mindstorms NXT 9797.	47

## Lista de gráfico

	pg
Gráfico 5.1: Resultados das respostas da questão 1 dos questionários pré1 e pós 1	56
Gráfico 5.2: Resultados das respostas da questão 2 dos questionários pré1 e pós 1.	57
Gráfico 5.3: Resultados das respostas da questão 3 dos questionários pré1 e pós 1.	59
Gráfico 5.4: Resultados das respostas da questão 4 dos questionários pré 1 e pós 1	60
Gráfico 5.5: Resultados das respostas da questão 5 dos questionários pré1 e pós 1	61
Gráfico 5.6: Resultados das respostas da questão 6 dos questionários pré1 e pós 1	62
Gráfico 5.7: Resultados das respostas da questão 7 dos questionários pré 1 e pós 1.	63
Gráfico 5.8: Resultados das respostas da questão 1 dos questionários pré 2 e pós 2.	64
Gráfico 5.9: Resultados das respostas da questão 2 dos questionários pré 2 e pós 2.	66
Gráfico 5.10: Resultados das respostas da questão 3 dos questionários pré 2 e pós2.	67
Gráfico 5.11: Resultados das respostas da questão 4 dos questionários pré 2 e pós 2	68
Gráfico 5.12: Resultados das respostas da questão 5 dos questionários pré2 e pós 2.	69
Gráfico 5.13: Resultados das respostas da questão 1 dos questionários pré 3 e pós 3	71
Gráfico 5.14: Resultados das respostas da questão 2 dos questionários pré 3 e pós 3	72
Gráfico 5.15: Resultados das respostas da questão 3 dos questionários pré3 e pós 3	73
Gráfico 5.16: Resultados das respostas da questão 4 dos questionários pré 3 e pós 3	75
Gráfico 5.17: Resultados das respostas da questão 5 dos questionários pré 3 e pós 3.	76

## Lista de tabela

Tabela 1.1: Sequência de fases para aplicação dos conteúdos, seus eventos, funções e materiais utilizados em cada uma destas.	03
Tabela 3.1: Grandezas envolvidas com o movimento de rotação e suas respectivas fórmulas	23
Tabela 5.1: Aplicação dos eventos	52
Tabela 5.2: Comparação do percentual de acertos dos formulários pré 1 e pós 1	53
Tabela 5.3: comparação do percentual de acertos dos formulários pré 2 e pós 2	54
Tabela 5.4: comparação do percentual de acertos dos formulários pré 3 e pós 3	55

## Capítulo 1 INTRODUÇÃO

As mudanças na sociedade têm revelado a importância do ensino das Ciências da Natureza e a necessidade do aprendizado dos conhecimentos estudados pelas mesmas. Dentre as Ciências da Natureza a Física tem conexão com tecnologias aplicadas no dia a dia da sociedade, merecendo por isso atenção especial. É considerada uma disciplina essencial as demandas do mundo moderno, capacitando a mão de obra.

Embora seja importante o conhecimento em matemática, enfatiza Ricardo (RICARDO e FREIRE, 2007 p.255), o ensino da Física não é dependente só dos cálculos matemáticos. Mesmo antes de seu nascimento como ciência, a Física estava presente no cotidiano da humanidade, sendo esquematizada como um conhecimento sistematizado a partir do século dezesseis (XVI). Tem a descrição, interpretação e previsão de fenômenos como propósito.

Na atualidade dentre os principais problemas enfrentados pelos professores de Física, do ensino básico, temos o de manter os alunos motivados e atraídos pelos conceitos abordados muitas vezes desconexos duma realidade escolar. Como motivar ou melhorar o aprendizado dos alunos?

Demonstrações e atividades práticas são alternativas para tornar o conteúdo ministrado pelo professor um conhecimento mais atrativo e dinâmico. Motivando-os a aprender um conteúdo mais visível e significativo. Enfatizando essa situação. Oliveira afirma em publicação na Revista Brasileira de Ensino de Física, existir um atraso tecnológico entre os avanços científicos e o que é passado em sala de aula (OLIVEIRA, et al. 2007, p. 447). Outros pesquisadores chegaram à conclusão semelhante sobre esta temática. Santos e Canever citam que o ensino se manteve inalterado com insatisfação dos alunos e dificuldade de entender o assunto, tornando-o maçante e ineficaz (SANTOS e CANEVER, 2011, P. 10).

Esta insatisfação é evidenciada pela alta taxa anual de abandono escolar vivenciada em nosso país. O dado oficial mais recente, de 2017-2018, indica uma evasão média de 2,6% no ensino fundamental e 8,6% no médio. A maioria dos brasileiros que não frequentam a escola, em torno dos 1,6 milhão de pessoas, está na faixa etária dos 15 aos 17 anos (PORTAL DO MEC, 2018).

Para tentar diminuir as dificuldades uma alternativa é trabalhar os conteúdos de forma contextualizada e prática. A atividade é centrada em exemplos e menos orientada em teorias e fórmulas distantes do aluno, facilitando a compreensão do conteúdo; tornando o aprendizado mais prazeroso, eficaz e significativo. Bartizk conclui em sua pesquisa, “Quanto maior o envolvimento do aluno maior seu aprendizado” (BARTZIK, 2017, P. 31).

Além disso, outro fator complicador é traduzir a fórmula matemática para um conceito físico utilizável, que auxilie na compreensão dos fenômenos naturais, não apenas trabalhado com grande rigor matemático, descontextualizados e que objetivam apenas um aspecto, o numérico da situação envolvida, como conclui Gleise (GLEISE, 2000 p. 4). É papel do professor esta tarefa, esta tradução, auxiliando o aluno neste aprendizado. Este não é o principal objetivo da disciplina? Sim, compreender os fenômenos da natureza. O ensino de Física deve proporcionar ao aluno a compreensão da realidade onde ele vive e não apenas treinar o aluno para responder testes. Os PCN já abordavam todos estes problemas quando relatam que não só condições de trabalho e sim uma deformação estrutural que há muito tempo vem ocorrendo devido a uma visão de um determinado período.

Não é suficiente existir conteúdo contextualizado. É necessário que o conteúdo desperte e motive os discentes, tenha significado e relação com os anseios dos alunos, como expresso nas Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio. Cabe então ao professor encontrar as soluções com estas características ou despertá-las. Procurar soluções didáticas para “ensinar” Física é fundamental, adequando o discente a outra realidade, bem diferente da vivenciada por ele.

O aluno hoje tem acesso a inúmeros meios de obter informações precisando se apropriar do conhecimento científico, dessa maneira será capaz de responder às perguntas sobre as situações e fenômenos que estão ao seu redor. Os saberes vivenciados na escola são fundamentais como promotores do aprendizado. Sendo o docente essencial neste processo.

Para atender esta demanda, a presente pesquisa tenta demonstrar que atividades práticas e demonstrações quando planejadas e tendo objetivos claros, auxiliam na aprendizagem, motivando os alunos a compreender conceitos de difícil entendimento, apenas com utilização de fórmulas, melhorando o desempenho dos alunos.

Para isto foi desenvolvida uma sequência didática envolvendo conceitos relacionados aos fenômenos observados nas rotações de objetos. Esta sequência foi planejada com base na teoria de aprendizagem cumulativa de Robert Mills Gagné (1914-2002).

A eficácia desta sequência foi testada na pesquisa, com a aplicação do produto educacional planejado com utilização de demonstrações, atividades práticas, utilizando o kit LEGO Mindstorms NXT 9797, vídeos, imagens e vídeos aulas produzidas a parti dos conceitos demonstrados pelos autômatos montados com esta finalidade.

Há uma sequência a ser seguida nas aulas para obter o melhor aprendizado. Nesta sequência são realizadas as fases defendidas pelo pesquisador.

Tabela 1.1: Sequência de fases para aplicação dos conteúdos, seus eventos, funções e materiais utilizados em cada uma destas.

FASE	EVENTO e FUNÇÃO	MATERIAL
1º- Aplicação do questionário Pré	Aplicação do formulário pré aos alunos para avaliação dos conhecimentos prévios.	Formulário de sondagem com questões para avaliar e lembrar os conteúdos que serão abordados nas aulas. Produzidos no aplicativo Google formulário
2º- Comentários do professor	Introdução aos conteúdos com comentários. O intuito é motivar, descrever os objetivos e estimular lembranças referentes ao assunto	Vídeos e /ou imagens motivadores, textos. Todo material que possa ser utilizado conectar o assunto ao aluno.

3ª aula	Vídeo aula, aula discursiva e demonstrações	Vídeo motivador e vídeo da demonstração.
4º- Comentários do Professor	Comentar os conteúdos vistos nas aulas, explicar os conceitos envolvidos nas imagens, vídeos motivadores e demonstrações. O intuito é desenvolver nos alunos conhecimentos que estes não desenvolveram, bem como, ajudá-los a atingirem novos saberes.	(montagem com kit LEGO) Vídeos e /ou imagens motivadores, textos. Todo material que possa ser utilizado conectar o assunto ao aluno
5º- Questionário Pós	Aplicação do formulário pós aos alunos para avaliação dos conhecimentos pré.	Formulário de verificação com questões para avaliar a aprendizagem dos alunos. Produzidos no aplicativo Google formulário

Fonte: Própria

## 1.2 Justificativa

Em um mundo tecnológico, em constante evolução, padrões elevados de aprendizagem trazem benefícios a toda sociedade. Ana Carla Abrão, explica: “A melhoria na qualidade de ensino repercute positivamente na produtividade” (TODOS PELA EDUCAÇÃO, 2018).

O sistema de ensino auxilia nesta evolução. Produzir mais com mesmo número de trabalhadores é um indicador de produtividade, relacionado ao grau de escolarização de uma população. Exemplos existem, os casos do Japão, segundo Becker (apud, Silva, 2018, p.3) e da Coréia do Sul, de acordo com Amsden (apud, Silva, 2018, p.3), que aumentaram suas produtividades com aumento da escolarização. Com investimentos maciços em educação é possível à nação acelerar seu desenvolvimento. Para Lins: “Em outras palavras, países com baixas taxas de crescimento não possuem pessoal escolarizado e qualificado o suficiente para fazer uso das ideias” (LINS, 2011 p.4). Uma das causas disto é a pouca qualidade no ensino, nas palavras de Ana Carla Abrão: ... “Um dos fatores primordiais na explicação disso é que, apesar de conseguirmos aumentar a escolaridade média, não avançamos na qualidade do ensino” (TODOS PELA EDUCAÇÃO, 2018). “Maior escolaridade faz com que, direta ou indiretamente, uma economia funcione com mais eficiência” (TODOS PELA EDUCAÇÃO, 2018). Como observado à importância da escolarização, vai muito além dos aspectos educacionais.

Com essa perspectiva e tendo em vista garantir aos jovens o direito de usufruir de conhecimentos necessários para exercer sua cidadania, a partir do ensino contextualizado proposto pelas DCNEM. Direcionados, em especial, a alunos pertencentes às classes sociais de baixa renda, a maior parte, alunos das escolas públicas. Dando-lhes a oportunidade de ver um universo de novas informações, proposta desta pesquisa, desenvolvemos esta sequência didática.

A BNCC, enquanto documento normativo determina o desenvolvimento de currículos direcionados a uma formação integral, possibilitando o exercício da cidadania e a superação das desigualdades sociais tão presentes no público de escolas públicas. (CURRÍCULO DE PERNAMBUCO, 2019 p. 22). Não há apenas a superação das desigualdades ocorrem outros benefícios:

“O ensino adequado de ciências estimula o raciocínio lógico e a curiosidade, ajuda a formar cidadãos mais aptos a enfrentar os desafios da

sociedade contemporânea e fortalece a democracia, dando à população, em geral, melhores condições para participar dos debates cada vez mais sofisticados sobre temas científicos que afetam nosso cotidiano” (Hamburger, E. W.; Galembeck, et al, 2008).

Por outro lado, o mundo científico-tecnológico em que vivemos exige do cidadão, conhecimentos mais apurados nesta área. As disciplinas das Ciências da Natureza são as que mais oportunizam o enfrentamento dessa exigência. Porém, esta tarefa não é tão simples. Dificuldades de desempenhar o papel de ensinar são observadas por estudiosos da área. FOUREZ (2003, p. 110) observa: ... “Quando fala numa crise nesta área de ensino enfatiza que todos são atingidos por ela, os alunos, os professores de ciências, os dirigentes da economia, os pais, os cidadãos” [...].

A presente pesquisa é uma contribuição por estes esforços, que buscam a melhoria das técnicas e abordagens na sala de aula, sendo presencial ou à distância. Porém, houve a substituição da aula e demonstração presencial, devido às limitações do distanciamento social. As atividades propostas consistem na elaboração de demonstrações de conceitos sobre o tema rotações e momento angular (momento de inércia e variação do momento angular, com montagem e programação utilizando o kit LEGO Mindstorms NXT 9797; gravação através de vídeos dos conteúdos para apresentação e demonstração dos conceitos pelo professor aos alunos. Utilização do Google meet para apresentação dos comentários do professor e interação dos alunos, uso do Google formulário para os alunos terem acesso aos questionários. Todos cumprem função pedagógica relevante, pois, auxilia o aluno a interagir, mesmo que virtualmente, com o material de estudo, e ao professor mediar o ensino-aprendizagem.

A atividade prática, interação com material e professor; seu envolvimento social abrirá oportunidade de atingir novos saberes, Vasconcellos (1995). Ênfase que todas as atividades deveriam ocorrer preferencialmente de forma presencial, mas devido às restrições sanitárias, foram adaptadas a atividades remotas.

Neste contexto é possível demonstrar ao aluno de forma visual o que ele apenas imagina numa leitura ou no monólogo de uma aula teórica. A demonstração dos conceitos é usada sabendo-se também que teoria e prática devem ser indissociáveis, como preconizado por Andrade e Massabni (ANDRADE e MASSABNI, 2011, p.846). O uso de demonstrações para visualização do conteúdo busca uma ponte entre teoria e prática. Com esta estratégia, os alunos passam a ter um melhor aproveitamento dos

conteúdos vivenciados, tem-se como ideia um conhecimento contextualizado, fazendo com que o aluno passe a conhecer novas possibilidades de aprendizado, a qual pode ser motivadora para obter novos conhecimentos através de novas concepções. Passando a utilizar os conceitos e conteúdos aprendidos na aula, reconhecendo-os em seu cotidiano. Portanto, relacionando teoria e prática, será desenvolvida a demonstração e por necessidade de modo virtual, com o kit LEGO e uma demonstração sem este kit. O papel do professor é conduzir o aluno ao aprendizado dos conteúdos, alguns só possíveis com a prática (BARTZIK apud FROTA – PESSOA et al., 1985, p 33). A prática como impulsionador do aprendizado é defendida também por outros pesquisadores:

” As ciências naturais têm em sua base a experimentação. Os fenômenos são explicados e as teorias somente têm êxito pleno se a experiência as confirmarem. [...] Apesar de conter aspectos filosóficos, teóricos e matemáticos, a Física é essencialmente uma ciência experimental. Portanto, a realização de experiências é uma parte essencial para o ensino de Física. O uso de atividades experimentais como estratégia de ensino tem sido apontado como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de aprender e ensinar física de modo significativo e consistente. Devem-se criar oportunidades para que o ensino experimental e o ensino teórico se efetuem em concordância” (PERUZZO, 2012, p. IX).

A prática é muito importante para os estudos de Ciências, por meio dela que os alunos aprendem a tirar conclusões e a fazer generalizações. O caminho mais direto para o professor demonstrar com fenômenos, pontos fundamentais para a disciplina, desenvolvendo a capacidade de explicar o meio em que vivemos. O papel do professor, como mediador, é enfatizado por grandes pesquisadores do campo da aprendizagem como Gagné e Piaget. Para Vygotsky, contatos sociais são importantes para aprendizagem.

Guiar os alunos ao aprendizado significativo faz diferença no modo como aluno vê e responde à ampliação do conhecimento. Nos seus trabalhos, comenta Bizzo ... “Enfatiza que o ponto crucial da ação docente [...] é reconhecer a real possibilidade de entender o conhecimento científico e a sua importância na formação dos nossos alunos uma vez que ele pode contribuir efetivamente para a ampliação da sua capacidade” (BIZZO, 2009, p. 15–16).

O desenvolvimento de aulas práticas e demonstrações podem auxiliar no aprendizado dos alunos, aproximando da realidade, levando-os a perceberem que aprender e entender a Física e os seus fenômenos são muito mais prazerosos e simples

do que se espera. Segundo Bartzik (apud ANDRADE E MASSABNI, 2017, p.35) atividades práticas proporcionam conhecimentos que só aulas teóricas não proporcionariam, com professores, juntamente à escola, oferecendo essa oportunidade para a formação do aluno.

Portanto, com os objetivos da BNCC (2018) como orientadores das aulas práticas em conjunto com as aulas teóricas, espera-se que a nova aprendizagem se relacione aos conhecimentos prévios dos alunos, ampliando e atualizando os saberes deste. Além disso, a utilização da contextualização como forma de desenvolver um trabalho de inter-relação dos conteúdos da disciplina com o cotidiano, é uma das propostas apresentadas pela BNCC (2018). Contribuindo para o aprendizado do aluno, sendo durante a pesquisa intensamente aplicada, pois, ao relacionar conceitos teóricos ao uso das demonstrações, tornou o conceito mais compreensível. Busca-se a interação entre a academia e o cotidiano, de maneira complementar possibilitando a formulação de um saber crítico reflexivo, devendo o processo de ensino e aprendizagem ser valorizado. Nessa perspectiva surge uma ponte entre a ciência e os indivíduos, proporcionando comunicação entre estes, para a compreensão da realidade, uma das metas da Física. Portanto, espera-se que no decorrer do desenvolvimento desta pesquisa, tendo como foco, a contextualização dos conceitos e a compreensão dos saberes expostos em fórmulas, haja construção de um conhecimento na sua totalidade.

O desafio de trabalhar momento angular, um conteúdo com uma pequena abordagem em livros do ensino médio (AZEVEDO, 2015 p.20) trouxe a oportunidade de desenvolver um material que auxilia o professor a transmitir de forma prática o conteúdo e posteriormente viesse a ser utilizado como apoio por outros professores quando trabalhassemos conteúdos relacionados à dinâmica da rotação.

Todo desenvolvimento das estratégias de ensino tem como objetivo desenvolver determinadas habilidades e competências pelos estudantes. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é a materialização dos esforços em relação ao assunto. O documento é estruturado a partir das competências e habilidades que devem ser desenvolvidas na educação básica (BRASIL, 2018. P.9-10).

Um fato importante é que nos conteúdos a serem abordados pelos professores com os alunos do primeiro ano do ensino médio das escolas, o assunto, quantidade de movimento abordado é o referente à quantidade de movimento linear abordado nos livros, sendo pouco ou não abordados conteúdos ligados a quantidade movimento angular.

Quem norteia e dirige o que vai ser estudado são as diretrizes determinadas nas

DCNEM e BNCC a âmbito nacional. Cada ente federativo tem o direito de definir diretrizes educacionais desde que não se desconecte das diretrizes nacionais. No âmbito estadual é afirmado que o currículo é alicerçado na BNCC, sendo função da escola dar as condições para o desenvolvimento das habilidades e criação de novas competências para uso dos alunos no seu dia a dia (CURRÍCULO DE PERNAMBUCO, 2019, p. 24).

Nas Diretrizes curriculares nacionais (BRASIL, 2018) os itinerários formativos estabelecem:

### III - Ciências da Natureza e suas tecnologias

Aprofundamento de conhecimentos estruturantes para aplicação de diferentes conceitos em contextos sociais e de trabalho, organizando arranjos curriculares que permitam estudos em Astronomia, Metrologia, Física geral, clássica, molecular, quântica e mecânica, instrumentação, ótica, acústica, (DCNEM, 2018, P. 6)

1 - Investigação científica: supõe o aprofundamento de conceitos fundantes das ciências para a interpretação de ideias, fenômenos e processos para serem utilizados em procedimentos de investigação voltados ao enfrentamento de situações cotidianas e demandas locais e coletivas, e a proposição de intervenções que considerem o desenvolvimento local e a melhoria da qualidade de vida da comunidade; (DCNEM, 2018, P. 7)

Na BNCC (BRASIL, 2018) a indicação de competências e habilidades é:

### COMPETÊNCIAS ESPECÍFICAS DE Ciências da Natureza E SUAS TECNOLOGIAS PARA O ENSINO MÉDIO.

1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos sócio ambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global.

2. Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.

3. Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BNCC, 2018, P.553)

## HABILIDADES

Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e processos produtivos que priorizem o uso racional dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas. ( (BNCC, 2018, P.555)

As unidades da federação têm autonomia para propor conteúdos desde que cumpram o que é determinado na BNCC. Em Pernambuco os parâmetros curriculares orientam as seguintes expectativas de aprendizagem:

EA5. Representar grandezas, utilizando códigos, símbolos e nomenclatura específicos da Física, tendo como foco o tema Movimento, Variações e Conservações.

EA6. Construir e descrever modelos físicos que representem os fenômenos observados, tendo como foco o tema Movimento, Variações e Conservações.

EA7. Realizar atividades experimentais para propor e verificar hipóteses sobre os fenômenos, sistematizando, analisando os dados e produzindo relatórios, tendo como foco o tema Movimento, Variações e Conservações.

EA8. Estabelecer relações entre hipóteses, teorias e leis físicas no contexto do tema Movimento, Variações e Conservações.

EA15. Aplicar as Leis de Newton em situações-problema descritas em relação a um referencial inercial.

EA16. Aplicar o conceito de Momento de Inércia, para discutir a resistência inercial de objetos em movimento de rotação, relacionando-o ao conceito de massa nas translações.

EA17. Associar a mudança no estado de movimento de um corpo à ação de forças e torques sobre ele, utilizando as leis de Newton, para explicar tanto a translação como a rotação.

EA12. Aplicar a lei de conservação da quantidade de movimento, na resolução de situações-problema, que envolvam impulso e/ou colisão.

EA13. Identificar as grandezas físicas, que determinam a quantidade de movimento de um corpo (massa e velocidade), bem como suas unidades de medida, realizando cálculos dessa grandeza.

EA14. Reconhecer a força como uma ação que produz uma variação na quantidade de movimento dos corpos (PARÂMETROS CURRICULARES DE PERNAMBUCO, 2013).

## Após a reorganização curricular de 2018

EA12. Aplicar a lei de conservação da quantidade de movimento, na resolução de situações-problema, que envolvam impulso e/ou colisão.

EA13. Identificar as grandezas físicas, que determinam a quantidade de movimento de um corpo (massa e velocidade), bem como suas unidades de medida, realizando cálculos dessa grandeza.

EA14. Reconhecer a força como uma ação que produz uma variação na quantidade de movimento dos corpos.

EA21. Aplicar o princípio de conservação da energia mecânica na resolução de situações-problema, que envolvam energia elástica, gravitacional ou cinética e energia dissipada por forças de atrito.

EA4. Caracterizar o processo histórico de evolução dos conceitos de movimento, variações e conservações.

EA7. Realizar atividades experimentais para propor e verificar hipóteses sobre os fenômenos, sistematizando, analisando os dados e produzindo relatórios, tendo como foco o tema Movimento, Variações e Conservações.

EA16. Aplicar o conceito de Momento de Inércia, para discutir a resistência inercial de objetos em movimento de rotação, relacionando-o ao conceito de massa nas translações (PARÂMETROS CURRICULARES DE PERNAMBUCO, 2018,)

Em relação à medição de quanto os alunos adquiriram novas habilidades, a metodologia utilizada pelos gestores em educação nos diversos níveis para essa medição é por meio das avaliações (internas e externas), que determinam por meio de pontuações a eficiência do ensino dos discentes para desenvolvê-la. Os resultados auxiliam no desenvolvimento de estratégias para melhoria do ensino.

Com tudo que foi exposto fica evidenciado a relevância das propostas desta pesquisa e como ele auxiliará os professores a desempenhar suas funções.

## **1.3 Objetivos**

Os objetivos da pesquisa estão elencados do seguinte modo:

### **1.3.1 Objetivos gerais**

- Atingir uma melhora do aprendizado medida nos questionários pelo aumento dos acertos das questões do questionário pós quando comparado ao pré.
- Utilizar materiais presentes nas escolas da rede pública ou de produção de baixo custo e fácil produção (materiais reciclados e/ou reutilizáveis) nas aulas de Física do Ensino Médio, como ferramenta para o professor;
- Estimular a utilização de meios áudio e visuais, bem como o uso de programas simulando demonstrações, auxiliando a autonomia dos alunos no processo de construção do conhecimento, de forma ativa e significativa;
- Produzir material teórico e prático suprimindo uma carência observada em alguns livros didáticos utilizados no ensino médio do assunto, quantidade de momento angular.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Apresentar de uma maneira alternativa, sem as temidas resoluções de equações matemáticas, com curiosidades e análises dos problemas do cotidiano do aluno; conceitos relacionados à quantidade de momento angular sendo respondidos em forma de demonstração simples;
- Aperfeiçoar a aprendizagem do aluno mediante modelo pedagógico apresentado;
- Potencializar a relação professor-aluno no âmbito do ambiente da sala virtual de aprendizagem referente ao processo ensino-aprendizagem do conteúdo ministrado, dando ênfase ao comportamento e interesse por parte do discente;
- Medir a eficácia das atividades experimentais desenvolvidas na sala de aula virtual;
- Medir os resultados comparativos dos questionários prévios e avaliativos aplicados após a aula.

## Capítulo 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA PEDAGÓGICA

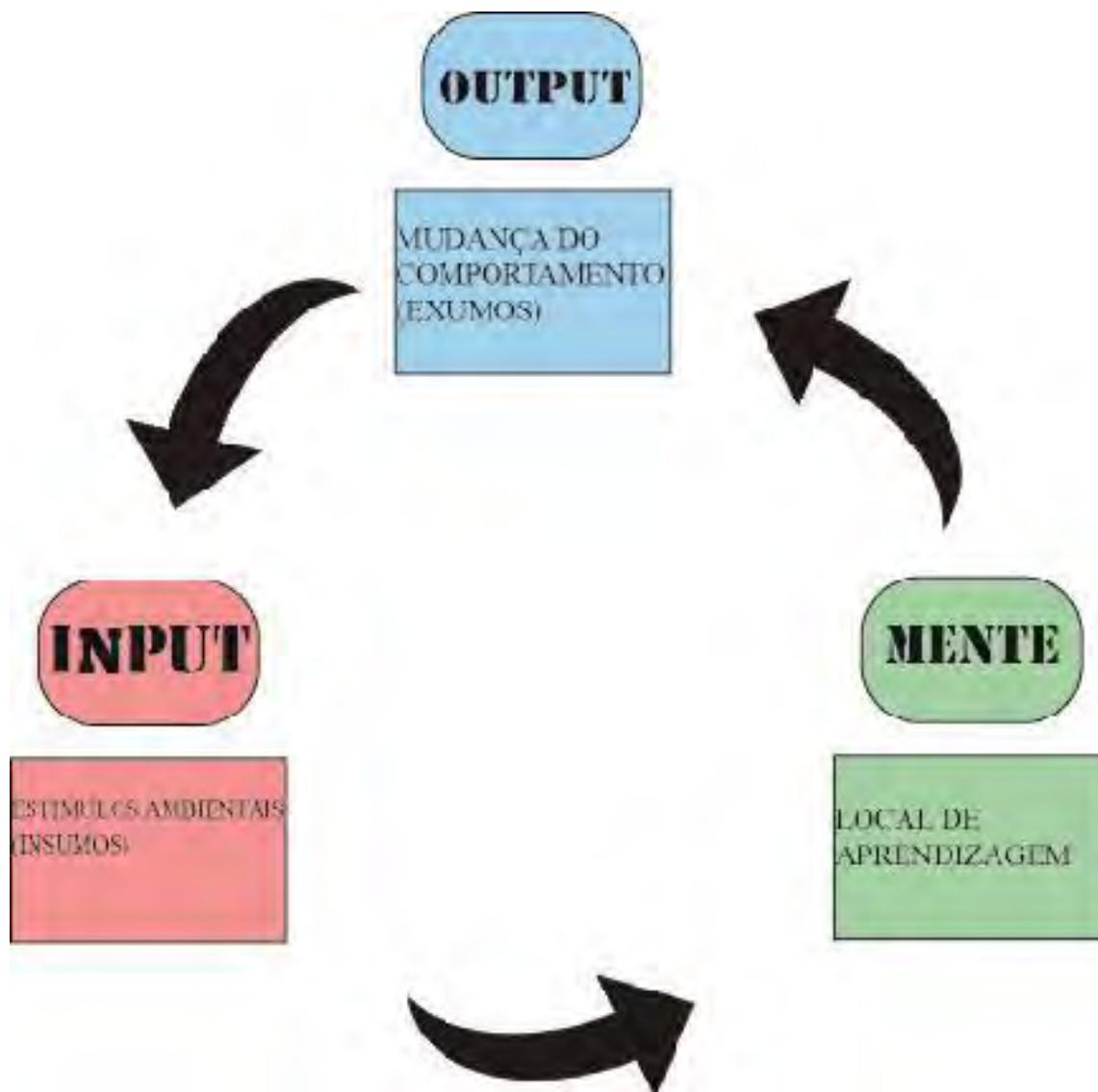
Com intuito de maximizar o aprendizado foram utilizadas como norteadoras algumas teorias da aprendizagem. As teorias de aprendizagem estudam como os indivíduos aprendem e como melhorar este aprendizado. Dentre as muitas teorias procurei subsídios em teorias de Robert Mills Gagné (1916-2002, Jean Willian Fritz Piaget (1896-1980 e Lev Semionovitch Vygotsky (1896-1934.

Para Gagné a aprendizagem é uma mudança de estado interior, que se manifesta por meio da mudança do comportamento e sua persistência. É a repetição do reforço que leva à aprendizagem. Esta teoria defende: o aprendente responde a estímulos do exterior, porém o aprendizado ocorre na mente e seria um novo comportamento (Gagné, 1983. No início suas teorias foram consideradas behaviorista (comportamentais, sendo Skinner, o representante, expoente, do behaviorismo radical, defendendo que a aprendizagem ocorre devido ao reforço, sendo um reflexo.

Para Gagné (1983 a mudança do comportamento do indivíduo depois de ter contato com o novo conceito é evidência de sua aprendizagem. O mecanismo mental tem importância em sua teoria, afastando-o da teoria behaviorista e aproximando do cognitivismo. O cognitivismo focaliza no estudo da cognição, ou seja, a aquisição do conhecimento. Assim a aprendizagem é uma mudança interior, da mente, para os cognitivistas. Gagné integra os conceitos básicos das teorias cognitivistas aos comportamentais da teoria behaviorista. É reconhecido com neo-behaviorista.

Segundo Gagné (1983, o processo de aprendizagem se realiza a partir do momento em que a situação externa estimuladora, chamada input, é captada pelos sentidos, trabalhada na mente, reforçada e interfere de tal forma com o aluno alterando seu comportamento, chamada output. Isto pode ser aferido em suas atitudes e habilidades, uma mudança permanente do comportamento. O desempenho por ele apresentado antes de entrar em contato com essa situação, deverá sofrer alterações devido aos Conteúdos trabalhados nas aulas. Então novos estímulos são captados e o processo ocorre novamente. Na figura 2.1 temos um quadro resumo dos principais conceitos envolvidos na teoria de Gagné.

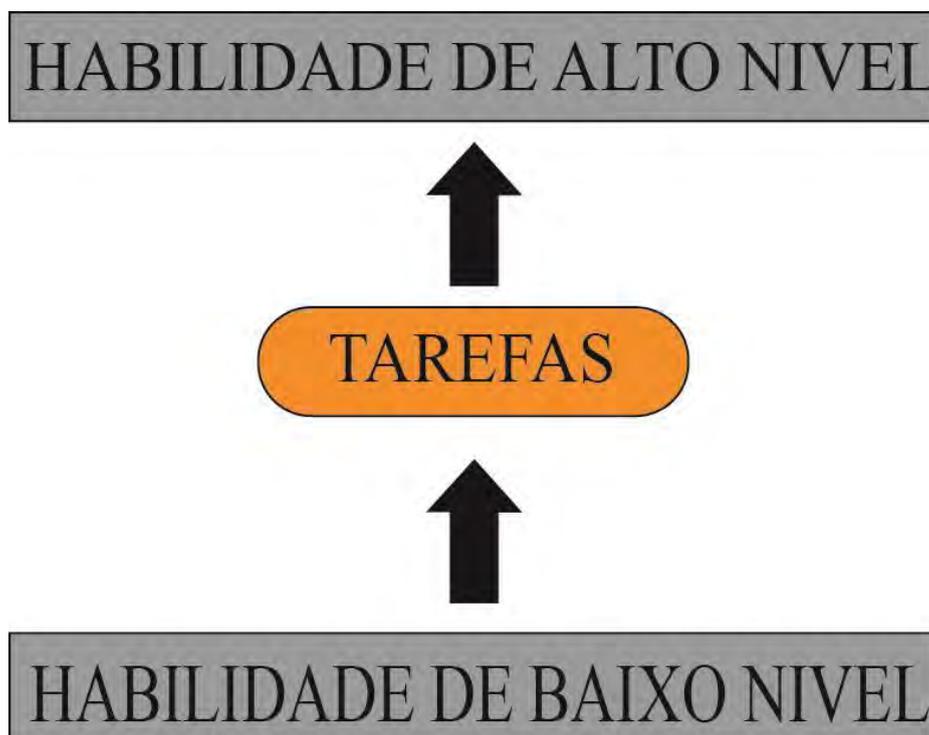
Figura 2.1- Conceitos envolvidos no processo de aprendizagem segundo Gagné. Os estímulos são captados pelos sentidos. Trabalhados na mente dos alunos. A aprendizagem é percebida pela mudança no comportamento.



Fonte: Própria

Na percepção deste teórico para o aluno atingir habilidades cognitivas de alto nível, necessita ter desenvolvido outras habilidades de nível baixo e intermediárias. Para haver esta passagem o professor deve desenvolver tarefas que auxiliem o discente a fazer esta evolução. Na figura 2.2 temos um esquema da relação entre as habilidades e do papel do professor.

Figura. 2.2: Relação entre habilidades de baixo nível e de alto nível. Para desenvolverem habilidades de alto nível o professor aplica tarefas que direcionam os alunos das habilidades de baixo nível às de alto nível.



Fonte: Própria

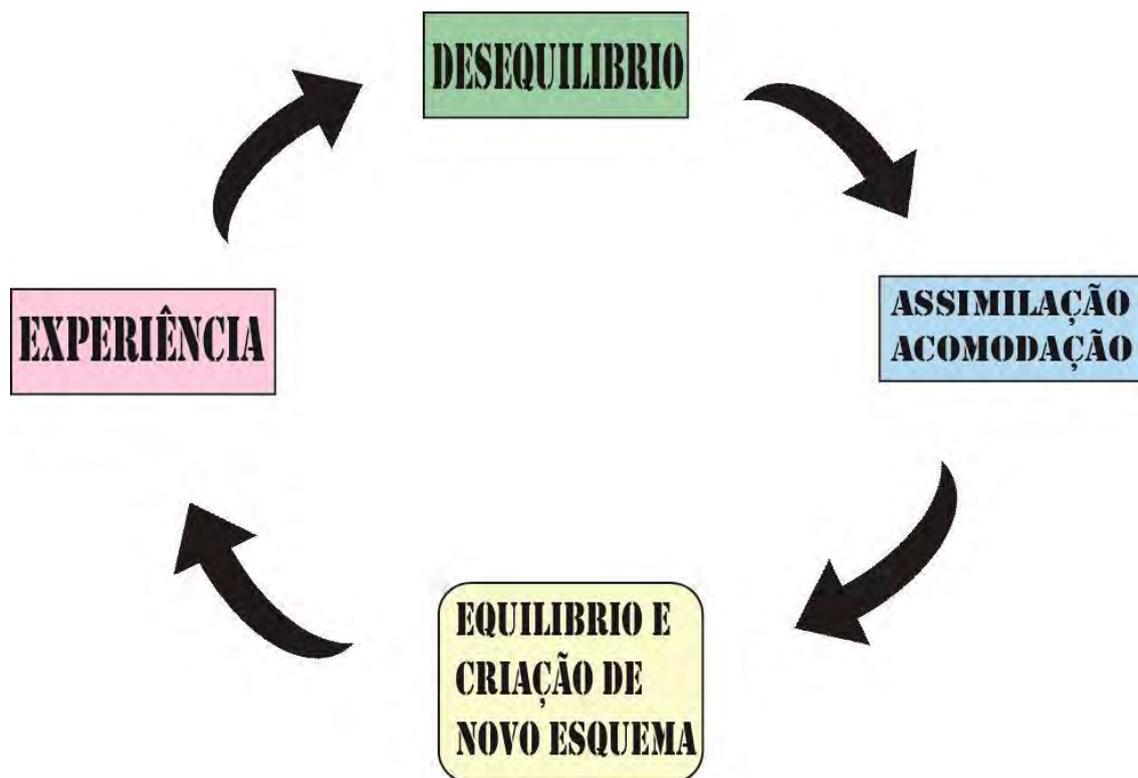
Para atingir as metas propostas Gagné propõe que o docente siga um circuito de ações divididas em fases. São elas: preparação, desempenho e transferência do conhecimento. A teoria cumulativa, de Gagné, foi importante na organização de como os conteúdos foram trabalhados com os alunos e na preparação da avaliação da aprendizagem.

A teoria de Piaget, teórico construtivista, considera o amadurecimento como fundamental. Nela a interação social tem um papel secundário. A palavra-chave de sua teoria é: construção do conhecimento, fundamental para adaptação ao mundo. Os indivíduos passam por diferentes fases durante seu desenvolvimento, desenvolvendo novas capacidades. Seus conceitos de desequilíbrio, assimilação e acomodação (equilíbrio), são fundamentais para o entendimento de como se dá o aprendizado nos indivíduos.

No desequilíbrio devido ao surgimento de uma experiência nova, o indivíduo busca se adequar a ela. A adequação à nova experiência é feita, pela busca por um esquema mental que satisfaça e responda à experiência a que foi exposta a pessoa, não havendo este

esquema, ocorre à assimilação. Não havendo este esquema que satisfaça, um novo esquema mental é desenvolvido baseado em novas informações, ocorreu à acomodação, uma busca pela adaptação. Durante este processo o professor tem papel importante estimulando e direcionando o discente. Alcançado este esquema novo, é atingido o equilíbrio. Até que ocorra novo desequilíbrio e o processo se inicie novamente. O papel do professor é criar estratégias para desequilibrar, através de estímulos, mediando o aprendizado de novos saberes na busca do equilíbrio. Na figura 2.3 vemos um esquema da teoria Piaget.

Figura 2.3: esquema da teoria de Piaget. Vemos os principais conceitos envolvidos no processo de aquisição de novos conhecimentos. Ao ter contato com a nova experiência, não havendo o esquemamental adequado ocorrerá o desequilíbrio. Haverá a assimilação e acomodação. Levando ao desenvolvimento de um novo esquema mental. É alcançado o equilíbrio.



Fonte: Própria

Lev Vygotsky, outro construtivista, um sócio-interacionista, tem como ponto central da sua teoria a interação social, sendo esta a principal responsável por impulsionar o aprendizado. Em sua teoria, a interação entre as pessoas é fundamental, o

amadurecimento é secundário.

Este pesquisador desenvolveu o conceito de maturação, que são capacidades necessárias para ocorrer o aprendizado. A relação com o mundo é intermediada por instrumentos, símbolos e signos.

Este pesquisador considera a existência de funções que já adquirimos a zona de desenvolvimento real, e outras não desenvolvidas, que nós não dominamos, mas que um dia teremos a capacidade de realizar, a chamada de zona de desenvolvimento potencial. Entre estas duas à zona de desenvolvimento proximal (ZDP), aquelas atividades que não conseguimos fazer sozinhos, mas realizamos apenas com ajuda de outros (Xavier, 2015, Pg.31). O professor tem papel de mediador, auxiliando os alunos no desenvolvimento de requisitos para alcançar o conhecimento potencial. Na figura 2.4 observamos os níveis de desenvolvimento observados na ZDP de vygotsky.

Figura 2.4: Esquema da ZDP. Podemos observar dois níveis de desenvolvimento. A ZDP é a distância entre estes níveis, o conhecimento real e o potencial. É o percurso para desenvolver determinado conhecimento com ajuda.



Fonte: Própria

Nos encontros, aulas expositivas e demonstrações, após ter contato com os conhecimentos prévios que os alunos detêm, foram utilizados imagens e vídeos para transmissão dos conteúdos, pois não houve possibilidade de aulas presenciais. As imagens e vídeos relacionam o cotidiano do aluno ao assunto abordado, levando o aluno a refletir sobre este e questionar o seu conhecimento. O professor auxilia à obtenção de novos saberes, relacionando os assuntos abordados com uso das imagens e vídeos aos conhecimentos prévios.

Na aplicação do produto educacional, dentro do tema movimento, trabalhamos conceitos que abordavam a rotação, diferentes características e analogias quando relacionadas à translação, por exemplo, a relação entre velocidade linear e angular, deslocamento linear e angular, aceleração linear e angular, tempo e período. Esta estratégia, relacionar momento linear e angular, levaria a busca de esquemas que respondessem a esta necessidade, classificar e caracterizar a causa da trajetória do movimento. Na interação com os vídeos das demonstrações e diálogo com o professor há contato com novas informações, que não estavam acessíveis. O discente constrói com ajuda do professor um novo conhecimento, além de ampliar e modificar os antigos. O papel do professor é fundamental, construindo uma ponte entre os saberes prévios e o desenvolvimento de novos. É nessa ponte que ocorre o aprendizado.

Os autômatos estão corroborando com esse procedimento, eles são instrumentos, são feitos para certo objetivo, tendo função para a qual foi desenvolvido durante a história do trabalho coletivo é um objeto social e mediador da relação entre o indivíduo e o mundo (OLIVEIRA, 1997 P. 29).

Para trabalhar os conceitos, momento angular e momento de inércia; primeiro buscamos informações dos conhecimentos prévios dos alunos e após, através da apresentação de imagens e vídeos o aluno teria contato com assunto. Esta estratégia levaria ao desequilíbrio e busca de esquemas que respondessem a esta necessidade de compreender o fenômeno. Na interação com vídeos das demonstrações e interação com o professor, novas informações serviriam como subsídio, além do aparecimento de novas simbologias. Com isso o discente constrói com ajuda do professor um novo conhecimento. O professor é mediador entre os saberes prévios e o que ele consegue desenvolver. É nessa mediação que ocorre o aprendizado, enfocando nas analogias do movimento de translação e rotação; trabalhando nas diferenças e semelhanças, por exemplo, na relação entre momento linear e angular, massa e inércia rotacional e na variação da velocidade linear e angular, espera-se auxiliar neste aprendizado.

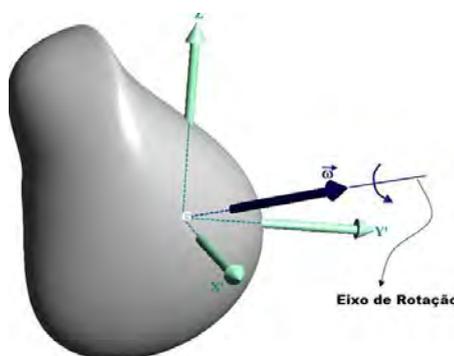
Os conceitos, conservação do momento angular e torque foram trabalhados nos encontros aproveitando-se de conhecimentos já trabalhados nas aulas anteriores. Após ter contato com os conhecimentos prévios dos alunos, utilizamos imagens e vídeos trabalhados nas aulas anteriores e no vídeo da demonstração 4. Relacionamos o assunto abordado ao dia a dia do aluno, levando o aluno a refletir e tentar explicar como ocorre o fenômeno. Há atenção nas diferenças, nas características, nas analogias e como os conteúdos estão relacionados entre si. Esta estratégia, ressaltar a analogia entre momento linear e angular, levaria a busca de esquemas que respondessem a esta necessidade, diferenciar, classificar e explicar o movimento.

Na interação com vídeos das demonstrações e interação com o professor há contatocom novas informações, que não estavam acessíveis. O discente constrói com ajuda do professor um novo conhecimento.

## Capítulo 3 FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS FÍSICA

Agora faço uma abordagem da teoria física necessária. Para estudar o movimento circular de um corpo, primeiro foi determinado que o corpo estudado fosse caracterizado como corpo rígido, figura 3.1. “Objeto idealizado em que a distância entre dois pontos (ou duas partículas quaisquer que o compõem é invariável sob a ação de forças externas; isto é; um corpo indeformável sob quaisquer forças a ele aplicada (NUSSENZVEIG, 2002, p.223.

Figura 3.1: Movimento de rotação de um corpo rígido.



Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-A7-Movimento-de-rotacao-de-um-corpo-rigido\\_fig5\\_318141448](https://www.researchgate.net/figure/Figura-A7-Movimento-de-rotacao-de-um-corpo-rigido_fig5_318141448)

Após descrevermos o centro de massa de um corpo, uma vez que foram considerados objetos de maior complexidade geométrica.

### 3.1 Centro de massa (CM)

É o ponto que se comporta como se toda massa do corpo estivesse nele concentrado e como se todas as forças e torques externos estivessem aplicadas sobre ele (TIPLER 2011, p. 145).

Para localizar o CM consideraremos o corpo como sendo feito de muitas partículas. Para N partículas em três dimensões,

$$Mx_{cm} = m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \dots + m_N x_N \text{ (Eq. 3.1)}$$

M: massa total

M: massa do ponto

X: coordenada x do ponto

X<sub>cm</sub>: coordenada x do centro de massa

Então:

$$Mx_{cm} = \sum_i m_i x_i \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Onde,

$$M = \sum_i m_i \quad (\text{Eq.3.3})$$

Nas direções y e z

$$My_{cm} = \sum_i m_i y_i \quad (\text{Eq.3.4})$$

$$Mz_{cm} = \sum_i m_i z_i \quad (\text{Eq.3.5})$$

O vetor é,

$$\vec{r}_i = x_i \hat{i} + y_i \hat{j} + z_i \hat{k} \quad (\text{Eq.3.6})$$

é o vetor posição da *i*-ésima partícula. A posição do centro de massa,  $r_{cm}$  é:

$$\vec{r}_{cm} = x_{cm} \hat{i} + y_{cm} \hat{j} + z_{cm} \hat{k} \quad (\text{Eq.3.7})$$

Onde:

$$M\vec{r}_{cm} = m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + \dots = \sum m_i \vec{r}_i \quad (\text{Eq.3.8})$$

Considerando corpos extensos e distribuição de massa contínua.

Para um corpo simétrico, o centro de massa está no centro geométrico. Para encontrar a posição do centro de massa de um corpo, substituímos a soma da equação anterior pela integral:

$$M\vec{r}_{cm} = \int \vec{r} dm \quad (\text{Eq.3.9})$$

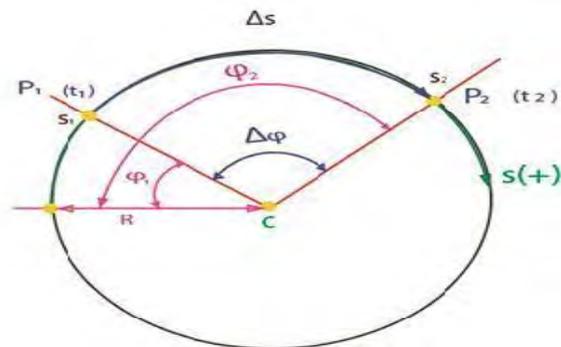
$r$ : distância radial da origem das coordenadas até as partículas.

$dm$ : Pequeno elemento de massa localizado em  $r$ .

### 3.2 Cinemática angular

As grandezas angulares são trabalhadas quando estudamos os movimentos de rotação. Seja um corpo rígido de massa  $M$  que gira em torno de uma coordenada fixa (eixo). Cada ponto deste corpo descreve um círculo, cujo raio  $r$ , é a distância entre o eixo de rotação e o ponto  $P$ . Para determinar as características do movimento de um ponto (posição, deslocamento, velocidade, aceleração...), determinamos a distância  $r$  do eixo de rotação para estudá-lo. Na Figura 3.2, observamos um esquema do movimento de um ponto  $P$  em torno de um ponto fixo  $C$ . Acompanhando seu deslocamento angular e seu deslocamento linear na circunferência em função do tempo.

Figura 3.2: Deslocamento de um ponto  $P_1$ , em  $t_1$  até  $p_2$ , em  $t_2$  pela circunferência do círculo de centro  $C$  e seu deslocamento angular em função do tempo



Fonte: Própria

Os valores das grandezas envolvidas são encontrados pelo conhecimento de determinadas medidas. Na tabela 3.1 são mostradas algumas grandezas e suas respectivas fórmulas.

Tabela 3.1: Grandezas envolvidas com o movimento de rotação e suas respectivas fórmulas.

POSIÇÃO ANGULAR

$$\varphi = \frac{s}{r}$$

$\varphi$ - ângulo em que o ponto P está localizado em relação a um ângulo de referência medido em radianos

$s$ - Posição ocupada pelo ponto P na circunferência em relação a um referencial.

$r$  - raio da circunferência

DESLOCAMENTO ANGULAR

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta s}{r}$$

$\Delta\varphi$ - Deslocamento angular do ponto P em relação a um referencial. Medido em radianos .

$\Delta s$ - Deslocamento do ponto P na circunferência em relação a um referencial. Em metros

$r$ - raio da circunferência em metros.

VELOCIDADE ANGULAR MÉDIA

$$\omega_m = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

$\omega_m$  – velocidade angular média em rad/s

$\Delta\varphi$ - Deslocamento angular em radianos

$\Delta t$ -Intervalo do tempo, em segundos.

VELOCIDADE MÉDIA

$$v_m = \omega_m \cdot r$$

$v_m$  - Velocidade escalar média em m/s.  $\omega_m$  - Velocidade angular média em rad/s

ACELERAÇÃO CENTRÍPETA

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

$r$  - Raio da circunferência

$a_c$  - aceleração centrípeta

$v$  - velocidade linear

$r$  - raio da circunferência

ACELERAÇÃO ANGULAR MÉDIA

$$a_m = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

$a_m$  - aceleração angular

média  $\Delta \omega$  - Variação da velocidade

angular média

PERIODO

$$T = \frac{v}{2\pi r}$$

$\Delta t$  - Variação do tempo

$T$  - Período de revolução

$r$  - raio do círculo

$v$  - Velocidade

FREQUENCIA

$$F = \frac{2\pi r}{v}$$

$F$  - Freqüência

$v$  - Velocidade

$r$  - Raio do círculo

De fato, a informação essencial para localização da posição do ponto  $P$  é o ângulo  $\varphi$ . Na rotação ocorre variação do ângulo com o tempo em relação ao referencial adotado. O ponto  $P$  sofre um deslocamento angular  $\Delta\varphi$  num intervalo de tempo  $\Delta t$ . A variação de o espaço angular em determinado intervalo de tempo permite encontrar a velocidade angular média ( $\omega_m$ ), dada pela equação na tabela 3.1. Quando a variação do tempo se aproxima de zero podemos encontrar a velocidade angular instantânea.

$$\vec{\omega}_{ins} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (\text{Eq.3.10})$$

Quando o ângulo é medido em radianos e o tempo em segundos, a  $\omega_m$  será dada radianos por segundo. Quando a velocidade angular, média ou instantânea, do corpo sofre variação em função do tempo encontraremos a aceleração angular média dada pela equação na tabela 3.1.

Na figura 3.3 a velocidade  $v$  sofre variação do módulo pela existência da aceleração tangencial, tangente ao círculo. Há Mudança de direção devido à aceleração centrípeta, radial e com sentido para o centro do círculo. A resultante é a aceleração “ $\vec{a}$ ”, calculada pela soma vetorial das acelerações tangencial e centrípeta.

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_c \quad (\text{Eq.3.11})$$

Figura 3.3: Movimento circular de um ponto  $P$  em torno do centro ‘ $C_0$ ’. O ponto tem movimento acelerado ( $\vec{a}_t \neq 0$ ), progressivo. A mudança do módulo da velocidade linear ocorre devido à aceleração tangencial. A aceleração centrípeta ( $\vec{a}_c \neq 0$ ) provoca a mudança na direção da partícula.



Fonte: [HTTPS://www.mspc.eng.br/dir40/cin\\_210.php](https://www.mspc.eng.br/dir40/cin_210.php)

A velocidade linear  $v$  de cada ponto do corpo em rotação é tangente à curva da rotação. Sua intensidade é determinada a partir do módulo do vetor  $\omega$  multiplicada pelo raio da circunferência, dada pela fórmula:

$$v = \omega r \text{ (Eq.3.12)}$$

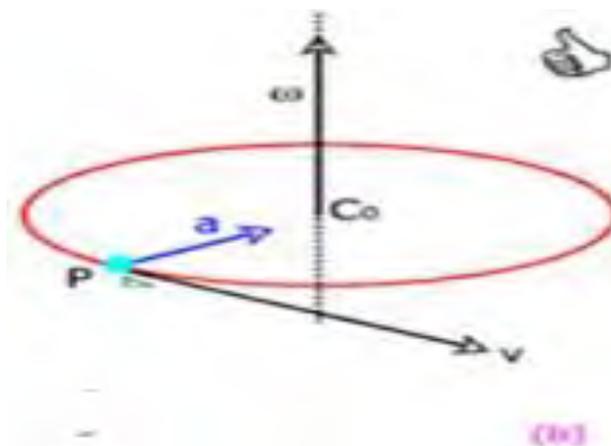
$v$ : velocidade linear (m/s)

$\omega$ : velocidade angular (rad/s)

$r$ : distância entre centro e a partícula, em metros.

Para calcular a direção e o sentido do vetor velocidade angular utilizamos a regra da mão direita. Na figura 3.4 temos um círculo de centro  $O$  e o ponto  $P$ , um ponto da circunferência. O vetor velocidade é tangente a trajetória. O módulo da velocidade  $v$  é constante. O vetor velocidade angular é perpendicular a superfície do círculo e tem direção e sentido dado pelo polegar da mão, de acordo com a regra da mão direita.

Figura 3.4: Na figura adaptada observamos o ponto  $P$  em movimento circular em torno do centro do círculo.  $O$  mesmo se encontra em movimento uniforme. A velocidade é tangencial ao círculo. A aceleração é centrípeta e radial e aponta para o centro do círculo. O vetor  $\vec{\omega}$  tem sua direção e sentidos mostrados pela regra da mão direita.



Fonte: [HTTPS://www.mspc.eng.br/dir40/cin\\_210.php](https://www.mspc.eng.br/dir40/cin_210.php)

A velocidade linear depende de  $r$ . Partículas a diferentes distâncias do eixo de rotação possuem velocidades lineares diferentes, porém velocidades angulares iguais. Por isso é mais conveniente descrever o movimento de um corpo rígido através de variáveis angulares, em que todas as partes do corpo rígido possuem as mesmas variáveis angulares, com exceção da posição angular (TIPLER, 2011 p.282).

As demonstrações 1,2,3 e 4 trabalhavam com corpos rígidos. Os pontos giram em torno de um eixo fixo. Descrevendo círculos com centro no eixo de rotação e raio valendo a distância do ponto ao eixo de rotação. Qualquer raio traçado percorre o mesmo ângulo no mesmo intervalo de tempo. Enquanto gira de um ângulo  $d\phi$ , a partícula desloca-se ao longo de um arco circular de comprimento orientado  $ds_i$  com:

$$ds_i = r_i d\phi \quad (\text{Eq.3.13})$$

Com  $d\phi$ , medido em radianos.

As grandezas  $d\phi$ ,  $\phi_i$  e  $ds_i$  serão positivas se o sentido do movimento anti-horário é arbitrado como o positivo, e negativo quando o sentido positivo for o horário. O ângulo  $\phi_i$ , percorrido, o comprimento orientado  $ds_i$  e a distância  $r_i$  variam de ponto a ponto, porém a razão do deslocamento  $d\phi$  para todas as partículas de um disco é constante, quando  $\omega$  for constante.

Para uma volta completa o comprimento  $s_i$  vale  $2\pi r_i$ , e o deslocamento angular  $\Delta\phi$  vale:

$$\Delta\phi = \frac{s_i}{r_i} = \frac{2\pi r_i}{r_i} = 2\pi \text{ rad} = 360^\circ \quad (\text{Eq.3.14})$$

A taxa temporal de variação do ângulo é a mesma para todas as partículas do disco, chamada de velocidade angular.

$$\omega = \frac{d\phi}{dt} \quad (\text{Eq.3.15})$$

Sendo  $\omega$  positivo se  $d\phi$  for positivo e negativo se  $d\phi$  for negativo. Todos os

pontos do disco têm a mesma velocidade angular, então sua unidade é dada em rad/s. A aceleração angular é a taxa de variação da velocidade angular. Se a taxa de rotação aumenta, a rapidez angular aumenta. Se o  $|\omega|$  está aumentando a aceleração angular média tem mesmo sentido da velocidade angular. Se o  $|\omega|$  está diminuindo a aceleração angular média tem sentido contrário da velocidade angular.

$$a_m = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (\text{Eq. 3.16})$$

A taxa de variação da velocidade angular é a aceleração angular.

$$a_{inst} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (\text{Eq.3.17})$$

A unidade do SI da aceleração 'am' é dada em:  $rad/s^2$ . Se  $\omega$  está crescendo  $a_m$  é positiva; se  $\omega$  está decrescendo  $a_m$  é negativa.

Se a aceleração angular  $a_m$  é constante, podemos integrar os dois lados de :

$d\omega = a dt$  obtendo:

$$\omega = \omega_0 + a t \quad (\text{Eq.3.18})$$

Substituindo  $\frac{d\varphi}{dt}$  na equação acima temos,

$$d\varphi = (\omega_0 + a t) dt \quad (\text{Eq.3.19})$$

Integrando os dois lados desta equação, temos

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (\text{Eq.3.20})$$

A velocidade linear 'v<sub>i</sub>' é tangente a sua trajetória circular tendo o valor  $\frac{ds_i}{dt}$

relacionando a velocidade linear com a velocidade angular por

$$v_i = \frac{ds_i}{dt} = \frac{r_i d\varphi}{dt} = r_i \frac{d\varphi}{dt}, \quad (\text{Eq.3.21})$$

Então:

$$V_i = r_i \omega \quad (\text{Eq.3.22})$$

Similarmente a aceleração tangencial de uma partícula do disco é  $\frac{dv_i}{dt_i}$ , então:

$$a_t = \frac{dv_i}{dt} = r_i \frac{d\omega}{dt} \quad (\text{Eq.3.23})$$

Logo:

$$a_t = r_i a \quad (\text{Eq.3.24})$$

Há também uma aceleração centrípeta em cada partícula do disco, radialmente para dentro e tem módulo:

$$a_c = \frac{v_i^2}{r_i} = \frac{(r_i \omega)^2}{r_i} \quad (\text{Eq.3.25})$$

$$a_c = r_i \omega^2 \quad (\text{Eq.3.26})$$

O período pode ser conceituado como tempo necessário para uma volta completa, durante este tempo as partículas viajam uma distância de  $2\pi r$ , estando à velocidade relacionada à  $r$  e  $T$  por:

$$T = \frac{2\pi r}{v} \quad (\text{Eq.3.27})$$

Para calcularmos a frequência, número de voltas completas na unidade de tempo, podemos utilizar a seguinte fórmula:

$$F = \frac{V}{2\pi r} \quad (\text{Eq.3.28})$$

### 3.3 Momento de inércia (Inércia rotacional)

Em um corpo rígido girando e constituído por pontos de massas iguais em torno do eixo de rotação, estes pontos se encontram em movimento, portanto possuem energia cinética ( $E_c$ ). Encontramos a energia cinética total deste corpo somando as energias cinéticas de todas as partículas que compõem o corpo:

$$K = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + \frac{1}{2} m_3 v_3^2 + \dots = \sum \frac{1}{2} m_i v_i^2 \quad (\text{Eq.3.29})$$

Temos:

$$v = \omega r \quad (\text{Eq.3.30})$$

Então:

$$\sum \frac{1}{2} m_i (\omega_i r_i)^2 = \frac{1}{2} \sum (m_i r_i^2) \omega^2 \quad (\text{Eq.3.31})$$

$$\sum m_i R_i^2 = I \quad (\text{Eq.3.32})$$

Podemos relacionar então a energia cinética e momento de inércia por:

$$E_c = \frac{I\omega^2}{2} \quad (\text{Eq.3.33})$$

' $I$ ' é a inércia rotacional ou momento de inércia em relação ao eixo de rotação. Calculamos o momento de inércia como somatório dos momentos de inércia de cada partícula do corpo em relação a um eixo de rotação. No SI a unidade de medida da inércia

rotacional é a  $kg.m^2$ .

O momento de inércia está relacionado à dificuldade de alterar o estado de rotação (movimento) do corpo. É o análogo à massa inercial no movimento de translação, porém ele depende de como a massa está distribuída em relação ao eixo de rotação, da localização do centro de massa em relação ao eixo de rotação. Por exemplo, no movimento da demonstração 3 (análogo ao de uma bailarina), durante seu movimento de rotação em torno do seu eixo, o autômato abre e fecha seus braços, como observado na figura 3.5

Ao colocar os braços junto ao corpo diminui a distância entre as partículas componentes do corpo e o eixo de rotação. Ao abrir os braços aumentam a distância entre as partículas componentes do corpo e o eixo de rotação do corpo. Com isso altera o momento de inércia. Há mudança da distribuição de sua massa, sem alterar a massa total do corpo. Quanto mais próximo as partículas estão do eixo de rotação, menor a inércia rotacional. Quanto mais distantes deste eixo de rotação estiverem as partículas, maior o momento de inércia. A forma do corpo é essencial no valor de  $I$ . Em um corpo de forma irregular girando em torno de um eixo, se o eixo estiver no centro de massa (CM) do corpo,  $I$  será menor.

Figura 3.5: Fotos do autônomo da demonstração 3. Ao abrir ou retrainr seus braços redistribui sua massa. Aproximando ou afastando ele do eixo de rotação. O resultado é alteração de sua Inércia rotacional

**braço estendido**



>

**braço recolhido**

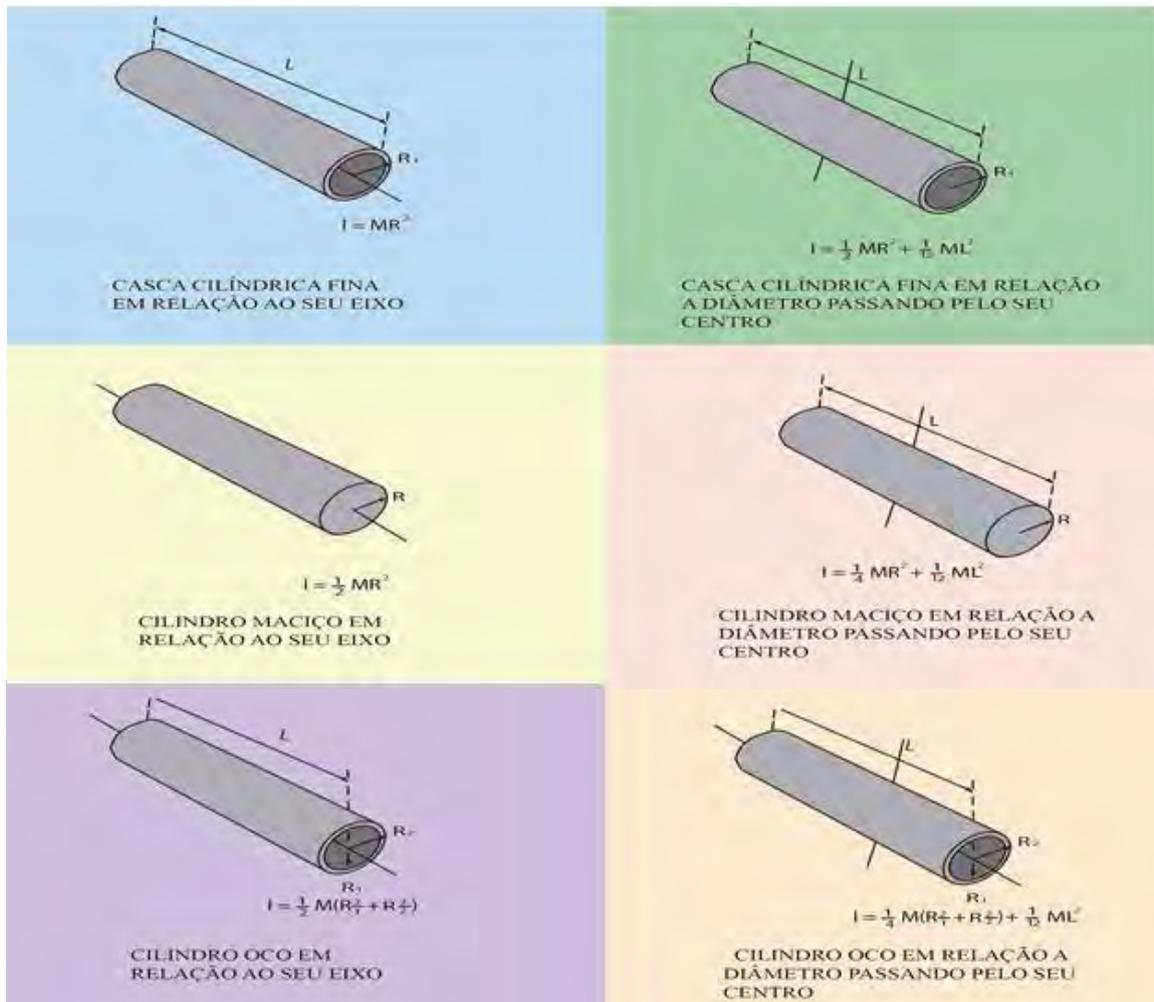


Fonte: Própria

Na figura 3.6 encontramos corpos de várias formas e sua respectiva fórmula para o

## Cálculo da inércia rotacional.

Figura 3.6: Inércia rotacional de corpos homogêneos de forma cilíndrica. Vemos que a posição do eixo de rotação provoca alteração de  $I$  (mudança da fórmula, devido a variação da distribuição de sua massa em relação ao eixo influenciando o momento de inércia).



Fonte: Própria

Quando a massa está localizada a uma distância do eixo de rotação ( $r$ ), o valor de  $I$  é  $mr^2$ . Porém, quando essa está distribuída ao longo do raio, o valor de  $I$  é variável a depender da distribuição da massa. Assim enfatizamos quanto mais próximo do eixo de rotação a massa está concentrada, menor o valor de  $I$ . Chegamos então à conclusão de que o momento de inércia varia com a distribuição da massa pelo corpo (TIPLER, 2011, p.286).

### 3.3.1 Momento de inércia em sistemas discretos

Calculamos o momento de inércia em relação ao eixo diretamente da fórmula:

$$I = \sum m_i r_i^2 \text{ (Eq.3.34)}$$

### 3.3.2 Momento de inércia em corpos contínuos:

Pensamos os corpos como constituídos de um conjunto de elementos de massa muito pequenos. A soma finita:

$$I = \sum m_i r_i^2 \text{ (Eq.3.35)}$$

Torna-se a integral:

$$I = \int r^2 dm \text{ (Eq.3.36)}$$

$r$ : distância radial ao eixo do elemento de massa.

$dm$ : elemento de massa  $dm$ . Expressamos  $dm$  como massa específica vezes um comprimento, ou uma área, ou um volume.

## 3.4 Momento angular ( $L$ )

Todo corpo ou partícula que gira em relação a um referencial apresenta momento angular ( $L$ ). Grandeza física relacionada à rotação. Quanto maior o momento angular de um corpo, mais difícil é alterar a direção e velocidade 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 3.7). Logo, é válida a seguinte relação vetorial:

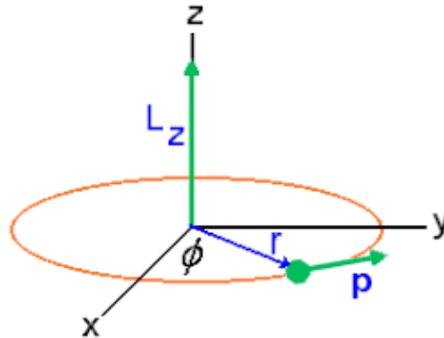
$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v} = I\vec{\omega} \text{ (Eq.3.37)}$$

se  $\vec{r}$  e  $\vec{p}$ , sendo  $\vec{p}$  o momento linear, são ambas perpendiculares ao eixo  $z$   $L$ , figura 3.7, é dado por:

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = mvr \sin\phi \hat{k} \quad (\text{Eq.3.38})$$

O vetor na direção  $\hat{k}$  é obtido do produto vetorial  $\hat{i} \times \hat{j} = \hat{k}$

Figura 3.7: Momento angular e linear em relação aos eixos x, y e z



Fonte: [cursosvirt2.dominiotemporario.com/EaD/QQ/aula-14/aula-14.htm](http://cursosvirt2.dominiotemporario.com/EaD/QQ/aula-14/aula-14.htm)

O momento angular é definido em relação a um ponto do espaço, a origem. A figura 3.7a mostra uma partícula de massa  $m$  presa a um, movendo-se em um círculo no plano  $xy$  que tem o centro na origem. O disco gira com velocidade  $\omega$ . A quantidade de movimento angular desta em relação ao centro do disco é:

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = mvr \sin 90^\circ \hat{k} = rmv\hat{k} = m r^2 \omega \hat{k} = mr^2 \omega \hat{k} \quad (\text{Eq.3.39})$$

Como:

$$I = mr^2 \quad (\text{Eq.3.40})$$

Então:

$$\vec{L} = I \vec{\omega} \quad (\text{Eq.3.41})$$

Para qualquer sistema de partículas girando ao redor de um eixo de simetria. A quantidade de movimento angular total (soma das quantidades de movimento angular das partículas individuais) é paralela à velocidade angular e é dado por:

$$\vec{L} = I \vec{\omega} \quad (\text{Eq.3.42})$$

Aonde  $I$ , inércia rotacional, é uma grandeza escalar. Esta equação demonstra a analogia do momento angular com o momento linear. Pois, no momento linear temos:

$$\vec{p} = m \vec{v} \quad (\text{Eq.3.43})$$

Onde  $I$  e  $m$  representam a inércia do objeto e  $\vec{\omega}$  e  $\vec{v}$ , representam a velocidade de.

Desta observação, reiteramos a relação do momento de inércia com a velocidade angular do momento de inércia. Sua direção e sentido, figura 3.7 (imagem A) são os mesmos da velocidade angular (imagem B), como mostra a Figura 3.7.

Figura 3.8: Direção e sentido do momento angular (imagem A) e velocidade angular (imagem B). Objetos que giram apresentam momento angular e velocidade angular. Utilizando a regra da mão direita encontramos a direção e o sentido da velocidade e do momento angular. Na figura podemos visualizar a direção e sentido de um ponto P que gira no sentido horário. Temos a direção e sentido dos vetores momento angular (imagem A) e velocidade angular (imagem B)

IMAGEM (A):

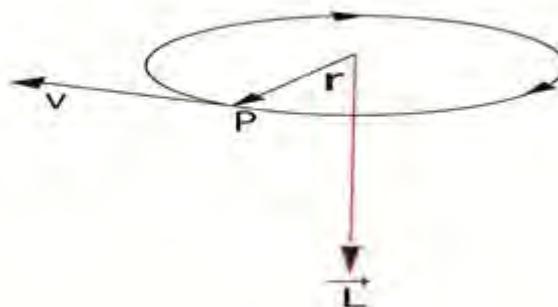
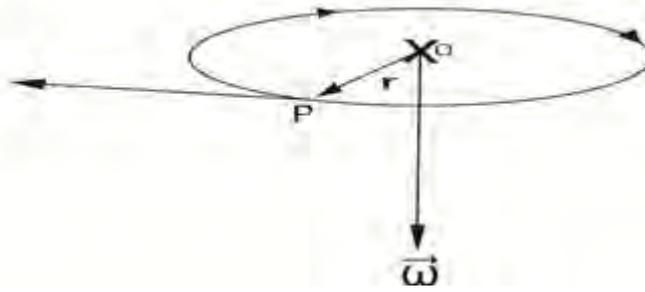


IMAGEM (B):



Fonte: Própria

Para que haja variação da velocidade e conseqüente variação do momento linear, a resultante das forças externas terá de ter valor não nulo ( $F_R \neq 0$ ). Para o momento angular, quando a soma dos torques externos resultantes é nulo  $T_R = 0$ , não há mudança de momento angular, portanto, o momento angular se conserva. O momento de inércia e a velocidade angular são inversamente proporcionais. Não havendo torques externos para alterar a velocidade angular do corpo, terá de haver alteração do momento de inércia. Quanto aos torques internos? São cancelados assim como nas forças internas no momento linear.

$$I_1 \vec{\omega}_1 = I_2 \vec{\omega}_2 \quad (\text{Eq.3.44})$$

Podemos aplicar esta lei a uma atleta do salto ornamental que acabou de sair de uma plataforma com braços e pernas estendidos. Retraindo os braços e pernas em torno de seu centro de massa, figura 3.8. O torque Externo resultante sobre o sistema em relação a um ponto fixo é igual à taxa de variação da quantidade de movimento angular do sistema em relação a este ponto.

Sabemos que:

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} \quad (\text{Eq.3.45})$$

Derivando os dois lados,

$$\frac{dL}{dt} = \frac{dr}{dt} \times \vec{p} + \vec{r} \times \frac{dp}{dt}$$

$$\frac{dL}{dt} = \vec{v} \times m\vec{v} + \vec{r} \times \vec{F}$$

$$\frac{dL}{dt} = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$\tau_r = \frac{dL_{sis}}{dt}, \quad (\text{Eq.3.46})$$

Integrando os dois lados desta equação em relação ao tempo.

$$L_{sis} = \int_{t_0}^{t_f} \tau_{res} dt, \quad (\text{Eq.3.47})$$

Para um corpo rígido simétrico que gira em torno do eixo  $z$   $L_{sis} = I_z \omega$ , onde  $I_z$  é o momento de inércia em relação ao eixo  $z$ . Temos:

$$\tau_{ext\ res\ z} = \frac{dL_{sisz}}{dt} = \frac{d}{dt} (I_z \omega) = I_z a \quad (\text{Eq.3.48})$$

Para um sistema de partículas, a quantidade de movimento angular total em relação ao eixo  $z$  é igual à soma das quantidades de movimento angular em relação ao eixo  $z$ . O torque total em relação ao eixo  $z$  é a soma dos torques externos em relação ao eixo  $z$ .

Figura 3.9: Salto ornamental e momento de inércia. Ao saltar o atleta utiliza sua técnica ao movimentar os braços e pernas. Alterando sua inércia rotacional e mudando velocidade angular. Dando mais ou menos giros em torno do eixo de rotação. Proporcionando uma pontuação maior.



Fonte: Tipler v.1 6ª Ed, pag. 331

Observando o movimento do saltador. Quando ela fecha os braços e as pernas, seu momento de inércia em relação ao centro de massa diminui. Tendo como resultado um aumento de sua velocidade angular, permitindo dar giros que aumentam sua pontuação. A única força externa que atua sobre a acrobata é o peso. Que não possui nenhum torque em relação ao eixo, pois a linha de ação da força passa pelo eixo de rotação. Portanto, o momento angular permanece constante. A alteração do momento de inércia provoca variação de sua velocidade angular, aumento ou diminuição.

### 3.5 Torque

Para ocorrência do movimento rotacional é necessária uma ação de rotação. A grandeza física que descreve a ação giratória do corpo é o torque, figura 3.9. Uma medida da força que pode fazer com que um objeto gire em torno de um eixo. Assim como a força é o que faz com que um objeto acelere na cinemática linear, o torque faz com que um objeto adquira aceleração angular. A direção do vetor torque depende da direção da força no eixo.

Figura 3.10: O torque. Na figura abaixo podemos observar a aplicação de uma força  $F$ . A uma distância,  $r$  do eixo de rotação  $O$ . A componente horizontal da força ( $F_x$ ) provoca um movimento no sentido anti-horário. A componente vertical ( $F_y$ ) tem torque igual a zero.



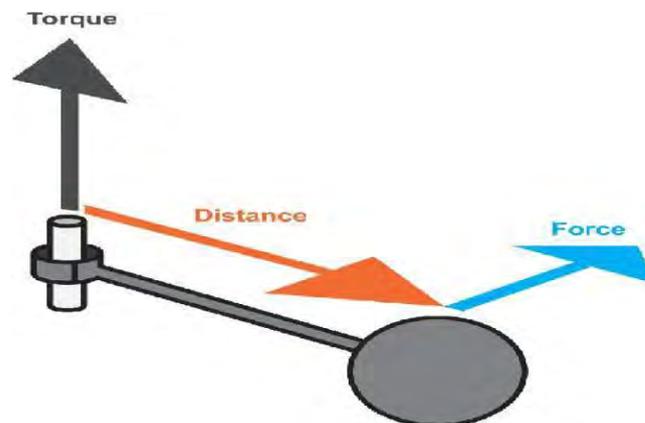
Fonte: Própria

Podemos calcular o módulo do torque pela fórmula:

$$\tau = F \cdot r \cdot \sin\theta \text{ (Eq.3.49)}$$

O local de aplicação da força e o sentido da força também são importantes. Quando a direção da força que você aplica passa pelo eixo de rotação, isto é, a reta que passa no ponto de aplicação da força passa pelo de eixo de rotação, direção radial, não há rotação. Se houver aplicação da força mais próxima ao eixo de rotação o valor do torque será menor. Se mais distante do eixo, o módulo será maior. Quanto ao ângulo formado entre os vetores posição e Força? Para qualquer ângulo diferente de  $90^\circ$  em relação ao raio que passa pelo eixo de rotação, será necessário aplicar uma força mais intensa para rotacionar. Caso aplique a força na perpendicular ao raio que passa pelo eixo de rotação o torque é máximo. Se o torque devido à força for nulo, ela não produz movimento rotacional. O torque é uma grandeza vetorial, para ser definida completamente precisa ter definido seu módulo, direção e sentido. Velocidade angular e torque estão relacionados. Tomando a direção do eixo de rotação coincidente com a do torque. O sentido desse torque é determinado pela regra da mão direita mostrada nas Figuras 4.10.

Figuras 3.11: A direção e o sentido do torque são dados pela regra da mão direita, perpendicular ao plano que contém  $r$  e  $F$ . O módulo do torque em relação ao eixo é o produto do módulo da pela distância perpendicular do eixo à linha de ação da força.



Fonte: [proq.ufabc.edu.br /mnpef-sites/leis-de-conservação/torque](http://proq.ufabc.edu.br/~mnpef-sites/leis-de-conservação/torque)

Aceitamos que o torque é positivo quando o corpo girar no sentido anti-horário e negativo quando no sentido horário. O torque está relacionado à variação da quantidade de movimento angular. A variação da quantidade de momento angular de corpos ou sistema de corpos, por ação de um torque externo ( $\tau_r \neq 0$ ), é proporcional à intensidade

desse torque,  $\tau$  multiplicada pela duração de sua ação.

$$\Delta L = I \Delta \omega = t \Delta T = I a \quad (\text{Eq.3.50})$$

O torque externo diferente de zero proporciona a variação da velocidade angular (aceleração angular). Aprofundando mais o estudo desta grandeza, um corpo rígido que gira em torno de um eixo fixo é uma coleção de partículas individuais, com a mesma velocidade angular e aceleração angular  $a_m$ . Então:

$$\tau_{ires} = m_i r_i^2 a_m \quad (\text{Eq.3.51})$$

Com  $\tau_{ires}$  sendo o torque devido à força resultante na  $i$ -ésima partícula. Somando sobre todas as partículas nos dois lados encontramos:

$$\sum \tau_{ires} = \sum m_i r_i^2 a = (\sum m_i r_i^2) a = I a \quad (\text{Eq.3.52})$$

Quando o torque externo resultante é nulo em relação a determinado ponto temos

$$\tau_{ext res} = \frac{dL_{sis}}{dt} = 0, \quad (\text{Eq.3.53})$$

Implicando:

$$L_{sis} = \text{constante}$$

### LEI DA CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO ANGULAR

Se não há forças ou torques atuando sobre o corpo três grandezas são conservadas:

1. Energia
2. Quantidade de momento linear
3. Quantidade do momento angular

A terceira grandeza é uma lei fundamental da natureza. Ela é independente das leis de Newton do movimento. Os torques internos se cancelam aos pares, isto é sugerido pela terceira lei de Newton. As somas dos torques exercidos por estas forças, em relação à origem é zero.

### 3.6 Rolamentos sem deslizamento

Quando um corpo cilíndrico desce uma rampa inclinada sem escorregar, os pontos do cilindro que estão em contato com a superfície estão em repouso. O cilindro gira em torno de um eixo de rotação que passa pelos pontos de contato.

Algumas condições são necessárias para que o fenômeno ocorra.

1. Condição de não deslizamento para velocidade

$$\vec{v} = r \vec{\omega}, \quad (\text{Eq.3.54})$$

Onde  $r$  é a distância da partícula ao eixo de rotação.

2. Condição de não deslizamento para  $v_{cm}$ : o centro de rotação de massa da roda tem velocidade:

$$v_{cm} = R \omega, \quad (\text{Eq.3.55})$$

$R$  é o raio do cilindro

3. Condição de não deslizamento para aceleração: para um ponto no topo do cilindro,  $r = 2R$  assim o topo da roda está com o dobro da velocidade de seu centro de massa. Fazendo,

Temos:

$$\frac{dv}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} \quad (\text{Eq.3.56})$$

4. Quando o cilindro gira de um ângulo  $\varphi$ . O ponto de contato do cilindro com o

Plano se desloca de uma distância  $s$ , relacionada com  $\varphi$  por:

$$S = R \varphi, \quad (\text{Eq.3.57})$$

Se o cilindro esta rolando sobre uma superfície plana, o seu centro de massa permanece diretamente acima do ponto de contato, movendo-se uma distância  $R \varphi$ .

## Capítulo 4 METODOLOGIA

A pesquisa foi aplicada com alunos do segundo ano da disciplina eletiva de robótica, aprovados então ao terceiro ano do ensino médio em 2021. O planejamento das atividades direcionava para revisão e ampliação dos conhecimentos dos alunos relacionados ao conteúdo (rotação), utilizando instrumentos da robótica educacional, imagens e vídeos. Os participantes são alunos do EREM José Manoel de Queiroz, pertencente à rede de escolas integrais do estado de Pernambuco, localizada no município do Paulista estado de Pernambuco.

O estabelecimento conta com seiscentos alunos distribuídos no ensino médio e EJA médio, vinte e dois docentes, oito técnicos administrativos, três técnicos educacionais, oito funcionários de o quadro auxiliar, diretor, ajudante de direção e secretário. A disciplina de Física é lecionada por dois professores.

A Instituição dispõe de acesso à internet em todos os ambientes, conexão wi-fi e biblioteca. Apresenta material para desenvolver demonstrações e aulas práticas das disciplinas das Ciências da Natureza, porém, muitos se encontram em estado de conservação precário, necessitando de manutenção ou substituição. O conteúdo, dinâmica de rotação, carece de material para prática e demonstrações, sendo um dos motivadores para produção desta pesquisa.

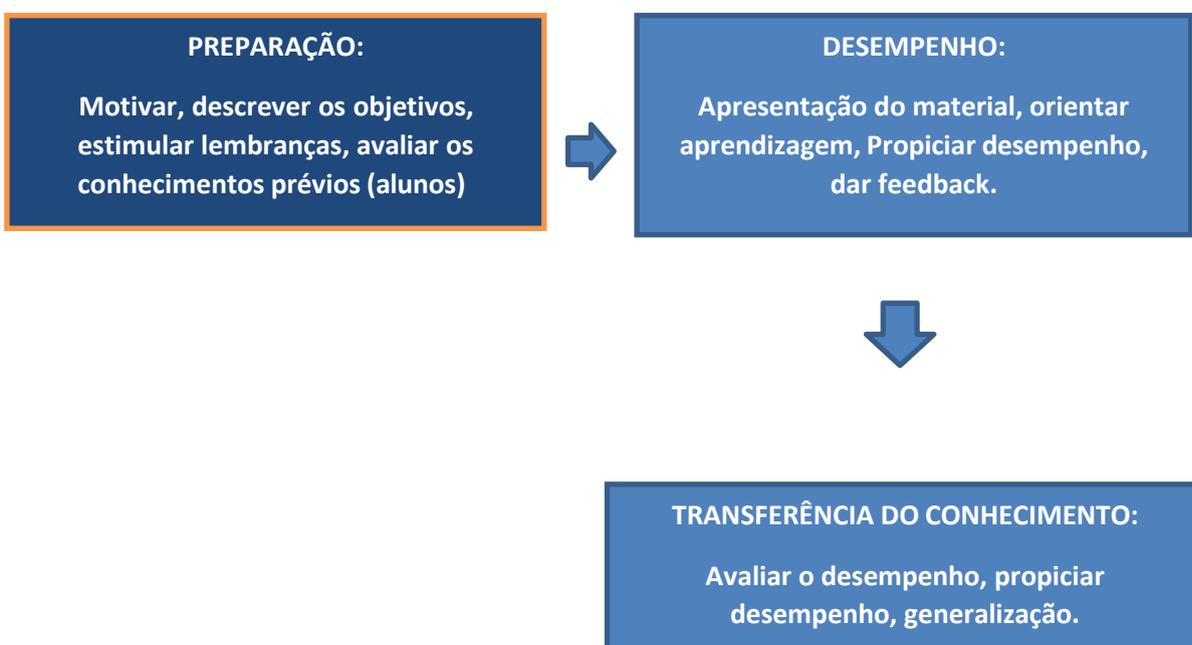
Utilizamos o kit LEGO Mindstorms NXT 9797 adaptando as montagens do manual ou criando novas. A montagem e programação possibilitam aos autômatos executarem movimentos planejados. Durante o funcionamento do robô os alunos visualizam os conceitos referentes à cinemática rotacional e dinâmica de rotações. Infelizmente devido às limitações impostas pelo distanciamento social as programações e montagens foram realizadas pelo professor. Preferencialmente montagem e programação são feitas pelos alunos. Na aplicação deste projeto são abordados conceitos físicos por meio de demonstrações e aulas discursivas. As demonstrações e aula foram repassadas aos alunos utilizando filmagens. Isto só ocorreu devido ao distanciamento social, as demonstrações e aulas inicialmente estariam em consonância com o orientado pelo manual da LEGO.

As teorias de Gagné (1983) da aprendizagem cumulativa, o construtivismo de Piaget (XAVIER, 2015) e a teoria sociointeracionista desenvolvida por Vygotsky (OLIVEIRA, 1997) são utilizadas como suporte didático e pedagógico. A natureza da pesquisa é descritivo que se refere à aplicação de questionários confeccionados pelo

professor, para avaliação da relação entre ensino e aprendizagem, bem como desenvolver um material de uso em sala ou adaptado para ser aplicada a distância.

A sequência a ser seguida nas aulas para a realização desta pesquisa está baseada no fluxograma abaixo, figura 4.1. Este fluxograma é baseado na teoria da aprendizagem cumulativa de Gagné, estando divididas em fases, estas fases levam em consideração como ocorre o processamento da informação, segundo o pesquisador ocorre às seguintes fases: preparação, desempenho e transferência do conhecimento.

Figura 4.1: sequência das atividades que devem ser desenvolvidas pelo professor com os alunos. As atividades estão divididas em etapas: preparação, desempenho e transferência do conhecimento. Cada etapa está dividida em pontos que devem ser cumpridos pelo professor.



Fonte: Própria

A seguir detalharemos cada uma das fases.

Preparação (1ª parte)

- Os alunos responderão questões aplicadas no Google formulário (formulário pré).

Função: Determinar os conhecimentos prévios.

- Motivar: Debate e apresentação de vídeos motivadores disponíveis na internet. Função: trazer a memória, conceitos relacionados ao tema trabalhado.
- Descrever os objetivos: descrever o que vai ser visualizado no vídeo e o que deve ser aprendido.
- Estimulação de lembranças: A ocorrência deste fenômeno e seus usos no cotidiano e/ou demonstrações científicas, relacionar com as demonstrações (vídeo).

#### Desempenho (2ª parte)

- Apresentação do material: Os alunos assistem a um vídeo (aula) sobre o conteúdo.
- Orientar aprendizagem: através do vídeo aula o aprendizado dos conteúdos.
- Relacionar os conceitos ao observado no movimento.
- Propiciar desempenho: visualização das demonstrações (indagar os alunos) e através de atividades remotas pelo Google formulário.
- Dar feedback: através do Google formulário. Questões sobre os conceitos abordados no vídeo (aula e demonstrações).

#### Transferência do conhecimento (3ª parte)

- Avaliar o desempenho: A atenção aos comandos, cumprimento dos objetivos, respostas em tempo hábil, entrega dos exercícios enviados no Google formulários são modos de
- Avaliar o desempenho. O meio escolhido para obter dados do aprendizado foi o Google formulário, questões sobre os conteúdos.
- Generalização: Aplicação do conhecimento as outras situações (fenômenos) do cotidiano

Para preparação das demonstrações foram utilizados materiais reciclados, reutilizados e o kit LEGO Mindstorms NXT 9797, figura 4.2. O intuito é que nas aulas ficasse demonstrado conteúdos referentes à Dinâmica de Rotação (momento angular) e movimento circular. Todos os instrumentos para aula foram desenvolvidos para permitir que o professor demonstrasse e o aluno visualizasse os principais conceitos do movimento circular e momento angular.

Toda sequência teve de ser adaptada para ensino remoto. Em especial o terceiro passo da sequência, preferencialmente, presencial, sem o uso dos vídeos. Mas devido à

impossibilidade de reuniões presenciais, com uso de vídeos.

Esta sequência está em acordo com o fluxograma e sua organização. Serve para o professor estimular, dirigir, avaliar, mediando o processo ensino-aprendizagem. Para avaliação da metodologia aplicada houve a produção de questionários. Sendo aplicado um questionário prévio e um pós com perguntas sobre o conteúdo aos alunos. Coletando informações referentes ao conhecimento prévio dos alunos e avaliando seu desempenho após cada encontro.

É um estudo que propõe o uso de filmagens do funcionamento dos autômatos. Demonstrando os conceitos pela sua visualização e não apenas por palavras. Sua apresentação é uma auxiliar à aprendizagem. As filmagens serviram para substituir o acompanhamento presencial das atividades, montagem, programação e aula discursiva. Tudo ocorreria conforme o manual da LEGO caso não houvesse a necessidade do distanciamento. Os alunos que participam da aula assistem aos vídeos como estivessem visualizando a demonstração em laboratório, devido às limitações impostas pela pandemia do Covid 19. Os comentários do professor ocorrem através do Google meet, em substituição a apresentação presencial que ocorreria não fosse às limitações do isolamento social.

Figura 4.2: Fotos das caixas de peças e do Brick do kit LEGO Mindstorms NXT 9797



Fonte: Própria

## 4.1 Demonstrações

### 4.1.1 Demonstração 1

A demonstração é iniciada após montagem e programação dos robôs e sensor de

luz; preparação da plataforma giratória e sensor de luz. O robô é acionado. É dado um impulso na plataforma iniciando um movimento. Ao executar a programação o autômato inicia o movimento de ida a borda do círculo. Permanecendo por um tempo, determinado na programação. Retornando ao centro do círculo, onde permanece parado (repouso) por um tempo, determinado na programação. O autônomo repete este movimento de acordo com a programação. Ao permanecer no centro ou na borda do círculo (parado), um sensor de luz colocado na frente do conjunto, plataforma e robô, capta a luz refletida em um espelho colocado a frente do robô. Isto ocorre em toda passagem do robô pelo sensor havendo maior captação de luz (picos). A luz refletida é emitida pelo sensor. Quanto menor a luminosidade do ambiente melhor é a captação da luz refletida. Após a captação dos dados, o sensor desliga, o tempo de funcionamento é determinado na programação. Os dados são coletados do microcontrolador do sensor e transferidos ao computador com o programa LEGO Mindstorms NXT 9797 instalado, sendo então visualizados no log de dados no software da LEGO. Permitindo análise e interpretação através de gráficos dos picos de luminosidade em função do tempo. Com estes dados é possível encontrar os períodos de rotação da plataforma, em dois momentos. Quando o carrinho se encontra próximo ao eixo de rotação e próximo às bordas da plataforma. Os resultados são analisados e preparados para apresentação aos alunos. O objetivo desta demonstração é a visualização de conceitos relacionados ao movimento circular, tais como: Frequência, período, velocidade angular, aceleração angular..., e sua comparação aos análogos aos do movimento em linha reta.

#### **4.1.2 Demonstração 2**

Após montagem e programação dos robôs; preparação da plataforma giratória a demonstração é iniciada. O robô é acionado. É dado um impulso na plataforma iniciando um movimento. Ao executar a programação o autômato inicia o movimento de ida a borda do círculo, permanecendo por um tempo, determinado na programação. Retornando ao centro do círculo. Permanece parado (repouso) por um tempo, determinado na programação. O autônomo repete este movimento de acordo com a programação. Ao desloca-se pela plataforma o centro de massa do conjunto, plataforma e robô, varia em relação ao eixo de rotação. A velocidade angular varia durante o percurso do autômato pela plataforma. Este é o ponto principal da demonstração. Os alunos encontram a relação entre a distribuição da massa pelo corpo e a velocidade angular.

### 4.1.3 Demonstração 3

Após montagem e programação dos robôs; preparação da plataforma giratória a demonstração é iniciada. Após o robô ser acionado é dado um impulso na plataforma iniciando um movimento. Ao executar a programação o autômato inicia o movimento de seus braços, conforme programação. Alterando seu centro de massa. Como resultado altera seu momento de inércia. Aumentando ao abrir os braços e diminuindo ao recolher os mesmos. A relação com o momento angular se dará após uma breve análise da fórmula pelo aluno, se não, o professor deve demonstrá-la.

$$\vec{L} = I \vec{\omega} \quad (\text{Eq.4.1})$$

Analisando a fórmula, pela relação expressa no produto  $I \cdot \vec{\omega}$ , qualquer alteração do valor de  $I$ , mantendo-se  $\vec{L}$  constante (torques resultantes nulos) levará a uma variação de  $\vec{\omega}$ , inversamente proporcional. Um aumento de  $I$  corresponde a uma diminuição do valor de  $\vec{\omega}$ , e vice-versa. Explicando assim o fenômeno observado.

### 4.1.4 Demonstração 4

Após montagem e programação dos robôs; preparação da plataforma giratória a demonstração é iniciada. O robô é acionado junto com as hélices em seus braços. Ao executar a programação o autômato movimenta seus braços na vertical. Observamos mudança de sentido no giro da plataforma, relacionando esta mudança a alteração do sentido do vetor momento angular. A demonstração foi montada especificamente para demonstrar este conceito, adaptando montagens disponibilizadas pelo manual. Ao acionar o robô e suas hélices estas iniciam um movimento rotatório em torno de um eixo. Para compensar o momento angular das hélices, a plataforma inicia um movimento em sentido oposto ao giro das hélices. Este fenômeno também pode ser observado em uma furadeira. O autômato ao movimentar seus braços, inverte o sentido do vetor momento angular das hélices. A plataforma giratória para compensar a inversão do movimento (hélices), tem invertido o sentido de giro. Com isso a soma dos vetores de mesmo módulo, direção e sentidos contrários é zero. A observação destes movimentos,

da hélice e da plataforma, permite a visualização dos princípios da conservação do momento angular e direção, e sentidos do vetor momento angular pela regra da mão direita.

#### **4.1.5 Demonstração 5**

Após montagem da plataforma inclinada iniciamos a demonstração. Os cilindros são colocados no ponto mais alto do plano inclinado, alinhados e soltos ao mesmo tempo. Observamos os cilindros deslocar-se até o ponto mais baixo do plano inclinado. Esta demonstração permitirá a percepção dos efeitos da distribuição da massa no corpo do cilindro, sobre a velocidade de rotação do objeto. Esta demonstração é usada como motivador antes de o conteúdo ser passado.

## Capítulo 5. RESULTADOS

Na aplicação deste produto houve a necessidade de alterações provocadas pelo período diferenciado, pelo qual, a sociedade está passando. Dito estas considerações passo a discorrer sobre a aplicação do produto e suas adaptações. Inicialmente as atividades foram pensadas para serem realizadas presencialmente com a montagem das demonstrações e programação dos autômatos feitos pelos alunos em grupos de quatro participantes. Não sendo possível reunir os alunos, a montagem e a programação foram realizadas pelo professor, permitindo a visualização dos conceitos através das demonstrações. Realizou-se a filmagem deles, para que através destas os alunos tivessem acesso às observações, informações e conceitos que teriam na demonstração presencial.

A filmagem foi realizada durante o funcionamento dos robôs (demonstrações 1, 2,3 e 4, permitindo visualizar os fenômenos que seriam observados se os alunos estivessem no local da demonstração. Para a demonstração cinco o esquema de filmagem seguiu o ocorrido nas demonstrações com autômatos, ela foi montada e realizada como se todos estivessem presentes. Cada demonstração foi pensada para permitir a visualização de determinado conteúdo, conforme explicitado no produto educacional. Foram produzidas cinco demonstrações para serem mostradas durante a exposição dos assuntos abordados (movimento circular, inércia rotacional, momento angular e conservação do momento angular. Antes e após o vídeo (aula e o vídeo da demonstração houve momentos de interação pelo Google meet. Devido às adaptações o tempo de aplicação das demonstrações transcorreu de novembro de 2020 à junho de 2021 devido aos atrasos e paralisações das aulas na instituição de ensino, além de problemas de conexão e atividades que os alunos não conseguiam participar. As datas das aplicações de cada uma das etapas podem ser visualizadas na tabela 4.1. Cada etapa tinha um objetivo proposto alicerçado nas teorias de aprendizagem já citadas e cumpriu funções no processo ensino aprendizagem.

Tabela 5.1: Aplicação dos eventos

Fase	Data aplicação
Aplicação do formulário pré-teste 1	16/11/2020
Aplicação do conteúdo (mov. Circular)	15/03/2021
Aplicação do formulário pós teste 1	22/03/2021
Aplicação do formulário pré-teste 2	26/04/2021
Aplicação do conteúdo (inércia rotacional e momento angular)	03/05/2021
Aplicação do formulário pós teste 2	24/5/2021
Aplicação do formulário pré-teste 3	26/5/2021
Aplicação do conteúdo (conservação do momento angular)	07/06/2021
Aplicação do formulário pós teste 6	21/6/2021

Fonte: Própria

Os formulários que foram aplicados antes dos conteúdos tinham como função avaliar os conhecimentos prévios dos discentes, bem como, rememorar os conhecimentos que seriam trabalhados nas etapas posteriores. Os alunos trazem experiências devido ao contato com inúmeros conceitos durante seu desenvolvimento. Esta etapa está de acordo com as idéias de Gagné, que consiste na utilização dos conhecimentos prévios para atingir novos conhecimentos (habilidades de baixo nível, intermediárias e alto nível), o professor é o mediador neste processo de desenvolvimento (GAGNÉ, 1983).

Para Piaget o professor tem papel fundamental em desequilibrar os esquemas mentais do aluno, para isso à necessidade de sabermos os conhecimentos que já fazem parte do saber do aluno (XAVIER, 2015, p. 21-22). Para Vygotsk, as interações dos alunos com cultura permitem que estes acessem saberes, que é internalizado, algo que o aluno passa a dominar (conhecimento real), permitindo que o aluno possa desenvolver outros saberes (conhecimento potencial), para isto o professor é mediador nesta passagem (OLIVEIRA, 1997 p.60). Para que isto possa ocorrer o professor precisa saber quais saberes o discente está dominando e em quais é necessário trabalhar com mais profundidade.

Nas tabelas 5.2, 5.3 e 5.4 temos uma comparação dos percentuais de acertos do formulário pré e pós. A cor verde indica que houve um aumento de mais de 5% nos acertos do formulário pós em relação ao pré. Amarela indica que não houve um aumento ou diminuição demais de 5% nos acertos do formulário pós em relação ao pré. Vermelha indica que houve uma diminuição de mais de 5% nos acertos do formulário pós em relação ao pré

Tabela 5.2: comparação do percentual de acertos dos formulários pré 1 e pós 1

QUESTÃO	PERGUNTAS	PRÉ	PÓS
1	Rodas gigantes, pneus de automóveis e peões desenvolvem movimentos rotatórios, dado isso o conceito que mais se aproxima ao de um movimento de rotação é:	53%	43%
2	Qual das alternativas melhor responde ao conceito de centro de massa?	0,0%	46,5%
3	Relacione os números 1,2 e 3 dos conceitos a seus conceitos corretos	52%	48%

(1) Rotação, (2) translação, (3) corpo rígido

( ) Os pontos do objeto se movem em relação ao eixo de giro, O eixo permanece estacionário a um sistema de referência inercial

( ) Todos os pontos do objeto se movem seguindo trajetórias

paralelas ao docentro de massas

() todos os pontos estão firmemente ligados.

4	A posição linear e angular do móvel em um determinado tempo pode ser conceituada respectivamente como:	48%	49,2%
5	A variação do espaço linear e angular entre os tempos inicial e final pode ser encontrada:	47%	51%
6	A posição linear e angular do móvel no tempo $t_2$ , são respectivamente:	24%	65%
7	A variação do espaço linear e angular entre os tempos $t_1$ e $t_2$ valem respectivamente:	18,5%	59,1%

Fonte: própria

Tabela 5.3: comparação do percentual de acertos dos formulários pré 2 e pós 2

QUESTÃO	PERGUNTAS	Q. PRÉ	Q PÓS
1	O movimento giratório tem fundamento teórico em um dos alicerces da física clássica. O momento angular explica o movimento de rotação. Qual dos conceitos abaixo melhor responde este conceito tão importante?	42,5%	58,5%
2	A velocidade angular é essencial para quantificar o momento angular. Esta grandeza é calculada:	57,5%	75,6%
3	Ocorre variação na velocidade de rotação da bailarina e do mergulhador no salto durante seu movimento, como explicar isso do ponto de vista da física.	47,5%	65,9%
4	A dificuldade de objetos de iniciarem e manterem uma rotação, pode ser medida por (pela):	43%	70%
5	Momento de inércia pode ser conceituado como:	37,5%	73,2%

Fonte: própria

Tabela 5.4: comparação do percentual de acertos dos formulários pré 3 e pós 3

QUESTÃO	PERGUNTAS	Q. PRÉ	Q.PÓS
1	A figura acima representa uma demonstração sobre momento angular, neste podemos observar que momento de inércia e velocidade angular tem uma relação.	19,6%	56,4%
2	Pelo desenho podemos observar que o aumento da velocidade angular ocorreu devido a uma variação no momento de inércia. Com base neste fenômeno, qual o resultado esperado?	34,8%	61,5%
3	A figura acima mostra um helicóptero e seus rotores que permitem que a aeronave se desloque. Qual o princípio físico explica a necessidade de um motor na cauda do helicóptero?	22,7%	61,5%
4	Nas figuras abaixo a saltadora e a patinadora recolhem seus membros inferiores e superiores alterando sua velocidade angular, esta variação decorre da relação com momento de inércia. Como este movimento das atletas explica a variação da velocidade angular?	55,6%	60,5%
5	A conservação do momento angular acontece quando:	30,4%	59,9%

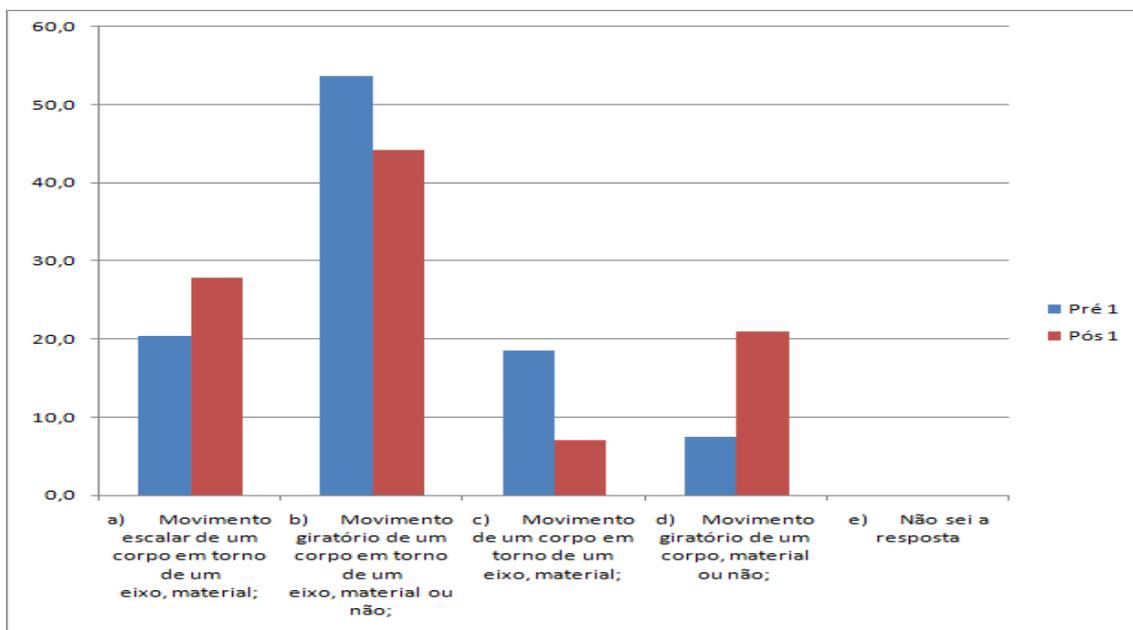
Fonte: própria

Passamos agora a uma análise mais detalhada dos resultados dos formulários antes da aplicação e após aplicação do conteúdo.

### 5.1 Questão 1 formulários Pré 1 e pós 1

PRÉ 1-1- Rodas gigantes, pneus de automóveis e piões desenvolvem movimentos rotatórios, dado isso o conceito que mais se aproxima ao de um movimento de rotação é: PÓS 1-1- Nas figuras acima os pontos deste percorrem espaços em torno de um eixo central em função do tempo, dado isso o conceito que mais se aproxima ao do movimento é:

Gráfico 5.1: Resultados das respostas da questão 1 dos questionários pré1 e pós1. Temos os percentuais de acertos dos questionários pré1(vermelho) e pós1 (azul). Não houve aumento de acertos na alternativa correta. Porém, elas representam o maior número de alternativas assinaladas nos dois questionários. Os alunos não assinalaram a alternativa não sei a resposta.



Fonte: Própria

Resposta correta: Movimento giratório de um corpo em torno de um eixo material ou não.

A análise do formulário pré demonstra que na primeira questão relativa aos conceitos trabalhados sobre o movimento circular a maior parte dos alunos acertou a resposta, indicativo de que reconheciam o conceito, já tinham desenvolvido este saber. Porém, no formulário pós não houve o mesmo desempenho, o quantitativo de alunos que acertaram diminuiu, mesmo continuando com maior percentual a opção correta. Uma explicação possível é a similaridade das respostas, como as respostas propostas foram similares é possível que pela desatenção, ocorreu o erro, ou o tempo entre a aplicação dos dois formulários levou os alunos a confundir as respostas. Analisando isto foi necessário reforçar este conceito (rotação) nas próximas etapas. Não haveria como negligenciar estes conteúdos com os alunos que erraram, pois, na visão de Gagné estes conceitos do movimento circular são necessários (habilidade de baixo nível e/ou intermediárias) para que o aluno alcance o conceito mais sofisticado. Para Piaget os processos de assimilação e acomodação dos alunos explicam como ocorreu a absorção do saber, a equilíbrio ainda não se concretizou necessitando ainda a mediação do professor, pois, o papel do professor e desequilibrar os esquemas existentes na busca da adaptação. Existe

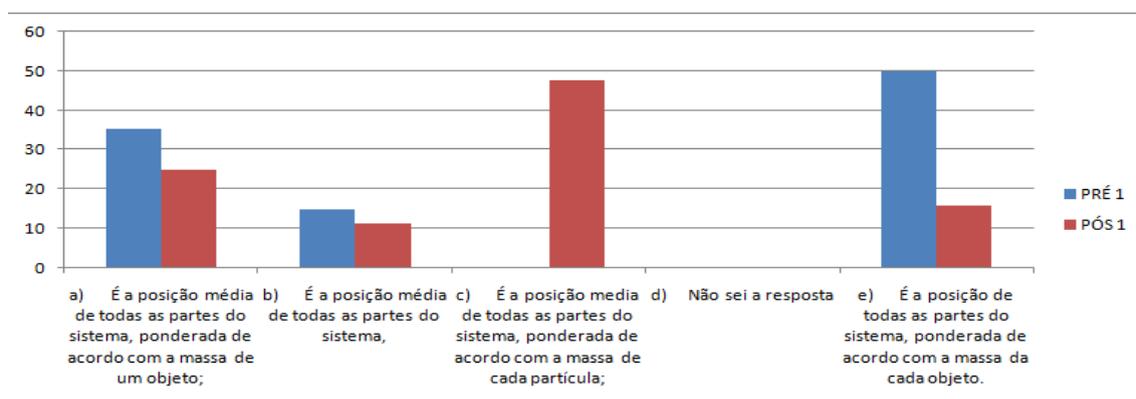
a Possibilidade também do aluno não ter maturidade necessitando completar algum dos estágios de desenvolvimento propostos por Piaget. Similarmente e necessário uma intermediação para que o aluno consiga transpor este conhecimento desenvolvido de forma incorreta, precisando do auxílio do professor para alcançar domínio deste saber. É importante que o docente interfira nesta região intermediária e imaginária, zona de desenvolvimento proximal. Para que o conhecimento que é transmitido do professor para o aluno auxilie a desenvolver este conceito conseguindo demonstrar em plenitude o conceito.

## 5.2 Questão 2 dos formulários Pré 1 e pós 1

PRÉ1-2- Qual das alternativas melhor responde ao conceito de centro de massa.

PÓS 1-2- Os pontos vermelhos representam o centro de massa, a alternativa que melhor responde a respeito deste é:

Gráfico 5.2: Resultados das respostas da questão 2 dos questionários pré1 e pós 1. Temos os percentuais de acertos dos questionários pré 1(vermelho) e pós1 (azul). Houve aumento de acertos na alternativa correta. Esta não havia sido assinalada no questionário pré 1. Os alunos não assinalaram a alternativa não sei a resposta.



Fonte: Própria

Resposta correta: É a posição média da todas as partes do sistema, ponderada de acordo com a massa de cada partícula.

Observando os dois gráficos referentes às respostas do conceito centro de massa, é

notório que a mediação do professor e dos materiais utilizados para auxiliar os alunos a desenvolver o saber foi eficaz, um incremento de 46,5% mostrando-se efetiva nas etapas posteriores. No primeiro formulário não houve acertos, enquanto nos pós os acertos se aproximaram da metade dos alunos que responderam. Muitos alunos necessitavam do auxílio para desenvolver o conceito correto. As ferramentas mostraram-se eficientes para este conteúdo. Porém, muitos alunos, mais da metade não atingiram a meta. Reforçar este conceito nas próximas etapas foi fundamental. O aprendizado deficiente do conteúdo atrapalharia ou inviabilizaria que os discentes continuassem a desenvolver conhecimentos dependentes, pois na visão de Gagné este conceito é necessário (habilidade de baixo nível ou intermediárias) para que o aluno alcance o conceito mais sofisticado. Para Piaget os processos de aprendizagem dos alunos ainda não se finalizaram necessitando ainda a mediação do professor ou de instrumentos que facilitem o aprendizado. Para Vygotsky é necessária uma intermediação para que o aluno consiga transpor esta distância entre o que domina e o que dominará com apoio de alguém mais experiente, zona de desenvolvimento proximal, o conhecimento que é transmitido do professor para o aluno o auxiliará a desenvolver e conseguir demonstrar o conceito na sua totalidade (OLIVEIRA, 1997 p.60).

### **5.3 Questão 3 dos formulários Pré 1 e pós 1**

PRÉ 1- 3- Relacione os números 1,2 e 3 dos conceitos a seus conceitos corretos

(1) Rotação, (2) translação, (3) corpo rígido

( ) Os pontos do objeto se movem em relação ao eixo de giro, O eixo permanece estacionário aum sistema de referência inercial

( ) Todos os pontos do objeto se movem seguindo trajetórias paralelas ao do centro de massas() todos os pontos estão firmemente ligados.

A sequência que corresponde a certa é:

PÓS1-3- Relacione os números 1,2 e 3 dos conceitos a seus conteúdos corretos (1) translação, (2)Rotação (3) corpo rígido;

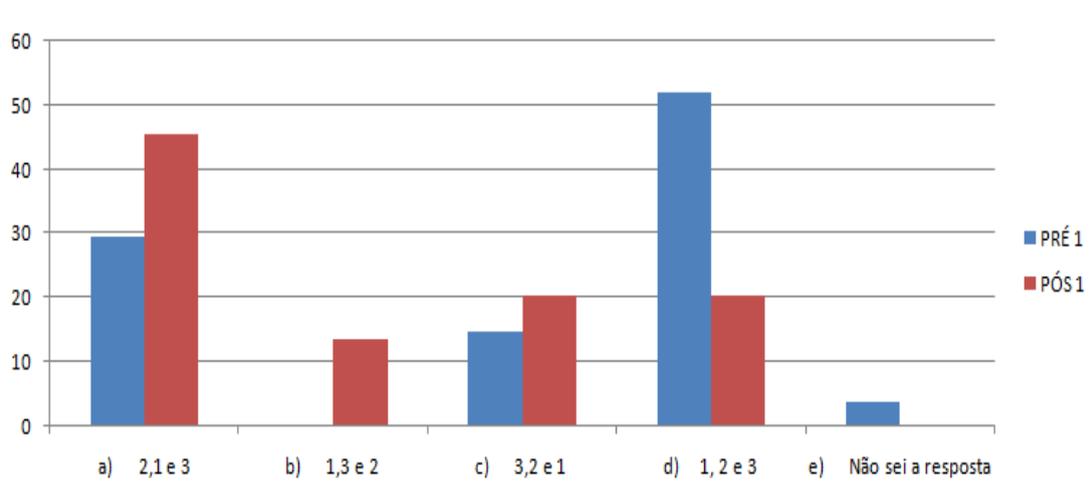
( ) Os pontos do objeto se movem em relação ao eixo de giro, O eixo permanece estacionário aum sistema de referência inercial

( ) Todos os pontos do objeto se movem seguindo trajetórias paralelas ao do centro de massas.

( ) todos os pontos estão firmemente ligados.

A sequência que corresponde a certa é:

Gráfico 5.3: Resultados das respostas da questão 3 dos questionários pré1 e pós 1. No questionário pré houve um número expressivo de acertos, com mais da metade dos alunos assinalando a alternativa correta. O mesmo ocorrendo no questionário pós, com quase metade assinalando a alternativa correta. No questionário pós os alunos não assinalaram a alternativa não sei a resposta.



Fonte: Própria

Resposta correta: Pré-123 e Pós -2, 1,3

No questionário pré houve acerto da alternativa correta por mais de 50% dos alunos. No questionário pós houve uma pequena diminuição do número de acertos, ficando próximo do questionário pré. Os alunos que não acertaram são em número significativo. Como o conceito abordado é fundamental para o aprendizado dos demais é necessário um reforço deste conteúdo. Gagné chama atenção da necessidade de reforço para ocorrer o aprendizado. Há necessidade de interferir, estimulando e auxiliando estes alunos para que atinjam o aprendizado. É necessário atuar junto aos discentes que não conseguem ainda atingir o domínio do conceito, para juntos com professor o dominarem.

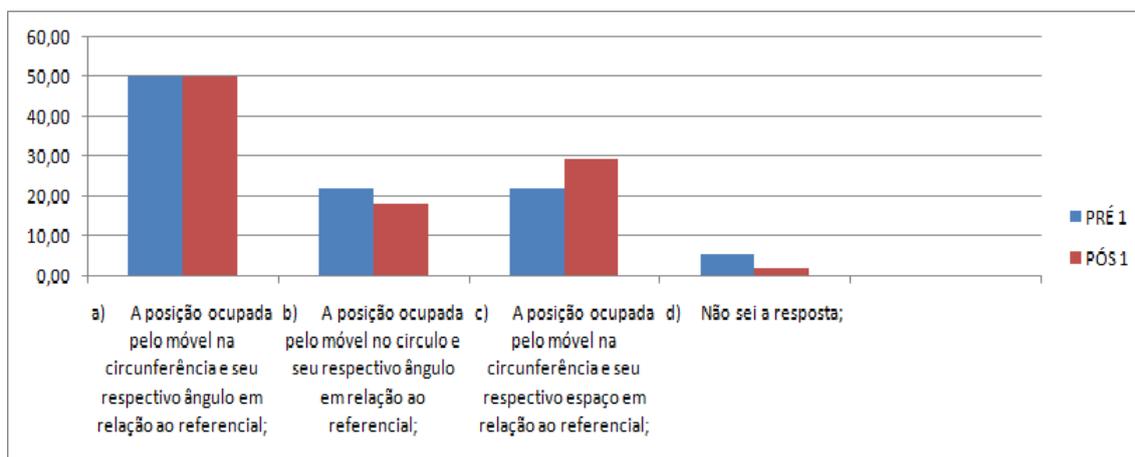
#### 5.4 Questão 4 dos formulários Pré 1 e pós 1

PRÉ 1- 4- A posição linear e angular do móvel em um determinado tempo pode ser conceituada respectivamente como:

PÓS 1- 4- A posição linear ( $p$ ) e angular ( $\varphi$ ) do móvel em um determinado tempo pode

ser conceituada respectivamente como:

Gráfico 5.4: Resultados das respostas da questão 4 dos questionários pré 1 e pós 1. Houve pouca alteração no número de acertos mantendo próximo o percentual de acertos. Eles representam metade dos alunos que responderam. caiu o número de alunos que não sabiam a resposta.



Fonte: Própria

Resposta correta: A posição ocupada pelo móvel na circunferência e seu respectivo ângulo em relação ao referencial.

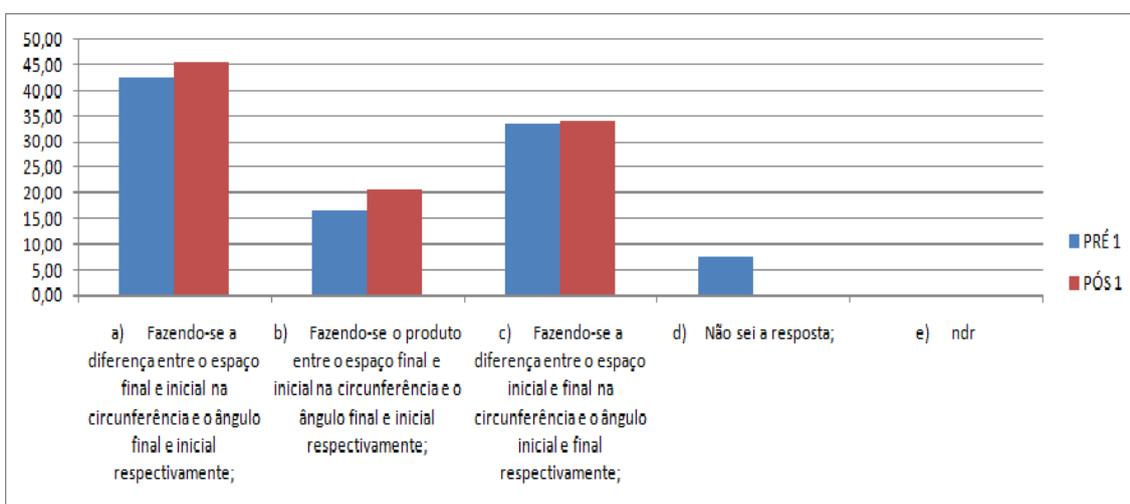
A diferença percentual entre as respostas corretas no formulário pré e pós demonstra que a proposta não surtiu um aprendizado maior do conceito (Posição lineare angular) incremento dos acertos de 1,2%, precisando uma intermediação mais trabalhada na explicação de conceitos não vistos ou que o aluno não tenha domínio. Analisando a estratégia e como as teorias de aprendizagem utilizadas podem ser mais bem aplicadas. Como explicar? As teorias propostas de como se dá o aprendizado tentam explicar. Os conhecimentos prévios dos alunos não são suficientes para eles desenvolverem esta habilidade (GAGNÉ, 1983). Não têm a maturação necessária para compreender naquele momento o conceito (XAVIER, 2015, P.21-22) Ainda não tiveram contato cultural suficiente e mesmo a interação social com pessoas que dominam este conhecimento, no momento, não foi suficiente para estes alcançarem tal saber. Não há maturação suficiente nestes indivíduos (OLIVEIRA, 1997 p. 60).

## 5.5 Questão 5 dos formulários Pré 1 e pós 1

PRÉ 1-5- A variação do espaço linear e angular entre os tempos inicial e final pode ser encontrada:

PÓS 1-5- A variação do espaço linear e angular entre os tempos inicial e final pode ser encontrada:

Gráfico 5.5: Resultados das respostas da questão 5 dos questionários pré e pós 1. Houve um pequeno aumento no percentual de acertos da alternativa correta. Uma queda no percentual que assinalaram a alternativa não sei a resposta.



Fonte: Própria

Resposta correta: Fazendo-se a diferença entre o espaço final e inicial na circunferência e o ângulo final e inicial respectivamente.

A diferença percentual entre as respostas corretas no formulário pré e pós demonstra um incremento de 3,9% nos acertos. A proposta não surtiu um aprendizado mais acentuado do conceito (Posição linear e angular). Precisando uma intermediação mais focada na explicação de conceitos não trabalhados ou que o aluno não tenha domínio. Analisando a estratégia e como as teorias de aprendizagem utilizadas podem ser mais bem aplicadas. As teorias de aprendizagem podem ajudar a entender o porquê destes resultados. Os conhecimentos prévios dos alunos não são suficientes para eles desenvolverem esta habilidade (GAGNÉ, 1983) não têm a maturação necessária para

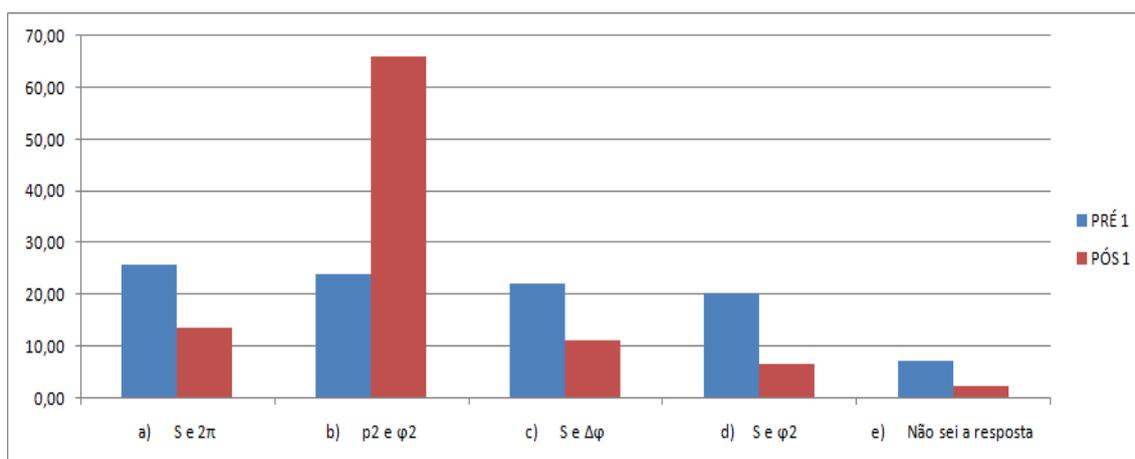
compreender naquele momento o conceito (XAVIER, 2015, P.21-22). Ainda não tiveram contato cultural suficiente e mesmo a interação social com pessoas que dominam este conhecimento, no momento, não foi suficiente para estes alcançarem tal saber (OLIVEIRA, 1997, P.60). São algumas das explicações possíveis.

## 5.6 Questão 6 dos formulários Pré 1 e pós 1

PRÉ 1 - 6- A posição linear e angular do móvel no tempo  $t_2$ , são respectivamente:

PÓS 1 - 6- A posição linear e angular móvel no tempo  $t_2$ , são respectivamente:

Gráfico 5.6: Resultados das respostas da questão 6 dos questionários pré1 e pós 1. Houve um aumento das respostas da alternativa correta em relação ao primeiro questionário. Em todas as respostas do questionário pré houve uma diminuição das respostas incorretas em relação ao questionário pós. Houve diminuição dos alunos que responderam à alternativa não sei a resposta.



Fonte Própria

Resposta correta:  $P_2$  e  $\varphi_2$

Os resultados apresentados nos gráficos evidenciam uma diferença perceptível entre o número de acertos entre os formulários pré e pós na questão 6, aumento de 31% no percentual de acertos. As estratégias aplicadas atingiram o esperado que foi o domínio do conhecimento e sua utilização como um dos saberes que serviriam para construir uma ponte entre saberes prévios e os conhecimentos que serão trabalhados nas etapas seguintes. A atenção então foi dirigida aos alunos que não alcançaram a resposta correta.

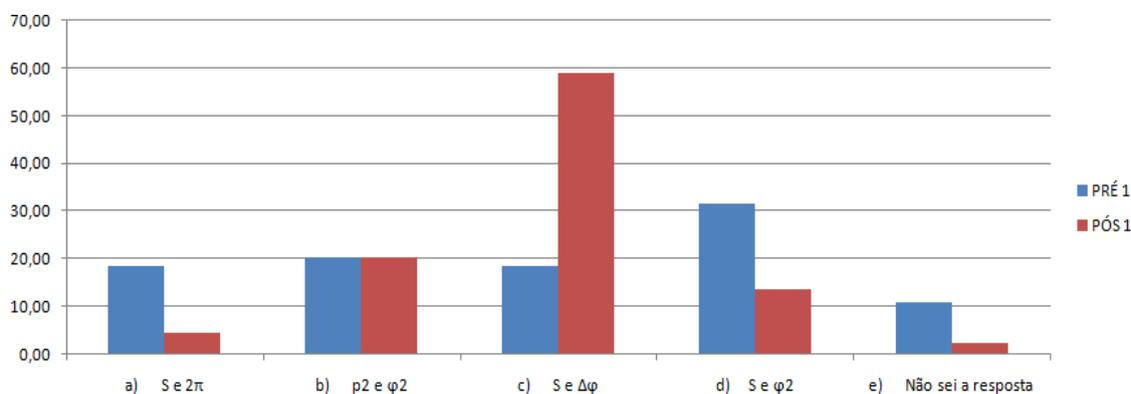
Estratégias foram utilizadas, entre elas a repetição, estratégia proposta por Gagné como eficaz (GAGNÉ, 1983). O uso das demonstrações para viabilizar uma interação com aplicação do conceito e a interação entre professor e os aprendentes permitiu que o docente interferisse na zona de desenvolvimento proximal (OLIVEIRA, 1997, p. 60).

### 5.7 Questão 7 dos formulários Pré 1 e pós 1

PRÉ 1-7- A variação do espaço linear e angular entre os tempos  $t_1$  e  $t_2$  valem respectivamente:

PÓS 1-7- A variação do espaço linear e angular entre os tempos  $t_1$  e  $t_2$  valem respectivamente:

Gráfico 5.7: Resultados das respostas da questão 7 dos questionários pré 1 e pós 1. Houve um incremento do percentual de acertos da alternativa correta. Mais da metade dos alunos assinalaram a resposta correta no questionário pós. Houve uma queda do percentual de alunos que assinalaram a alternativa não sei a resposta.



Fonte: Própria

Resposta correta: S e  $\Delta\varphi$

A comparação entre os gráficos da questão 7 dos formulários pré e pós mostram uma diferença grande entre o número de acertos, um aumento de 39,6% nos acertos. As estratégias aplicadas atingiram o esperado, que foi um domínio do conhecimento e sua utilização como um dos saberes que serviram para construir uma ponte entre saberes prévios e os conhecimentos que sejam trabalhados nas etapas seguintes. A atenção então foi dirigida aos alunos que não alcançaram a resposta correta. Estratégias

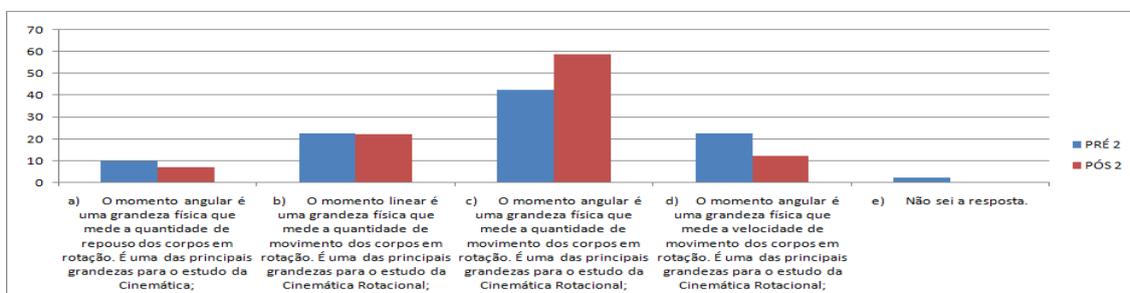
foram utilizadas entre eles a repetição, estratégia proposta por Gagné (GAGNÉ, 1983). O uso das demonstrações para viabilizar uma interação com aplicação do conceito (XAVIER, 2015, P.21-22) e a interação entre o professor e os aprendentes permitiu que o docente trabalhasse na zona de desenvolvimento proximal.

## 5.8 Questão 1 dos formulários Pré 2 e pós 2

PRÉ 2-1- O movimento giratório tem fundamento teórico em um dos alicerces da física clássica. O momento angular explica o movimento de rotação. Qual dos conceitos abaixo melhor responde este conceito tão importante?

PÓS 2-1- O movimento giratório tem fundamento teórico em um dos alicerces da física clássica. O momento angular(L) explica o movimento de rotação. Qual dos conceitos abaixo melhor responde este conceito tão importante?

Gráfico 5.8: Resultados das respostas da questão 1 dos questionários pré 2 e pós 2. A análise permite ver um incremento dos acertos da alternativa correta. Um aumento deste percentual é acompanhado da diminuição das alternativas incorretas e do percentual nulo dos alunos que marcaram alternativa não sei a resposta.



Fonte: Própria

Resposta correta: O momento angular é uma grandeza física que mede a quantidade de movimento de corpos em rotação. É uma das principais grandezas para o estudo da cinemática rotacional.

A comparação entre as respostas dos formulários pré e pós evidenciou um incremento no número de acertos na questão 1, incremento de 14%. As técnicas usadas permitiram que um número maior de alunos alcançasse o saber com auxílio do professor, mediador, dos aparatos utilizados nas demonstrações, da repetição dos conceitos, da evocação de saberes prévios. Um número menor, porém, significativo de alunos naquele

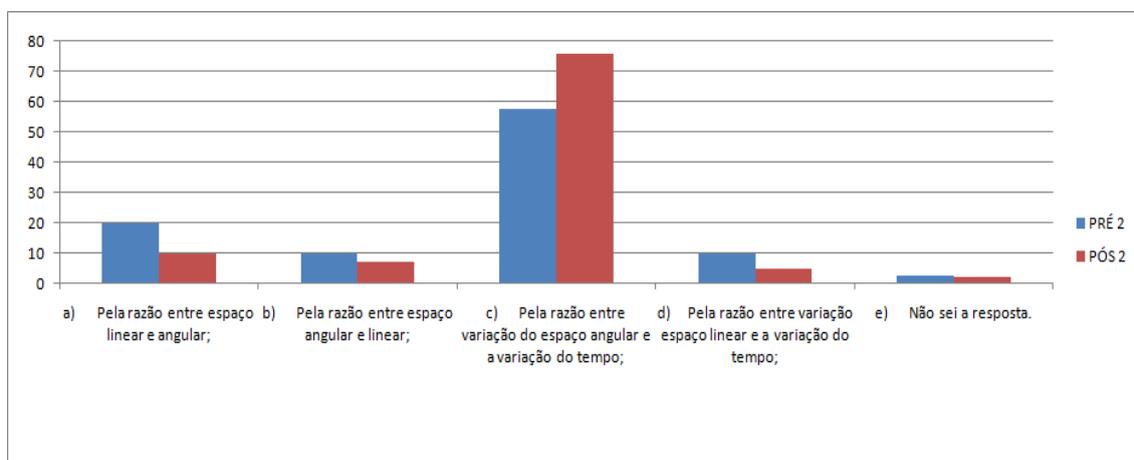
momento não respondeu corretamente o conceito analisado. Muitos motivos podem explicar este não aprendizado, a imaturidade neurológica ou física, uma incapacidade natural, uma interação social deficiente que não permitiriam o seu desenvolvimento (XAVIER, 2015, P.21-22). A falta de habilidades de baixo nível e a pouca repetição dos conceitos, a falta de motivação e objetivos pouco definidos (GAGNÉ, 1983). Uma falta de interação com saberes e com pessoas que os detenham para que estas auxiliem no incremento dos conhecimentos (OLIVEIRA, 1997 P. 60) e para esses alunos que necessitam auxílio foi necessário que houvesse a criação de oportunidades para novos contatos com os saberes e então ter domínio destes. Esta estratégia tem fundamentos em todos estes teóricos da aprendizagem citados.

## **5.9 Questão 2 dos formulários Pré 2 e pós 2**

PRÉ 2 - 2- A velocidade angular é essencial para quantificar o momento angular. Esta grandeza é calculada:

PÓS 2 - 2- A figura acima representa o movimento de uma partícula em função do tempo. Para que haja o movimento é necessário que sua velocidade seja diferente de zero. A velocidade angular também é essencial para quantificar o momento angular. A grandeza velocidade angular é calculada:

Gráfico 5.9: Resultados das respostas da questão 2 dos questionários pré 2 e pós 2. Houve diminuição dos percentuais em todas as alternativas incorretas na comparação entre o questionário pré e pós. O número de alunos que assinalaram a resposta correta no questionário pós passou de  $\frac{3}{4}$ .



Fonte: Própria

Resposta corretas: Pela razão entre a variação do espaço angular e a variação do tempo.

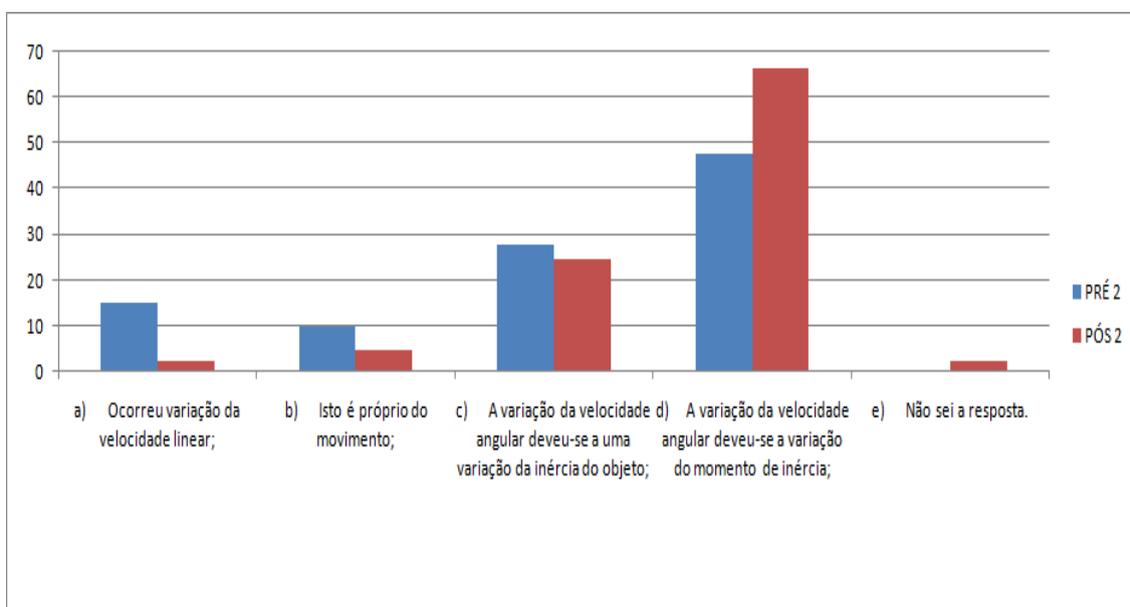
A comparação entre as respostas dos formulários pré e pós evidenciou um incremento no número de acertos na questão 2 aumento de 18,9%. As técnicas usadas permitiram que um maior número de alunos alcançasse o saber com auxílio do professor, mediador, dos aparatos utilizados nas demonstrações, da repetição dos conceitos, da evocação de saberes prévios. Um número menor, porém, significativo de alunos naquele momento não respondeu corretamente o conceito analisado. Muitos motivos podem explicar este não aprendizado, a imaturidade neurológica ou física, uma incapacidade natural, uma interação social deficiente que não permitiriam o seu desenvolvimento (XAVIER, 2015, P.21-22). A falta de habilidades de baixo nível e a pouca repetição dos conceitos, a falta de motivação e objetivos pouco definidos (Gagné). Uma falta de interação com saberes e com pessoas que os detenham para que estas auxiliem no incremento dos conhecimentos (OLIVEIRA, 1997, P.60) e para esses alunos que necessitam auxílio foi necessário que houvesse a criação de oportunidades para novos contatos com os saberes e então ter domínio destes.

## 5.10 Questão 3 dos formulários Pré 2 e pós 2

PRÉ 2 - 1- Ocorre variação na velocidade de rotação da bailarina e do mergulhador no salto durante seu movimento, como explicar isso do ponto de vista da física.

PÓS 2 - 1- Ocorre variação na velocidade de rotação durante seu movimento, tanto do homem sentado no banco quanto da saltadora no trampolim, Isto é explicado por um dos conceitos basilares da física. Como explicar isso do ponto de vista da física?

Gráfico 5.10: Resultados das respostas da questão 3 dos questionários pré 2 e pós 2. É expressivo o número percentual de acertos da alternativa correta no questionário pós (¾ ) dos alunos. Em todas as alternativas incorretas o percentual diminuiu na comparação dos questionários pré e pós. Houve um pequeno aumento no percentual dos que assinalaram a alternativa não sei a resposta.



Fonte: Própria

Resposta correta: A variação da velocidade angular deve-se a variação do momento de inércia.

A comparação entre as respostas dos formulários pré e pós evidenciou um incremento no número de acertos na questão 3, aumento de 20%. As técnicas usadas auxiliaram um número maior de alunos alcançarem o saber com auxílio do professor, mediador, dos aparatos utilizados nas demonstrações, da repetição dos conceitos, da evocação de saberes prévios. Um número menor, porém, significativo de alunos naquele momento não respondeu corretamente o conceito analisado. Muitos motivos podem

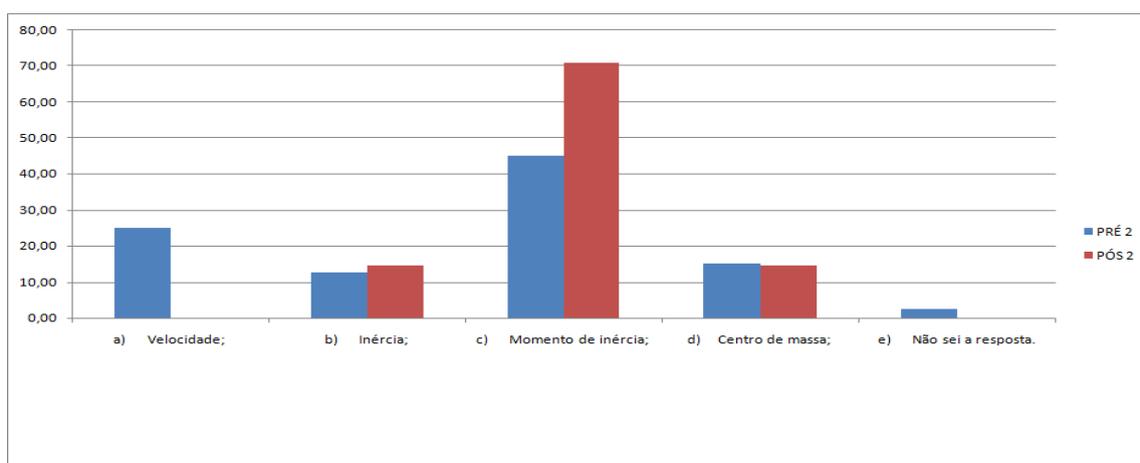
explicar este não aprendido, a imaturidade neurológica ou física, uma incapacidade natural, uma interação social deficiente que não permitiriam o seu desenvolvimento (XAVIER, 2015, P.21-22). A falta de habilidades de baixo nível e a pouca repetição dos conceitos, a falta de motivação e objetivos pouco definidos (GAGNÉ,1983). Uma falta de interação com saberes e com pessoas que os detenham. Necessitando auxiliares para que estas ajudem no incremento dos conhecimentos (OLIVEIRA. 1997, P. 60) e para esses alunos que necessitam auxílio foi necessário que houvesse a criação de oportunidades para novos contatos com os saberes e então ter domínio destes. Esta estratégia tem fundamentos em todos os teóricos da aprendizagem.

### 5.11 Questão 4 dos formulários Pré 2 e pós 2

PRÉ 4 -1- A dificuldade de objetos iniciarem e cessarem uma rotação podem ser medida por (pela):

PÓS 4 - 1-: A dificuldade de objetos iniciarem e manterem uma rotação são medidas por (pela):

Gráfico 5.11: Resultados das respostas da questão 4 dos questionários pré 2 e pós 2. Houve um incremento dos acertos com mais de 2/3 dos alunos assinalando a alternativa correta no questionário pós. Não houve alunos assinalando a alternativa não sei a resposta no questionário pós.



Fonte: Própria

Resposta correta: momento de inércia.

A comparação entre as respostas dos formulários pré e pós evidenciou um

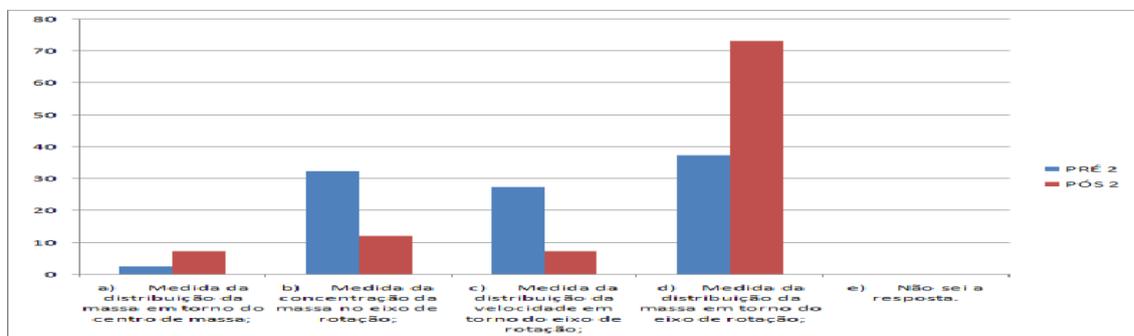
incremento no número de acertos na questão 4, aumento de 27,5%. As técnicas usadas permitiram que um número maior de alunos alcançasse o saber com auxílio do professor, mediador, dos aparatos utilizados nas demonstrações, da repetição dos conceitos, da evocação de saberes prévios. Um número menor, porém, significativo de alunos naquele momento não respondeu corretamente o conceito analisado. Muitos motivos podem explicar este não aprendizado, a imaturidade neurológica ou física, uma incapacidade natural, uma interação social deficiente que não permitiriam o seu desenvolvimento (XAVIER, 2015, P.21-22). A falta de habilidades de baixo nível e a pouca repetição dos conceitos, a falta de motivação e objetivos pouco definidos (GAGNÉ, 1983). Uma falta de interação com saberes e com pessoas que os detenham. Necessitando auxiliares para que estas ajudem no incremento dos conhecimentos (OLIVEIRA, 1997, p.60) e para esses alunos que necessitam auxílio foi necessário que houvesse a criação de oportunidades para novos contatos com os saberes e então ter domínio destes. Esta estratégia tem fundamentos em todos os teóricos da aprendizagem.

## 5.12 Questão 5 dos formulários pré 2 e pós 2

PRÉ- 2-5- Momento de inércia pode ser conceituado como:

PÓS-2-5- O momento de inércia é uma propriedade dos corpos em movimento circular, como a roda gigante de um parque de Diversões. O momento de inércia pode ser conceituado como

Gráfico 5.12: Resultados das respostas da questão 5 dos questionários pré2 e pós 2. A mudança de opção entre os formulários é evidenciada pela queda nos percentuais das questões incorretas e do incremento da alternativa correta no questionário pós.



Fonte: Própria

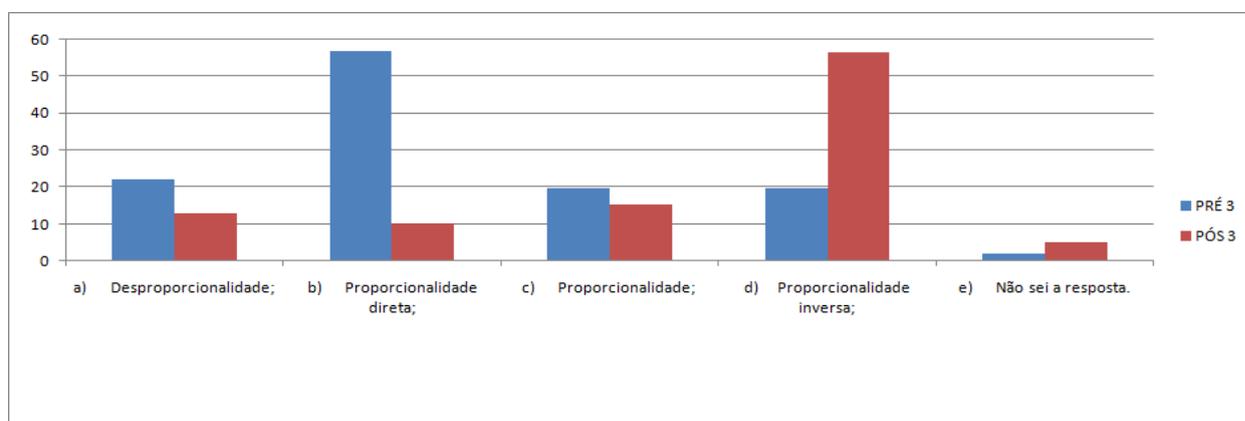
Respostas corretas: medida da distribuição da massa em torno do eixo de rotação.

A comparação entre as respostas dos formulários pré e pós evidenciou um incremento no número de acertos na questão 5, incremento de 37,5%. As técnicas usadas permitiram que um número maior de alunos alcançasse o saber com auxílio do professor, mediador, dos aparatos utilizados nas demonstrações, da repetição dos conceitos, da evocação de saberes prévios. Um número menor de alunos naquele momento não respondeu corretamente o conceito analisado. Muitos motivos podem explicar este não aprendizado, a imaturidade neurológica ou física, uma incapacidade natural, uma interação social deficiente que não permitiriam o seu desenvolvimento (XAVIER, 2015, P.21-22). A falta de habilidades de baixo nível e a pouca repetição dos conceitos, a falta de motivação e objetivos pouco definidos (GAGNÉ, 1983) Uma falta de interação com saberes e com pessoas que os detenham. Necessitando auxiliares para que estas ajudem no incremento dos conhecimentos (OLIVEIRA, 1997, P.60) e para esses alunos que necessitam auxílio foi necessário que houvesse a criação de oportunidades para novos contatos com os saberes e então ter domínio destes. Esta estratégia tem fundamentos em todos os teóricos da aprendizagem.

### **5.13 Questão 1 dos formulários Pré 3 e pós 3**

PRÉ 3 - 1- A figura acima representa uma demonstração sobre momento angular. Neste podemos observar que momento de inércia e velocidade angular tem uma relação:  
PÓS 3 - 1-: Na experiência acima comprovamos a conservação do momento angular. Analisando a fórmula do momento angular  $L = I \omega$ , verificamos que a relação entre as grandezas  $I$  e  $\omega$  é de:

Gráfico 5.13: Resultados das respostas da questão 1 dos questionários pré 3 e pós 3. Mais da metade dos alunos assinalaram a resposta correta no questionário pós. Houve um aumento do percentual dos alunos que marcaram as alternativas não sei a resposta.



Fonte: Própria

Resposta correta: Proporcionalidade inversa.

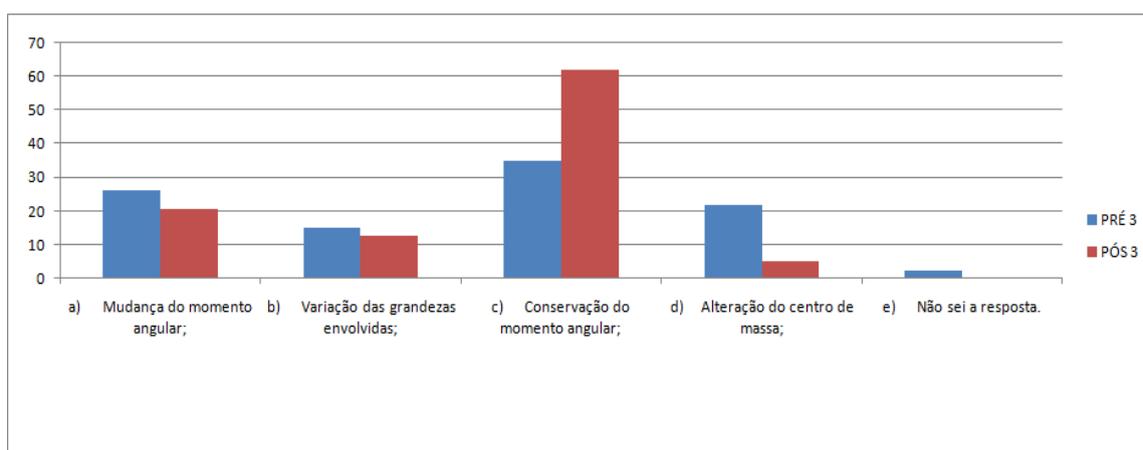
Os resultados obtidos na questão 1 dos formulários pré e pós apresentaram uma diferença de 37,9%. Aparentemente houve uma dificuldade de diferenciar os conceitos de relação proporcional direta e inversa, com mais da metade dos alunos tendo assinalado de forma incorreta. A ação desenvolvida durante as atividades: aula expositiva, demonstração e explicação oral do professor atingiram o resultado esperado. Os alunos compreenderam a relação matemática visualizada pelos alunos durante a demonstração. Novamente devemos ter uma preocupação com os alunos que ainda não atingiram as metas determinadas. Muitos motivos podem explicar este não aprendizado, a imaturidade neurológica ou física, uma incapacidade natural, uma interação social deficiente que não permitiriam o seu desenvolvimento (XAVIER, 2015, P.21-22). A falta de habilidades de baixo nível e a pouca repetição dos conceitos, a falta de motivação e não ter compreendido que objetivos alcançar (GAGNÉ, 1983). Uma falta de interação com saberes e com pessoas que os detenham. Necessitando auxiliares para que estas ajudem no incremento dos conhecimentos. Maturação que são capacidades que o aluno precisa ter para aprender (OLIVEIRA 1997, P. 60). Para esses alunos que necessitam auxílio foi necessário que houvesse a criação de oportunidades para novos contatos com os saberes e então ter domínio destes.

## 5.14 Questão 2 dos formulários Pré 3 e pós 3

PRÉ 3 - 2- Pelo desenho podemos observar que o aumento da velocidade angular ocorreu devido a uma variação no momento de inércia. Com base neste fenômeno qual o resultado esperado?

PÓS 3 - 2- Pela demonstração podemos observar que alteração do momento de inércia acarreta uma variação da velocidade angular. Isto ocorre de forma proporcional, e o resultado e que seu produto não é alterado. Com base neste fenômeno qual o resultado esperado?

Gráfico 5.14: Resultados das respostas da questão 2 dos questionários pré 3 e pós 3. Houve uma queda nos percentuais das questões incorretas e aumento proporcional das questões corretas. No questionário pós nenhum aluno assinalou a alternativa não sei a resposta.



Fonte: Própria

Resposta correta: Conservação do momento angular

Os resultados obtidos na questão 2 dos formulários pré e pós apresentaram um incremento de 27,6% nos acertos. A ação desenvolvida durante as atividades: aula expositiva, demonstração e explicação oral do professor atingiram o resultado esperado. Os alunos melhoraram a percepção da relação expressa na fórmula, entre a inércia rotacional e a velocidade angular, trabalhada pelos alunos durante a aula expositiva e demonstração, interação com o professor e colegas. Novamente devemos ter uma preocupação com os alunos que ainda não atingiram as metas determinadas. Muitos motivos podem explicar este não aprendizado, a imaturidade neurológica ou física, uma

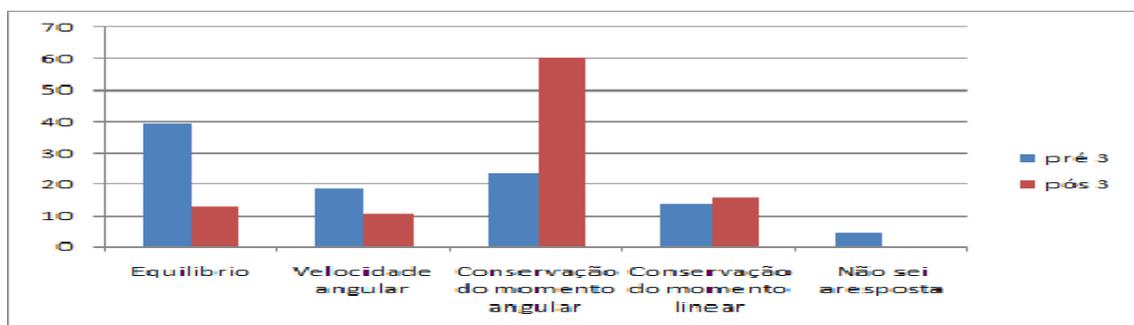
incapacidade natural, uma interação social deficiente que não permitiriam o seu desenvolvimento (XAVIER, 2015, P.21-22). A falta de habilidades de baixo nível e a pouca repetição dos conceitos, a falta de motivação e não ter compreendido que objetivos alcançar (GAGNÉ, 1983). Uma falta de interação com saberes e com pessoas que os detenham. Necessitando auxiliares para que estas ajudem no incrementados conhecimentos, maturação que são capacidades que o aluno precisa ter para aprender (OLIVEIRA, 1997, p.60). Para esses alunos que necessitam auxílio foi necessário que houvesse a criação de oportunidades para novos contatos com os saberes e então ter domínio destes.

### 5.15 Questão 3 dos formulários Pré 3 e pós 3

PRÉ 3 - 3- A figura acima mostra um helicóptero e seus rotores que permitem que a aeronave se desloque. Qual o princípio físico explica a necessidade de um motor na cauda do helicóptero?

PÓS 3 - 3-: A figura acima mostra um helicóptero e seus rotores que permitem que a aeronave se desloque sem que este gire no sentido contrário ao das asas rotatórias. Isto ocorreria para que a soma dos momentos angulares desse zero, para impedir que o corpo do helicóptero gire, os rotores são colocados na cauda, do contrário o movimento natural faria o piloto perder o controle da aeronave. Qual o princípio físico explica a necessidade de um motor na cauda do helicóptero?

Gráfico 5.15: Resultados das respostas da questão 3 dos questionários pré3 e pós 3. Podemos observar um aumento dos acertos no questionário pós. Também a uma queda do percentual da alternativa não sei a resposta no questionário pós.



Fonte: Própria

Resposta correta: Conservação do momento angular

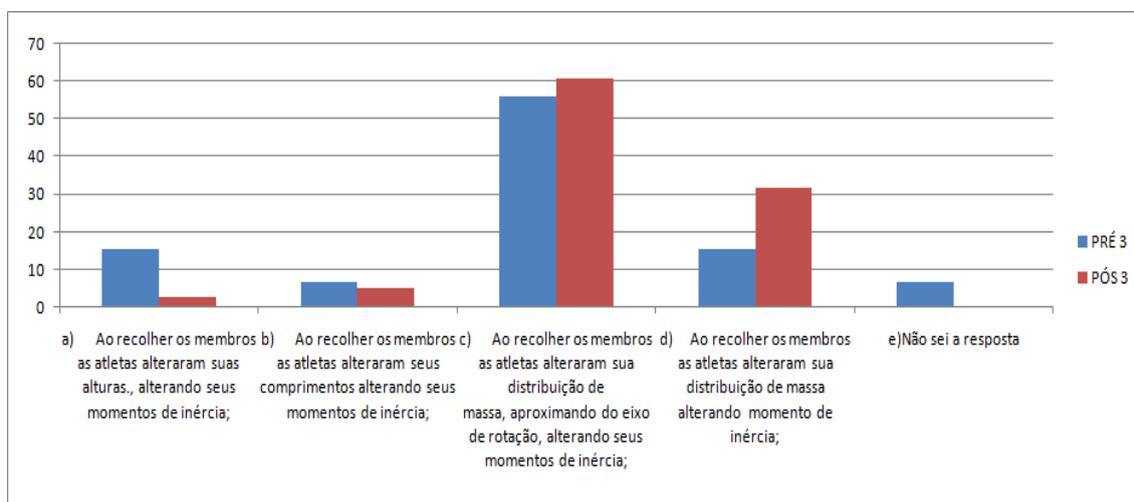
Os resultados obtidos na questão 3 dos formulários pré e pós apresentaram um incremento de 37,2% nos acertos entre os formulários pré e pós das atividades. O trabalho desenvolvido durante as atividades: aula expositiva, demonstração e explicação oral do professor atingiram o resultado esperado. Os alunos melhoraram a percepção da relação expressa na fórmula, entre a inércia rotacional e a velocidade angular que pode ser trabalhada pelos alunos durante a aula expositiva a demonstração, e a interação com o professor e colegas. Novamente devemos ter uma preocupação com os alunos que ainda não atingiram as metas determinadas. Muitos motivos podem explicar este não aprendizado, a imaturidade neurológica ou física, uma incapacidade natural, uma interação social deficiente que não permitiriam o seu desenvolvimento (XAVIER, 2015, P.21-22). A falta de habilidades de baixo nível e a pouca repetição dos conceitos, a falta de motivação e não ter compreendido que objetivos alcançar (GAGNÉ, 1983). Uma falta de interação com saberes e com pessoas que os detenham para que estas auxiliem no incremento dos conhecimentos, maturação que são capacidades que o aluno precisa ter para aprender (OLIVEIRA, 1997, p. 60). Para esses alunos que necessitam auxílio foi necessário que houvesse a criação de oportunidades para novos contatos com os saberes e então ter domínio destes. Esta estratégia é fundamentada nestes teóricos da aprendizagem.

### **5.16 Questão 4 dos formulários Pré 3 e pós 3**

PRÉ 3- 4- Nas figuras abaixo a saltadora e a patinadora recolhem seus membros inferiores e superiores alterando sua velocidade angular, esta variação decorre da relação com momento de inércia. Como este movimento das atletas explica a variação da velocidade angular?

PÓS 3 - 4- Nas figuras acima a saltadora e a patinadora recolhem seus membros inferiores e superiores respectivamente, alterando sua velocidade angular, esta variação decorre da relação com momento de inércia. Como este movimento das atletas explica a variação da velocidade angular?

Gráfico 5.16: Resultados das respostas da questão 4 dos questionários pré 3 e pós 3. Houve um acréscimo pequeno no percentual de acertos entre os dois questionários. Queda dos percentuais da alternativa não sei a resposta.



Fonte: Própria

Resposta correta: - Ao recolher os membros as atletas alteraram sua distribuição de massa, aproximando do eixo de rotação, alterando seus momentos de inércia

Os resultados obtidos na questão 4 dos formulários pré e pós apresentaram um incremento de 5% nos acertos entre os formulários pré e pós das atividades. Chama à atenção o incremento de 16,5% da segunda resposta mais assinalada, muito próxima do conceito mais assinalado, estando os alunos próximos de dominar o conceito proposto. O trabalho desenvolvido durante as atividades: aula expositiva, demonstração e explicação oral do professor não tinham atingido na totalidade o resultado esperado, os alunos melhoraram a percepção da relação expressa na fórmula, entre a inércia rotacional e a velocidade angular, porém ainda precisam relacionar de forma mais fundamentada, a fórmula do momento de inércia, que indica a relação entre a distribuição de massa e sua distância ao eixo de rotação. Podendo ser trabalhada com maior profundidade, pelos alunos, durante a aula expositiva, a demonstração, e a interação com o professor e colegas. Novamente devemos ter uma preocupação com os alunos que ainda não atingiram as metas determinadas. Muitos motivos podem explicar este não aprendizado, a imaturidade neurológica ou física, uma incapacidade natural, uma interação social deficiente que não permitiriam o seu desenvolvimento (XAVIER, 2015, P.21-22). A falta de habilidades de baixo nível e a pouca repetição dos conceitos, a falta de motivação e não ter compreendido que objetivos alcançar (GAGNÉ, 1983). Uma falta de interação

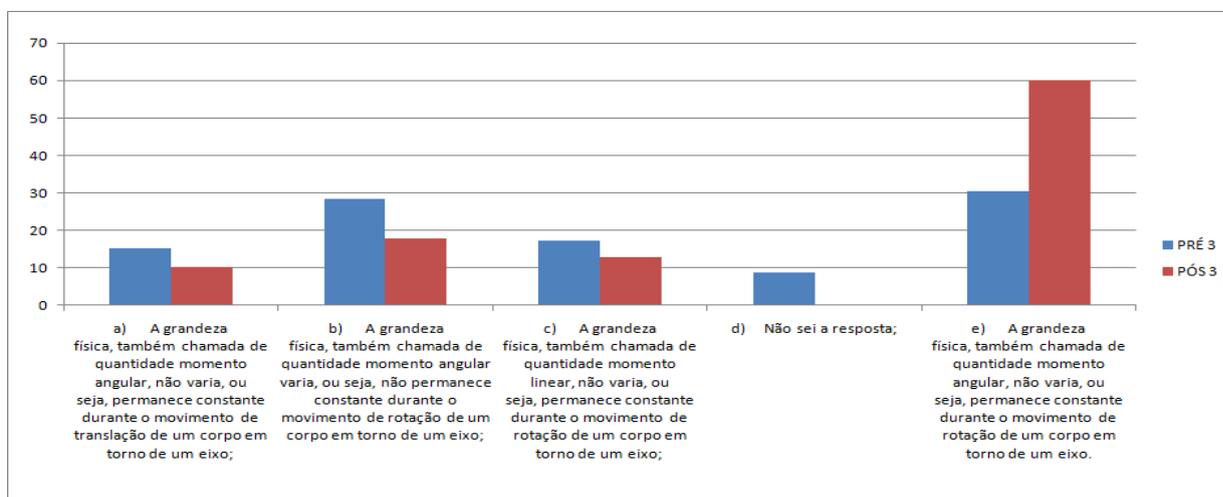
com saberes e com pessoas que os detenham para que estas auxiliem no incremento dos conhecimentos, maturação que são capacidades que o aluno precisa ter para aprender (OLIVEIRA, 1997, p.60). Para esses alunos que necessitam auxílio foi necessário que houvesse a criação de oportunidades para novos contatos com os saberes e então ter domínio destes.

### 5.17 Questão 5 dos formulários Pré 3 e pós 3

PRÉ 3 - 5- A conservação do momento angular acontece quando:

PÓS 3 - 5- As figuras acima representam exemplos onde podemos perceber a presença de conceitos físicos entre eles a conservação do momento angular. Isto acontece quando:

Gráfico 5.17: Resultados das respostas da questão 5 dos questionários pré 3 e pós 3. Houve um incremento no número de acertos. Em todas as alternativas incorretas ocorreram queda dos percentuais. No questionário pós não houve alunos que assinalaram a alternativa não sei a resposta.



Fonte: própria

Resposta correta: A grandeza física, também chamada de quantidade de movimento angular não varia, ou seja, permanece constante durante o movimento de rotação de um corpo em torno de um eixo.

Os resultados obtidos na questão 5 dos formulários pré e pós apresentaram um incremento de 31,6% nos acertos entre os formulários pré e pós das atividades. O trabalho desenvolvido durante as atividades: aula expositiva, demonstração e explicação oral do professor atingiram o resultado esperado, os alunos superaram a dificuldade que apresentaram quando da aplicação do formulário pré quando houve uma distribuição mais heterogênea das respostas. Os conteúdos puderam ser mais bem trabalhados com e pelos alunos durante a aula expositiva a demonstração, e a interação com o professor e colegas. Novamente devemos ter uma preocupação com os alunos que ainda não atingiram as metas determinadas. Muitos motivos podem explicar este não aprendizado, a imaturidade neurológica ou física, uma incapacidade natural, uma interação social deficiente que não permitiriam o seu desenvolvimento (XAVIER, 2015, P.21-22). A falta de habilidades de baixo nível e a pouca repetição dos conceitos, a falta de motivação e não ter compreendido que objetivos alcançar (GAGNÉ, 1983). Uma falta de interação com saberes e com pessoas que os detenham para que estas auxiliem no incremento dos conhecimentos, maturação que são capacidades que o aluno precisa ter para aprender (OLIVEIRA, 1997, p.60). Para esses alunos que necessitam auxílio foi necessário que houvesse a criação de oportunidades para novos contatos com os saberes e então ter domínio destes.

## Capítulo 6. CONCLUSÕES

Para falar das conclusões que tiramos da aplicação desta pesquisa iremos antes, comentar como o momento em que estamos vivendo influenciou a presente pesquisa. A alteração da dinâmica de ensino nas escolas e do cotidiano de nossas atividades afetou profundamente a mente e o corpo dos participantes da comunidade escolar. Levou tempo para se adaptar ao ‘novo normal’. Até a atualidade muitos não se adaptaram, porém, a adaptação ocorreu e a pesquisa também teve que ser adaptado à nova realidade. Como esperado essas transformações levaram a situações não previstas originalmente e o desenvolvimento de estratégias para reunir e motivar os alunos. Muitos problemas foram ao uso das tecnologias da informação, até encontrar uma sequência de trabalho que funcionasse. Apesar do assunto (momento angular ser considerado complexo e alguns professores não o aplicarem em sala, talvez pelo motivo em nosso estado do conteúdo não ser cobrado pelo sistema seriado anual (SSA, aplicado pela Universidade de Pernambuco. Também não está presente nos conteúdos obrigatórios do programa das escolas integrais de Pernambuco. Ele é fundamental para entender o movimento de rotação. Desta importância conclui que oportunizar este aprendizado só trará benefícios aos alunos. Desenvolver uma sequência didática que alcançassem os objetivos pensados sobre essas condições foram um desafio.

A produção e utilização dos autômatos para desenvolvimento de demonstrações abordando o conteúdo mostrou potencial significativo. Nos resultados estatísticos há na maioria dos conteúdos um aumento no número de acertos na opção correta, redução no item “não sei a resposta” e busca pelo saber como percebido pelo professor ao aplicar as atividades. Sugerindo assim, que esta é uma ferramenta útil para que os alunos percebam os conceitos e fenômenos visualizados nas demonstrações. A produção de vídeo (aulas é uma importante estratégia para que os alunos tivessem acesso aos conteúdos e as demonstrações, foram necessárias e cumpriu a função para qual foi produzida, contudo, uma estrutura mais profissional (equipamentos e programas de computador específicos melhoraria a qualidade da filmagem. Concluo então que para uma filmagem de melhor qualidade deve-se ter em mãos, equipamento destinado a isso.

O uso de aplicativos para aula à distância como zoom e Google meet, além de outros meios de comunicação pela rede foram essenciais para transmitir os conteúdos e manter motivados alunos e professor. São necessários equipamentos e uma transmissão pela rede que suporte a demanda tornando o contato dinâmico e motivador. Quedas e

paralisações da aula inviabilizam um bom aprendizado. Planejar é de suma importância. Muitos dos desafios foram criados pela improvisação, obrigatória, devido à adaptação as condições de trabalho. Evitar isso com objetivos bem determinados, eliminaria alternativas para seu cumprimento.

As atividades, a aula gravada; vídeos das demonstrações e momentos de interação entre os participantes proporcionam aos alunos um melhor entendimento dos conteúdos, bem demonstrado no desempenho deste, nos formulários pós em geral. O uso das demonstrações facilitou a transmissão do conceito resultando em uma maior participação nos momentos de interação nas aulas interferindo beneficemente no ensino-aprendizagem. A apresentação remota das demonstrações e conceitos mostrou-se boa alternativa de ensino. Porém, a apresentação presencial permitiria um manuseio dos instrumentos de ensino que o remoto não proporcionou.

Os professores de física podem utilizar este material, acrescentando em suas aulas mais um instrumento de ensino para ser utilizado na aplicação das aulas sobre dinâmica de rotação. Contribuindo e facilitando o aprendizado dos alunos. Novas pesquisas devem ser feitas comparando a aplicação deste material de forma presencial e remota, para analisar os fatores que mais contribuem com os acertos e erros dos alunos.

Aprofundar a prática com uso de autômatos, não só com kit da LEGO, como também com o Arduino e outras plataformas que permitam inserir os alunos nesta área de ensino. Pensando nesta perspectiva, ampliar as demonstrações envolvendo outros conceitos e/ou melhoria dos atuais, e seu uso de forma presencial, permitindo a comparação e aperfeiçoamento de ambas as estratégias. Desenvolvimento de material voltado a capacitação de professores, manual, que permita a utilização das demonstrações, como forma de auxiliar estes profissionais e seus alunos na compreensão de conteúdos mais sofisticados.

## Referências bibliográficas

ANDRADE, Marcelo Leandro Feitosa de; MASSABNI, Vânia Galindo. O desenvolvimento de atividades práticas na escola: um desafio para professores de ciências. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 17, n. 4, p. 835-854, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v17n4/a05v17n4.pdf>> DOI: doi:10.1590/S1516-3132011000400005.

AZEVEDO, D. A. **Dinâmica de rotação para o ensino médio com uso de demonstrações de baixo custo**. 2015. 95f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) Programa de Pós-graduação em Ensino de Física. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró-Rn , 2015.

BARTZIK, F.; ZANDER, L. D. A IMPORTÂNCIA DAS AULAS PRÁTICAS DE CIÊNCIAS NO ENSINO FUNDAMENTAL. *@rquivo Brasileiro de Educação*, v. 4, n. 8, p. 31-38, 26 mar. 2017.

BIZZO, Nelio. **Ciências: fácil ou difícil?** São Paulo: Biruta, 2009.158 p

BRASIL. Ministério da educação. **Base Nacional Comum Curricular**

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

BRASIL. Resolução Nº 3, de 21 de novembro de 2018. **Atualiza as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: MEC/ SEB. 2018

FOUREZ, G. Crise no Ensino de Ciências? **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 8. n2. P. 109- 123, janeiro, 2003

GAGNÉ, Robert Mills. **Como se realiza a aprendizagem**. 1ª edição. Rio de Janeiro: LTC; 1983. 270p

GLEISE, M. Por que ensinar Física? **Física nas escolas**, V 1, n.1, p. 4-5, outubro, 2000.

HAMBURGER, E. W.; GALEMBECK, F, et al. O ensino de Ciências e a Educação básica: Proposta para superar a crise. **Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, maio, 2008. (46p)

LINS, L. M. Educação, qualificação, produtividade e crescimento econômico: a harmonia colocada em questão. IN: II conferência do desenvolvimento code, 23 a 25 de Novembro, 2011, Brasília. **Anais** do I circuito de debates acadêmicos. Educação e desenvolvimento. Brasília. IPEA, 2011, p. 4

NUSSENVEIG, Herch Moyses. **Curso de Física Básica 1 – Mecânica**. 4ª ed. São Paulo: Edgard Blucher. 2002. 223p.

OLIVEIRA, F. F.; Vianna D. M. e Gerbassi, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, V. 29, n. 3, p.447-454, março,2007.

OLIVEIRA, Marta. Kohl. **Vygotsk: Aprendizado e desenvolvimento um processo sócio-histórico**. São Paulo. Scipione. 1997.108p

PERNAMBUCO. Secretaria de Educação e Esportes. Parâmetros para Educação Básica do Estado de Pernambuco- **Parâmetros Curriculares de Física para o Ensino Fundamental e Médio**. Recife-PE. 2012

PERNAMBUCO. Secretaria de Educação e Esporte. **Currículo de Pernambuco**. Ensino fundamental. Secretaria de Educação e Esporte, União dos dirigentes Municipais de Educação. Recife: A secretaria, 2019.

PERNAMBUCO. Secretaria Estadual de Educação. **Parâmetros Curriculares de Pernambuco - Reorganização Curricular Ensino Médio**. Recife-PE. 2019

PERUZZO, J. **Experimentos de Física básica: Mecânica**. 1ª ed. São Paulo: Livraria da Física,2012. 344p

PILETTI, Claudino. **Didática especial**. 6ª ed. São Paulo: Ática S.A, 1988.52p

PORTAL DO MEC. Acompanhamento de crianças com risco de evasão será intensificado. 5 de dez de 2018. Disponível em <portal.mec.gov.br> acesso em: 10 de dez de 2021.

RICARDO, E. C. & FREIRE, J. C. A. A concepção dos alunos sobre Física do ensino médio: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. V 29, n 2, p. 251-266, março, 2007.

SANTOS, A. & CANAVER, C. A importância do Ensino de Ciências na percepção dos alunos de escolas da rede pública de Criciúma - SC. **Revista Univap**. São José dos campos, V.17, n.30, p.68-80, dez, 2011

SILVA, Evaldo José.; CAVALCANTE, Paulo Roberto Nóbrega. A análise da escolaridade da população na riqueza dos municípios brasileiros In: XII congresso UFPE de Ciências Contábeis. Perspectiva para contabilidade e auditoria: Convergindo ou confundindo. **Anais**, Recife, 2018. P.1-14.

TODOS PELA EDUCAÇÃO. **Como a educação influencia o desenvolvimento econômico do Brasil?** 31 ago de 2018. Disponível em< todospelaeducacao.org. br>. Acesso em: 10 de out de 2020.

TIPLER, Paul Allen. **Física para engenheiros e cientistas V 1**. 6º ed. Rio de janeiro: LTC, 2011, 788p

VASCONCELLOS, Celso Santos. **Planejamento: Plano de ensino: Aprendizagem e projeto educativo**. 4ºed. São Paulo: Libertad, 1995.95p

XAVIER, Alessandra Silva e NUNES, Ana Ignês Belém Lima. **Psicologia do Desenvolvimento**. 4ª ed. rev. e ampl. Fortaleza: EdUECE, 2015,162p

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE**  
**FÍSICA MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM**  
**ENSINO DE FÍSICA**

DEMÉTRIUS LUCAS DE OLIVEIRA

**Ensino de conceitos relacionados à rotação dos corpos com uso de**  
**demonstrações utilizando o kit LEGO Mindstorms 9797 e materiais**  
**reutilizados**

Paulista – PE

jan de 2022

## **PRODUTO EDUCACIONAL**

**Ensino de conceitos relacionados à rotação dos corpos com uso de demonstrações utilizando o kit LEGO Mindstorms 9797 e materiais reutilizados**

DEMÉTRIUS LUCAS DE OLIVEIRA

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

Orientador: Prof<sup>º</sup>. Dr. Michael Lee Sundheimer

Paulista – PE

jan de 2022



4.0 Internacional

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e que licenciemos novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

## Sumário

1	<b>INTRODUÇÃO</b>	90
2	<b>APLICAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO</b>	92
3	<b>AULA 1 (CINEMÁTICA ANGULAR) DEMONSTRAÇÃO 1</b>	93
3.1	Objetivo	93
3.2	Aplicação da aula	93
3.3	Temas propostos	94
3.4	Demonstração	94
3.4.1	Materiais	94
3.4.2	Funcionamento da demonstração	95
3.5	Habilidades trabalhadas	101
3.6	Organização da aula	102
4	<b>AULA 2(QUANTIDADE DE MOMENTO ANGULAR DEMONSTRAÇÃO 2,3 E 5</b>	102
4.1	Objetivos	102
4.2	Aplicação da aula	103
4.3	Temas propostos	103
4.4	Demonstração	104
4.4.1	Materiais	104
4.4.2	Funcionamento das demonstrações	105
4.5	Habilidades	109
4.6	Organização da aula	109
5	<b>AULA 3 (CONSERVAÇÃO DO MOMENTO ANGULAR) DEMONSTRAÇÃO 4</b>	110
5.1	Objetivos	110
5.2	Aplicação da aula	111

5.3	Temas propostos	112
5.4	Demonstração	112
5.4.1	Materiais	112
5.4.2	Funcionamento das demonstrações	112
5.5	Habilidades trabalhadas	117
5.6	Organização da aula	117
6	<b>MONTAGEM</b>	119
	Referências bibliográficas	184

## Lista de figuras

	pg
Figura 1: Fotos das caixas de peças e do Brick do kit LEGO Mindstorms NXT 9797	92
Figura 2: autônomo da demonstração 1 colocado sobre a plataforma giratória	94
Figura. 3: sensor de luz. Responsáveis por medir os picos de luminosidade e brick	96
Figura 4: Painel do log de dados	97
Figura 5: resultado da demonstração com sensor de luz	97
Figura. 6: plataforma giratória das demonstrações um e dois.	98
Figura 7: Painel de programação do LEGO.	98
Figura 8 : Programação do robô demonstração 1	98
Figura 9 programações sensor de luz para captação dos picos luminosos	100
Figura 10: Resultados obtidos pelo professor e enviados ao log de dados e Intervalos de tempo dos picos luminosos	100
Figura 11: Demonstração cinco	105
Figura. 12: autônomo a demonstração três, base e plataforma para robô	107
Figura 13: programação do robô da demonstração três	108
Figura 14: Esquema para obtenção do vetor momento angular.	114
Figura 15: Demonstração quatro.	115
Figura 16: Hélice da demonstração quatro.	115
Figura 17: plataforma para o robô da demonstração quatro.	115
Figura 18: robô demonstração quatro.	116
Figura 19: Programação do robô da demonstração quatro	116

Lista de tabela

	pg
Tabela 1: etapas para apresentação dos conceitos	91

# 1 INTRODUÇÃO

Um dos problemas recorrentes nas escolas do Ensino Médio, principalmente as públicas, é o tratamento da Física e Matemática como Ciências abstratas, desvinculadas da realidade, desestimulando e desmotivando seu aprendizado (GLEISE, 2000, p.4). Para combater esta dificuldade, tentando dirimi-la, busca-se uma maneira alternativa de estudar um tema relevante da Física que suscite a curiosidade dos alunos e esteja no seu dia a dia, podendo ser visualizada de forma simples e direta pelos estudantes, sendo, por isso, respondidas facilmente suas dúvidas e indagações.

Este material é direcionado a professores de Física do ensino básico, como ferramenta para dinamizar suas aulas. Para a aplicação da proposta pedagógica foi escolhido o tema momento angular, tema relevante e por vezes omitido nos livros didáticos (AZEVEDO, 2015, p.20), tornando uma ferramenta, produto educacional, útil para o professor. Para isso, foi elaborada uma proposta de ensino do conteúdo momento angular, inserido no estudo da dinâmica de rotação, com demonstrações facilitadoras de aprendizagens, utilizando uma estratégia em concordância com a teoria da aprendizagem cumulativa desenvolvida por Robert Mills Gagné (1983), a teoria construtivista de Jean Wills Piaget e o sócio- interacionismo de Lev Miniovitch Vigotsk.

Há quatro práticas, envolvendo o uso de kit de robótica, kit LEGO Mindstorms NXT 9797, figura 1, para demonstração dos conceitos e uma como material motivador. Estas demonstrações abordam os conteúdos: movimento circular (demonstração 1), momento angular e inércia rotacional (demonstração 2 e 3) e conservação do momento angular (demonstração 2, 3 e 4). O material motivador é utilizado com os conteúdos momento angular e inércia rotacional. O material foi desenvolvido a partir de montagens que são disponibilizadas pelo material da LEGO adaptadas e/ou modificadas aos conceitos que são trabalhados. Não foram vistas montagens com estas características de montagens e conceitos, na leitura de materiais de estudo. Após a confecção dos robôs, estes foram testados e aprovados. Passado este momento, iniciamos a preparação das aulas. Abordamos de forma simples e objetiva utilizando teoria aliada as demonstrações, contextualizando o conteúdo. Espera-se com isso estimular a autonomia dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem. Para avaliação da eficácia da metodologia desenvolvida, há a aplicação de uma avaliação quantitativa utilizando a ferramenta Google formulário.

Todos os eventos ocorrem de forma remota, devido ao momento de exceção. As montagens e programações foram desenvolvidas pelo professor. As atividades com uso de material das demonstrações foram filmadas pelo professor e preparadas para apresentação. É importante enfatizar que todas as atividades deveriam ser preferencialmente presenciais. São utilizadas ferramentas para educação remota tais como plataforma educacional Google meet, vídeos, computadores e aparelhos celulares.

Tabela 1: etapas para apresentação dos conceitos.

FASE	EVENTO e FUNÇÃO	MATERIAL
1º-Aplicação do questionárioPré	Aplicação do formulário pré a osalunos para avaliação dos conhecimentos prévios.	Formulário de sondagem com questões para avaliar e relembrar os conteúdos que serão abordados nas aulas. Produzidos no aplicativo Google formulário
2º-Comentários do professor	Introdução aos conteúdos com comentários. O intuito é Motivar, descrever os objetivos e estimularlembranças referentes ao assunto.	Vídeos e /ou imagens motivadores, textos. Todo material que possa ser utilizado para conectar o aluno ao assunto.
3º-Aula	Vídeo aula, aula discursiva e apresentação das montagens.	Vídeo motivador e vídeo da demonstração.(montagem com kit LEGO)
4º- Comentários do Professor	Comentar os conteúdos vistos na aula, explicar os conceitos envolvidos nas imagens, vídeos motivadores e demonstrações . O intuito é desenvolver nos alunos conhecimentos que estes não desenvolveram, bem como, ajudá-los a atingirem novos saberes.	Vídeos e /ou imagens motivadores, textos. Todo material que possa ser utilizado conectar o assunto ao aluno

5º- Questionário Pós	Aplicação do formulário pós aos alunos para avaliação dos conhecimentos aprendidos durante as atividades.	Formulário de verificação com questões para avaliar a aprendizagem dos alunos. Produzidos no aplicativo Google formulário
----------------------	---	---

Fonte: própria

Figura 1: Fotos das caixas de peças e do Brick do kit LEGO Mindstorms NXT 9797



Fonte: Própria

## 2- APLICAÇÕES INSTRUMENTOS DO MATERIAL DIDÁTICO

Para as demonstrações há três autômatos construídos pelo professor, que depois de programados pelo professor, executaram determinados comandos. Esse conjunto de comandos permite que através dos efeitos provocados pelo funcionamento do robô haja uma visualização dos conceitos que são estudados. Também são utilizados instrumentos mais simples (demonstração 5), onde não é necessária montagem de um autômato e programação, corroborando para o objetivo da aula. O aparato montado tem a função de ser ferramenta de apoio a demonstração dos conteúdos. Busca da aquisição do conhecimento de forma ativa e crítica, pela atenção, participação ativa com perguntas, pesquisas sobre o conteúdo e respostas aos formulários. Desenvolver a autonomia dos alunos; motivando-os a buscar novos conhecimentos, ajudando a construir seus conhecimentos. Isto está em concordância com as teorias construtivistas que nortearam esta pesquisa.

### **3 AULA 1 (CINEMÁTICA ROTACIONAL) DEMONSTRAÇÃO 1**

Público-alvo: Alunos dos 3º anos do ensino médio Tempo estimado: Duas h/a (100 minutos)

#### **3.1 Objetivo:**

O objetivo desta demonstração é auxiliar o aluno na compreensão dos conceitos básicos do movimento circular, permitindo que novos conceitos possam ser entendidos, um aprendizado cumulativo (GAGNÉ, 1983). O conteúdo da cinemática angular são pré-requisitos para a compreensão da dinâmica de rotação. Isto está de acordo com as ideias de Gagné sobre o aprendizado. Além disso, com as situações vivenciadas pelos estudantes no dia a dia, espera-se que ao final da demonstração, os participantes da aula alcancem um aprendizado significativo dos temas propostos, ou seja, faça relação com conhecimentos prévios. Trabalhando os conhecimentos prévios dos alunos e atuando o docente como mediador para que o discente desenvolva novos saberes. Com o contato com novo conhecimento ocorrerá uma adaptação aos novos saberes, um processo necessário para o desenvolvimento do aluno (XAVIER, 2015, P. 21- 22 ). A atuação do professor como mediador entre o saber desenvolvido e o amadurecimento de um novo é essencial para aprendizado do discente.

#### **3.2- Aplicação da aula**

O primeiro encontro tem Como intuito promover uma aula mais prazerosa sobre o conceito, rotações, com base nas ideias de Gagné (1983). Há a necessidade de investigar os conhecimentos prévios dos alunos. Para isso é realizada antes da exposição do conteúdo, uma pesquisa na busca de aferir os saberes dos alunos a respeito do tema. O professor deve atuar desestruturando o equilíbrio cognitivo, auxiliando na adaptação (XAVIER, 2015, P.21-22). Bem como, atuar na ZDP (OLIVEIRA, P.60) destes. A seguir é iniciada a apresentação de conceitos introdutórios ao assunto, repassados através de vídeo, dividido em dois momentos:

- 1- Apresentação de vídeos e imagens para promover a curiosidade do aluno.
- 2- Apresentação de conceitos referentes ao conteúdo.

Após este momento há apresentação de um vídeo da demonstração 1 para que os alunos tenham contato com uma demonstração da aplicação do conceito e tenham condições de trabalhando os conceitos desenvolverem novos e duradouros saberes.

### **3.3 Temas propostos:**

- Conceito de rotação
- Rotação X translação
- Espaço e deslocamento angular
- Período e frequência

### **3.4 Demonstração**

#### **3.4.1- Materiais**

Para demonstrar alguns conceitos introdutórios relacionados a rotações é utilizado a demonstração 1. Este é constituído de Quatro partes para sua montagem

- 1- Um autômato figura 2, montado a partir do kit LEGO Mindstorms NXT sendo constituído de várias peças que são mostradas no esquema de sua montagem.
- 2- Um sensor de luz e um tijolo, figura 3.
- 3- Uma plataforma giratória, figura 6, constituída a parti dos materiais conforme o esquema de sua montagem.
- 4- Um computador, com o programa do LEGO Mindstorms NXT 9797 para recolher os dados captados pelo sensor de luz.

Figura 2: autônomo da demonstração 1, colocado sobre a plataforma giratória. Ao dar um impulso na plataforma esta inicia um movimento giratório. Dependendo da posição do autômato o conjunto tem diferentes períodos de revolução.



Fonte: Própria

### 3.4.2 Funcionamento da demonstração

- 1- Montagem e programação do autômato e sensor de luz.
- 2- Montagem da plataforma giratória.
- 3- Colocar o robô no centro da plataforma.
- 4- Acionar o autônomo.
- 5- Acionar o sensor de luz. Este deve ser acionado, ao mesmo tempo, em que o robô.
- 6- Impulsionar a plataforma para que ela gire.
- 7- Esperar o tempo necessário para que o robô efetue passagens pelo sensor de luz.  
Indicamos o tempo da programação mostrada neste produto.
- 8- Esperar o sensor de luz desligar.
- 9- Conectar o computador com o sensor de luz para retirada dos dados.
- 10- Abrir o programa NXT 2.1 Data Logging no computador para análise dos dados do sensor.

Durante o movimento da plataforma o robô após acionado inicia um movimento de ida a borda do círculo, permanece por um tempo, determinado na programação, figura 9, e retorna ao centro do círculo, onde permanece parado (repouso) por um tempo, determinado na programação. O autônomo repete este movimento de acordo com a programação, a interface de programação do LEGO Mindstorms NXT 9797 é vista na figura 8. Ao permanecer no centro e na borda do círculo (parado), um sensor de luz colocado na frente do conjunto, plataforma e robô, figura (colocar) capta a luz refletida em um espelho colocado à frente do robô. Isto ocorre em toda passagem do robô pelo sensor havendo maior captação de luz (picos). A luz refletida é emitida pelo sensor. Quanto menor a luminosidade do ambiente melhor é a captação da luz refletida. Após a captação dos dados, o sensor desliga. O tempo de funcionamento é determinado na programação, e os dados são coletados do microcontrolador do sensor e transferidos ao computador com o programa LEGO Mindstorms NXT 9797 instalado. Sendo então visualizados no log de dados no software da LEGO figura 5, que permite análise e interpretação através de gráficos dos picos de luminosidade em função do tempo, figura 6. Com estes dados é possível encontrar os períodos de rotação da plataforma, em dois momentos primeiro quando o carrinho se encontra próximo ao eixo de rotação e segundo próximo às bordas da plataforma. Os resultados são analisados e preparados para sua apresentação para os alunos.

A partir do período de revolução podemos obter a frequência pela seguinte

relação

Também podemos encontrar a velocidade angular pela fórmula:

Encontramos ainda a velocidade linear do centro de massa pela fórmula:

$$v = \omega R. \quad (\text{Eq.3})$$

O gráfico produzido pelo log de dados do LEGO com picos de luminosidade e tempo dos períodos é mostrado na figura 6.

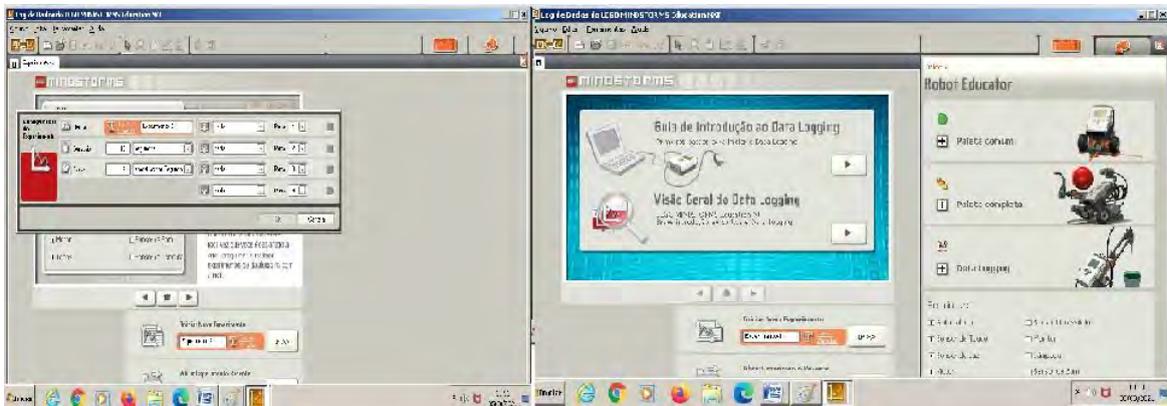
A obtenção dos períodos independe da posição do robô na plataforma. Porém, é interessante, pois dá a oportunidade de indiretamente chamar a atenção para um fenômeno que será estudado na aula posterior. O movimento do robô pela plataforma tem o efeito de alterar o período, pois há alteração da velocidade angular devido à alteração de sua inércia rotacional, a depender da posição do carrinho, em relação ao eixo de rotação.

Figura. 3: sensor de luz. Responsáveis por medir os picos de luminosidade e brick com processador responsável por controlar o sensor de luz e armazenar os dados para produção dos gráficos.



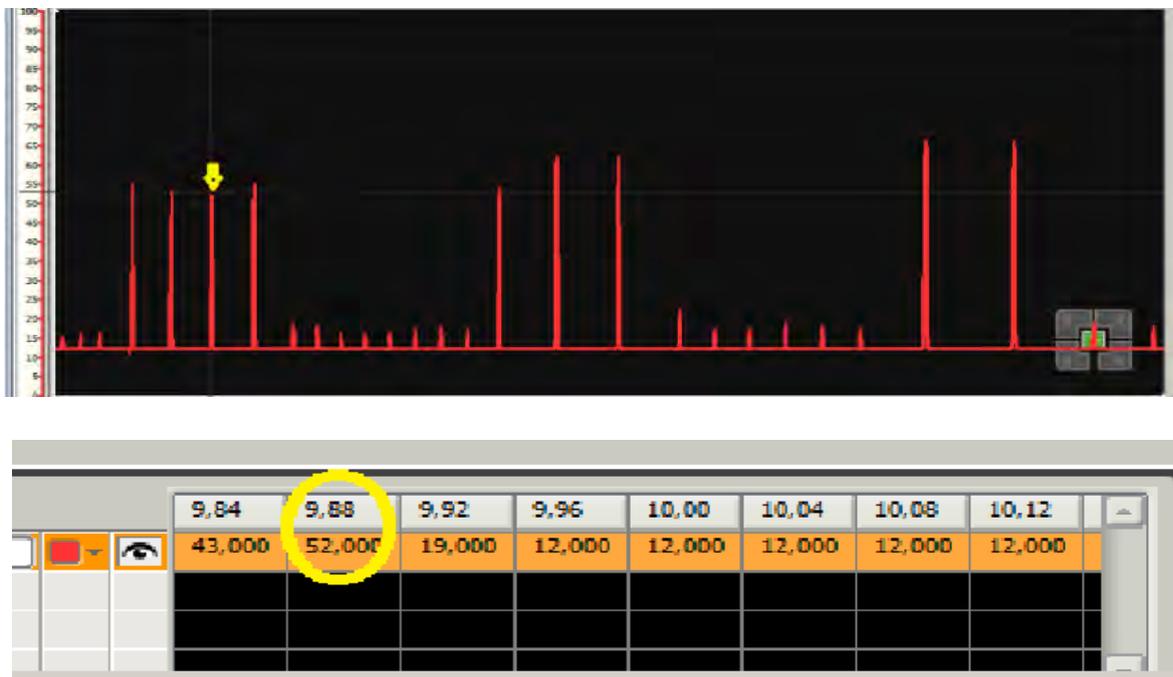
Fonte: Própria

Figura 4: Painel do log de dados. Neste painel é possível configurar o log de dados. Programando o sensor de luz. Permitindo a produção do gráfico dos picos de luz.



Fonte: Própria

Figura 5: resultado da demonstração com sensor de luz. Gráfico produzido pelos dados da luminosidade captada pelo sensor de luz. Abaixo vemos os intervalos de tempo entre os picos luminosos. Com os intervalos de tempo é possível calcular os períodos.



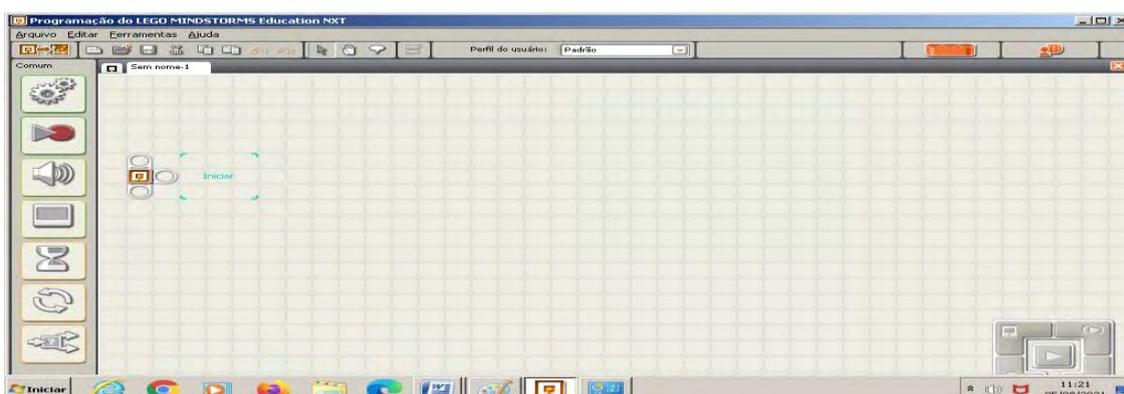
Fonte: Própria

Figura. 6: plataforma giratória das demonstrações um e dois



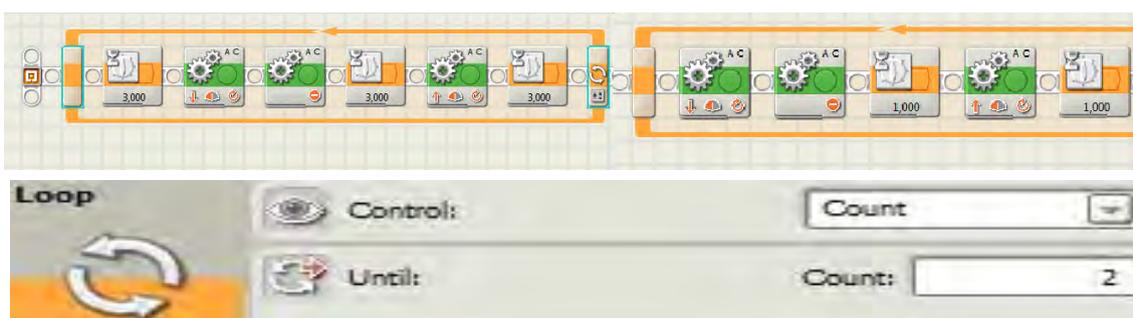
Fonte: Própria

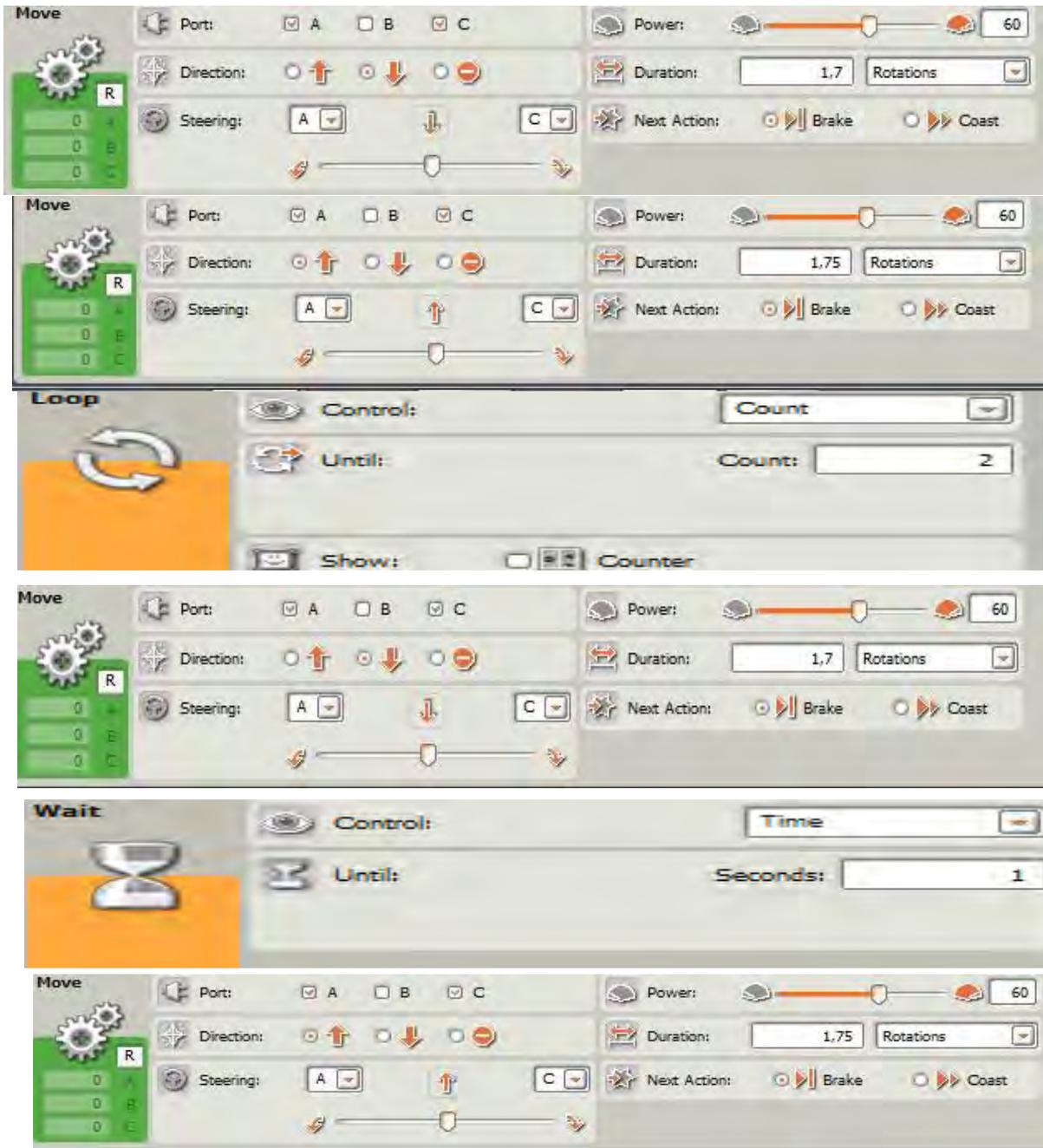
Figura 7: Painel de programação do LEGO. Através deste painel é possível programar o robô para executar determinados movimentos que viabilizam as demonstrações dos conteúdos.



Fonte: Própria

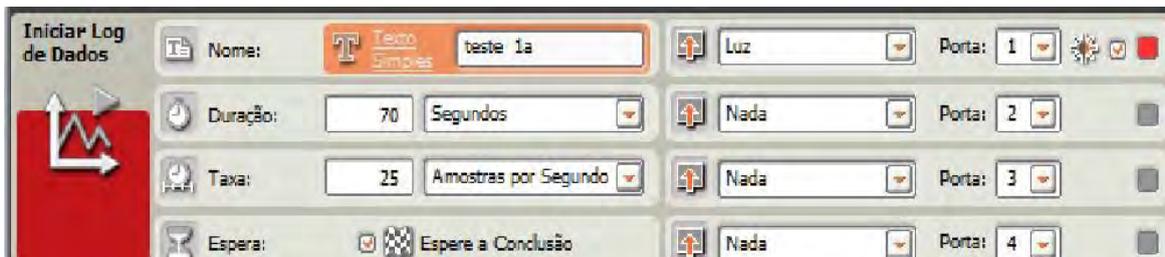
Figura 8. : Programação do robô demonstração 1. Através desta o autômato executa o movimento para desenvolver a demonstração





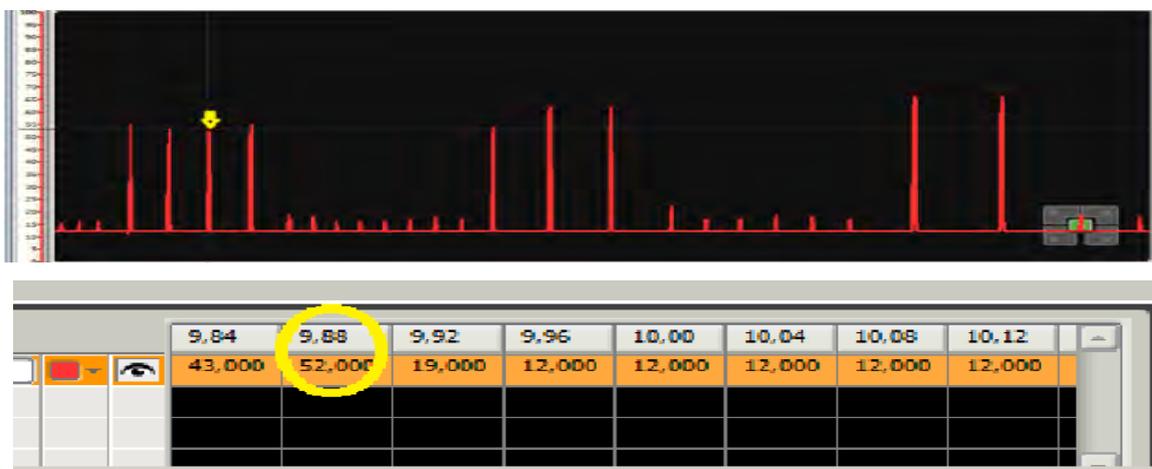
Fonte: Própria

Figura 9 programações sensor de luz para captação dos picos luminosos. A programação é feita no painel de controle do log de dados.



Fonte: Própria

Figura 10: Resultados obtidos pelo professor e enviados ao log de dados e Intervalos de tempo dos picos luminosos



Fonte: Própria

De posse dos intervalos entre os picos luminosos temos o período de uma revolução. Finalizando a observação da demonstração os alunos vêem os resultados da demonstração, no vídeo produzido. Reconhecendo o movimento e os conceitos propostos na demonstração, relacionando com o movimento do conjunto e generalizando a outros similares

### **3.5 Habilidades trabalhadas**

- Conceituar rotação
- Diferenciar: Rotação X translação
- Conceituar e diferenciar espaço e deslocamento angular
- Conceituar e diferenciar período e frequência
- Conceituar centro de massa
- Conceituar e diferenciar velocidade linear e angular

### **3.6 Organização da aula**

Teve como base a teoria da aprendizagem acumulativa (Gagné)

Desenvolvimento da Aplicação da aula um.

Antes de iniciar a aula expositiva os alunos são convidados a responder um formulário com perguntas sobre o conteúdo. Eles responderão a sete questões aplicadas no Google formulário.

Preparação

1ª parte (Motivar): Apresentação de vídeo e imagens motivadoras que tragam a memória o tema a ser trabalhado.

2ª parte (Descrever os objetivos): Descrever o que vai ser visualizado no vídeo e o que deve ser aprendido.

3ª parte (Estimulação de lembranças), ocorrência deste fenômeno e seus usos no cotidiano. Relacionar com a demonstração (vídeo)

## Desempenho

1ª parte (Apresentação do material): Os alunos assistem a um vídeo, aula sobre o conteúdo

2ª parte (Orientar aprendizagem): Direcionar através do vídeo aula o aprendizado dos conteúdos.

3ª Parte (Propiciar desempenho): Feito pela visualização das demonstrações e através de atividades remotas pelo Google formulário.

4ª parte (dar feedback): Feito através do Google formulário.

## Transferência do conhecimento

1ª parte (Avaliar o desempenho) A atenção aos comandos, cumprimento dos objetivos, respostas em tempo hábil, entrega dos exercícios enviados no Google formulários são modos de avaliar o desempenho. O meio escolhido para obter dados do aprendizado foi o Google formulário, sete questões.

2ª parte (generalização) Aplicação do conhecimento outras situações (fenômenos) do cotidiano. Podendo ser atingido por rodas de debates e/ou atividades remotas.

## **4 AULA 2 (QUANTIDADE DE MOVIMENTO ANGULAR) - DEMONSTRAÇÕES 2,3 e 5**

Público-alvo: Alunos dos 3º anos do ensino médio

Tempo estimado: Duas h/a (100 minutos)

### **4.1 Objetivo:**

O objetivo desta demonstração é auxiliar o aluno na compreensão dos conceitos básicos sobre momento angular e de inércia. Permitindo que novos conceitos possam ser aprendidos, além da promoção e acomodação dos conceitos vistos nas aulas anteriores, rememorando conceitos trabalhados e adicionando novos. Também é esperado o vínculo com situações

vivenciadas pelos estudantes no dia a dia, ao final da demonstração os participantes da aula devem alcançar um aprendizado significativo. O aprendizado dos conceitos da aula anterior também são subsídios para novos aprendizados, sendo habilidades que são necessárias para obtenção de outras mais sofisticadas (GAGNÉ, 1983). O professor atuará auxiliando na obtenção de novos esquemas mentais, uma adaptação, necessária para desenvolvimento cognitivo (Piaget, 1983).

## **4.2 Aplicação da aula**

Como nas primeiras aulas, havia o intuito de promover uma aula mais prazerosa sobre o conceito momento angular, com base nas idéias de GAGNÉ (1983). Há a necessidade de investigar os conhecimentos prévios dos alunos, para isso é realizada antes da exposição do conteúdo, uma pesquisa na busca de aferir os saberes dos alunos a respeito do tema. A seguir ocorre a apresentação de conceitos introdutórios ao assunto, repassados através de vídeo, dividido em dois momentos:

- 1- Apresentação de vídeos e imagens para promover a curiosidade do aluno.
- 2- Apresentação de conceitos referentes ao conteúdo.

Após este momento há apresentação de dois vídeos com as demonstrações (dois e três) para que os alunos tenham contato com uma demonstração da aplicação do conceito e tenham condições de trabalhando os conceitos desenvolverem novos e duradouros saberes.

## **4.3 Temas propostos:**

- Momento de inércia
  - Conceito
  - Fórmula
  - Variação

- Exemplo

- Momento angular

Conceito

Fórmula

Exemplo

## 4.4 Demonstrações

### 4.4.1- Materiais

Para demonstrar alguns conceitos introdutórios relacionados a momento angular são utilizadas as demonstrações 2, 3 e 5.

-Demonstração dois

Constituída de duas partes para sua montagem:

- 1- Um autômato, figura 2 montado a partir do kit Mindstorms NXT da LEGO sendo constituído de várias peças que são mostradas no esquema de sua montagem.
- 2- Uma plataforma giratória, figura 7, constituída a parti dos materiais conforme o esquema de sua montagem.

Demonstração três

Constituída de duas partes para sua montagem:

- 1- Um autônomo, figura 13, montado a partir dos kits Mindstorms NXT da LEGO sendo constituído de várias peças que são mostradas no esquema de sua montagem.
- 2- Uma plataforma giratória, figura 13, constituída a parti dos materiais conforme o esquema de sua montagem.

## Demonstração cinco

- 1- Dois cilindros vazados, figura 11
- 2- Rampa inclinada, figura. 11

### 4.4.2 Funcionamento das demonstrações

Para demonstrar conceitos relacionados a momento angular e momento de inércia são utilizadas as demonstrações 2, 3 e 5.

A demonstração cinco, figura 11, o primeiro a ser utilizado.

- 1- Montagem da rampa para deslocamento do cilindro
- 2- Os cilindros são colocados em um mesmo ponto no topo da plataforma. São abandonados, percorrendo a plataforma.

A questão a responder é: como objetos de mesma massa e formato têm velocidades diferentes na demonstração? Esta demonstração é utilizada como vídeo motivador, antes de os conteúdos serem trabalhados.

Figura 11: Demonstração cinco. Dois cilindros são colocados para descer um plano inclinado. Os cilindros apresentam a mesma massa, porém, a distribuição da mesma é diferente em cada cilindro como observado na foto.



Fonte: Própria

A demonstração dois

- 1- Montagem e programação do robô, montagem da plataforma giratória.
- 2- Colocar o robô no centro da plataforma.
- 3- Acionar o robô.
- 4- Impulsionar a plataforma.
- 5- Observar o movimento do robô e da plataforma.

Na demonstração (dois), o robô está apoiado sobre plataforma giratória sendo impulsionada para observar as alterações do movimento do conjunto (autômato + plataforma). É importante que o aluno perceba que a fórmula:

$$I = \sum m r^2 \text{ (Eq.4)}$$

O momento de inércia de um corpo tem um significado real, visível, na demonstração. Ao se mover o robô pela plataforma a massa do sistema é redistribuída. Porém, permanece constante a massa total, havendo um deslocamento de parte desta massa em relação ao eixo de rotação. Quanto mais afastada deste eixo o robô está, maior é o valor da inércia rotacional. Ao retornar ao centro da plataforma ocorria uma aproximação do centro de massa do eixo de rotação diminuindo seu momento de inércia, facilitando o movimento giratório. É importante chamar atenção dos discentes quanto à relação entre  $I$  (inércia rotacional) e  $r$  (distância do eixo ao corpo (partícula) ao dobramos “ $r$ ”, “ $I$ ” tem seu valor quadruplicado, pois “ $r$ ” está ao quadrado na fórmula. Também relacionamos a variação deste com a velocidade angular, chamando a atenção para a relação de proporcionalidade entre as grandezas, estas são inversamente proporcionais, como visto na fórmula da Eq. 5.

$$L = I. \omega. \quad \text{(Eq.5)}$$

Demonstração três

- 1- Montagem da plataforma e robô. Programação do robô.
- 2- Fixar o robô na plataforma.
- 3- Acionar o autônomo.

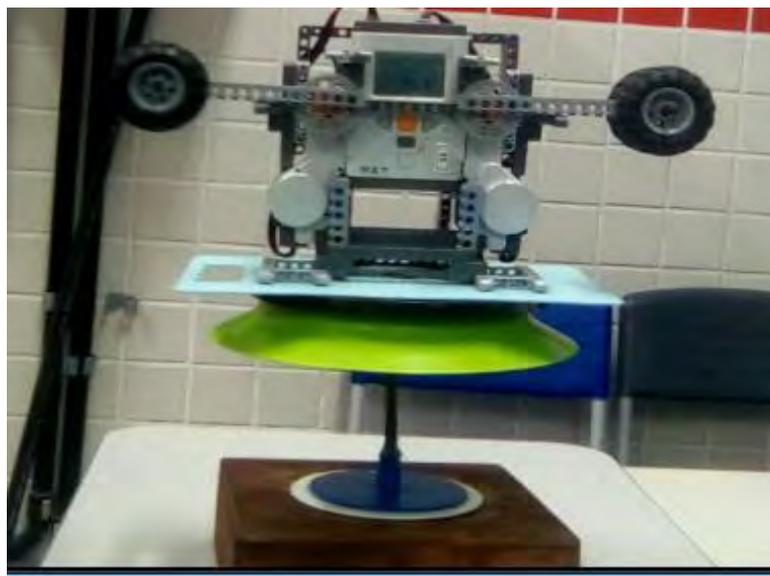
- 4- Impulsionar a plataforma.
- 5- Observar o movimento da plataforma e do robô.
- 6- Esperar o término da ação do robô.

O robô da demonstração três movimenta seus braços, conforme programação, figura14, alterando seu centro de massa. Alterando seu momento de inércia, aumentando ao abrir os braços e diminuindo ao recolher os mesmos. A relação com o momento angular se dará após uma breve análise da fórmula pelo aluno, se não, o professor deve demonstrá-la.

$$L = I. \omega \text{ (Eq.5)}$$

Demonstra que qualquer alteração do valor de  $I$ , mantendo-se  $L$  constante (torques resultantes nulos) levará a uma variação de  $\omega$  de forma inversamente proporcional, um aumento de  $I$  corresponde a uma diminuição do valor de  $\omega$  e vice-versa. Explicando assim o fenômeno observado.

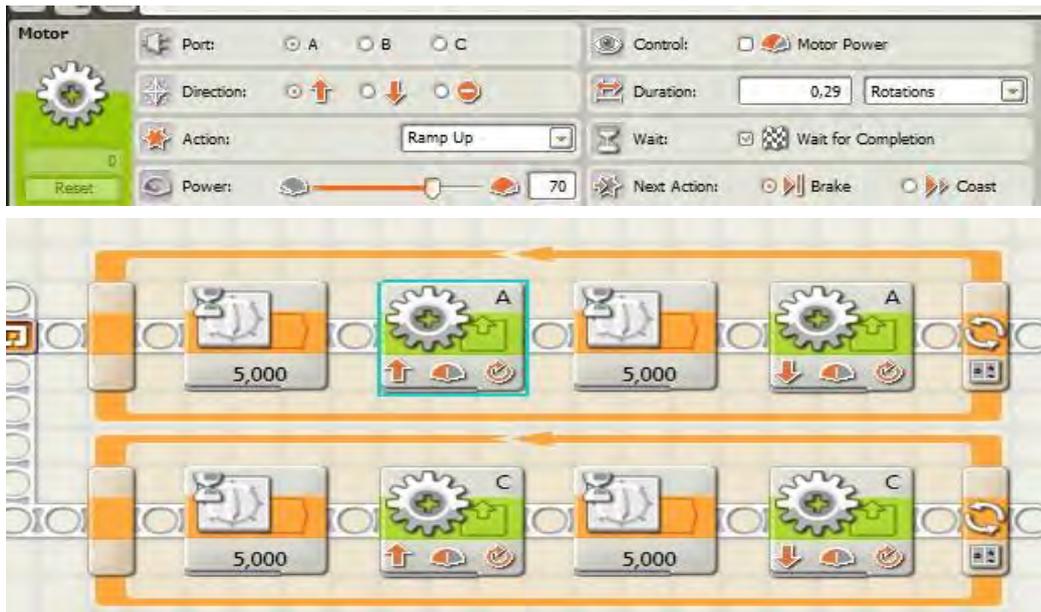
Figura. 12: autônomo (demonstração três), base e plataforma para robô. Ao recolher ou estender os braços o autômato altera seu momento de inércia. Isto pode ser percebido pela alteração da velocidade angular.



Fonte: Própria

Figura 13: programação do robô da demonstração três. Esta programação coordena os movimentos dos braços do robô da demonstração.





Fonte: Própria

A demonstração utilizada na aula um foi adaptada com a retirada do espelho e do sensor de luz. Teve como foco a observação da relação entre a distribuição da massa na plataforma e o momento de inércia. A dinâmica da demonstração foi pensada para que os discentes observassem como diferentes posições do objeto na plataforma alteram a percepção do movimento (velocidade angular) A demonstração foi adaptada para compreensão do momento de inércia, e como se da sua variação, bem como isto afeta a velocidade angular. É utilizada a mesma programação da demonstração um, figura 9.

#### 4.5 Habilidades trabalhadas

- Conceituar momento de inércia.
- Analisar a fórmula do momento de inércia.
- Reconhecer momento de inércia nos diferentes fenômenos.
- Exemplificar momento de inércia.
- Conceituar momento angular.
- Analisar a fórmula do momento angular.
- Exemplificar momento angular.

#### 4.6 Organização da aula

Teve como base a teoria da aprendizagem acumulativa (Gagné) Desenvolvimento

da Aplicação da aula dois

Antes de iniciar a aula expositiva os alunos são convidados a responder um formulário com perguntas sobre o conteúdo. Eles responderão a cinco questões aplicadas no Googleformulário.

Preparação

1ª parte (Motivar): debate e apresentação de vídeos e imagens motivadores que tragam amemória o tema a ser trabalhado.

2ª parte (Descrever os objetivos): Descrever o que vai ser visualizado no vídeo e o que deve ser aprendido.

3ª parte (Estimulação de lembranças) A ocorrência deste fenômeno e seus usos no cotidiano.Relacionar com as demonstrações (vídeo).

Desempenho

1ª parte (Apresentação do material): Os alunos assistem a vídeo (aula) sobre o conteúdo

2ª parte (Orientar aprendizagem): Direcionar através do vídeo (aula) o aprendizado dos conteúdos.

3ª Parte (Propiciar desempenho): Feito pela visualização das demonstrações e através deatividades remotas pelo Google formulário.

4ª parte (dar feedback): Feito através do Google formulário.

Transferência do conhecimento:

1ª parte (Avaliar o desempenho) A atenção aos comandos, cumprimento dos objetivos, respostas em tempo hábil, entrega dos exercícios enviados no Google formulários são modosde avaliar o desempenho. O meio escolhido para obter dados do aprendizado foi o Google formulário, cinco questões.

2ª parte (Generalização) Aplicação do conhecimento as outras situações (fenômenos) do cotidiano. Podendo ser atingido por rodas de debates e/ou atividades remotas.

## **5 AULA 3 (CONSERVAÇÃO DO MOMENTO ANGULAR) - DEMONSTRAÇÕES 4**

Público-alvo: Alunos dos 3º anos do ensino médio Tempo estimado: Duas h/a (100 minutos)

## **5.1 Objetivo**

O objetivo desta demonstração é auxiliar o aluno na compreensão dos princípios da conservação do momento angular, em especial sua vetorização. Além da promoção do debate entre os alunos e vincular com situações que podem ser vivenciadas pelos estudantes no dia a dia, espera-se que ao final da demonstração os participantes da aula alcancem um aprendizado significativo dos temas propostos. Estes são saberes que necessitam dos trabalhados nas aulas anteriores para serem alcançados (Gagné. 1983). Para Piaget além dos conhecimentos prévios é necessário o desenvolvimento neurofisiológico sem os quais não há o aprendizado. Alguns alunos podem necessitar um tempo maior para compreender este conceito. Para Vygotsky o papel do professor é atuar mediando entre o que o aluno já sabe e o que ele pode aprender com auxílio do professor, as intervenções do professor são fundamentais (Oliveira, 1997).

## **5.2 Aplicação da aula**

Neste encontro abordaremos a conservação do momento angular resgatando conceitos, seus aspectos práticos e teóricos. Como nas aulas anteriores, havia o intuito de promover uma aula mais prazerosa sobre o conceito, conservação do momento angular, com base nas idéias de GAGNÉ (1983). Há a necessidade de investigar os conhecimentos prévios dos alunos, para isso é realizada antes da exposição do conteúdo, uma pesquisa na busca de aferir os saberes dos alunos a respeito do tema. A seguir ocorre a apresentação de conceitos introdutórios ao assunto repassado através de vídeo, dividido em dois momentos:

- 1- Apresentação de vídeos e imagens para promover a curiosidade do aluno.
- 2- Apresentação de conceitos por meio virtual, referentes ao conteúdo.

Após este momento há apresentação de um vídeo com a demonstração quatro para

que os alunos tenham contato com uma demonstração da aplicação do conceito e tenham condições de trabalhando os conceitos desenvolverem novos e duradouros saberes. Lembremos que os conteúdos necessários para a compreensão deste item já haviam sido transmitidos, necessitando ser rememorados e ampliados.

### **5.3 Temas propostos:**

- Conservação do momento angular
  - Conceito
  - Princípios

### **5.4- Demonstração**

#### **5.4.1 Materiais**

Para demonstrar alguns conceitos introdutórios relacionados à conservação do momento angular é utilizada a demonstração quatro. Este é constituído de duas partes para sua montagem:

- 1- Um autômato figura 17 montado a partir do kit Mindstorms NXT da LEGO sendo constituído de várias peças que são mostradas no esquema de sua montagem.
- 2- Uma plataforma giratória, figura 19, constituída a parti dos materiais conforme o esquema de sua montagem.

#### **5.4.2 Funcionamento da demonstração**

- 1- Montagem do robô e plataforma. Programação do autômato.
- 2- Fixar o robô a plataforma.
- 3- Acionar o robô.
- 4- Acionar as hélices.
- 5- Observar o funcionamento do autônomo e movimento da plataforma.
- 6- Desligar as hélices.

Para demonstrar o conceito, conservação do momento angular, é utilizada a demonstração quatro, pois neste, podemos observar a mudança de sentido do giro da plataforma e relacionar esta mudança a alteração do sentido do vetor momento angular. A demonstração consiste em um autômato, robô da LEGO, montado especificamente para demonstrar este conceito, adaptado de montagens disponibilizadas pelo manual. Ao acionar o robô e suas hélices, figura 18. As hélices iniciam um movimento rotatório em torno de um eixo, para compensar o movimento das hélices, a plataforma inicia um movimento em sentido oposto ao giro das hélices, este fenômeno também pode ser observado em uma furadeira. O autômato ao movimentar seus braços, através de dois motores inverte o sentido do vetor momento angular o que provoca um movimento da plataforma giratória para compensar a inversão do movimento (hélices), invertendo o sentido de giro da plataforma. Com isso a soma dos vetores de mesmo módulo, direção e sentidos contrários é zero. A observação destes movimentos, da hélice e da plataforma, permite a visualização dos princípios da conservação do momento angular.

A fórmula

$$L = I \cdot \omega, \quad (\text{Eq.5})$$

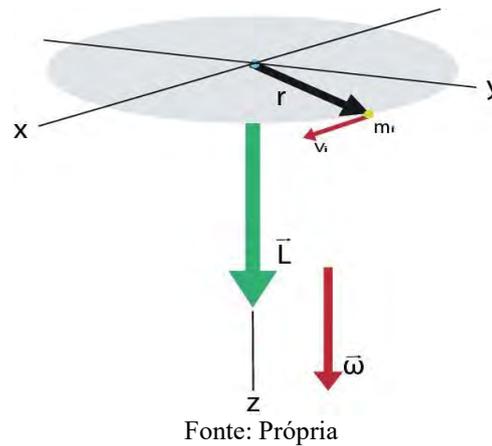
Quando L é constante, pode ser assim analisada:

$$I_1 \cdot \omega_1 = I_2 \cdot \omega_2 = I_3 \cdot \omega_3 \dots = I_n \cdot \omega_n \quad (\text{Eq.6})$$

Esta relação só é possível, pois a soma dos torques externos é zero. É importante citar que o torque é para o momento angular o que a força é para o momento linear, se a força resultante é diferente de zero, haverá variação da velocidade ( $\Delta v \neq 0$ ), se  $F_R = 0$ , então  $\Delta v = 0$ . Como estamos trabalhando com L (momento angular) constante, então  $T_R = 0$  e  $\Delta \omega = 0$ . Lembramos que as demonstrações são uma idealização (aproximação) do ideal, pois tomamos como um princípio, que o torque externo é desprezível. Então é iniciada a apresentação de conceitos introdutórios repassados através do vídeo (aula) e a apresentação de uma demonstração para que estes tivessem contato com aplicação do conceito. Esta demonstração ajuda a percepção de um aspecto importante, o momento angular é uma grandeza vetorial, como determinar o vetor? Isto pode ser feito pela fórmula (módulo), mas é necessário determinar a direção e sentido. Estes são

determinados junto com a velocidade angular ( $\omega$ ) relembro a aula um. Utilizaremos a já trabalhada regra da mão direita figura 16:

Figura 14: Esquema para obtenção do vetor momento angular. Para achar a direção e sentido do momento angular utilizamos a regra da mão direita. Com os dedos girando no sentido do deslocamento. O dedo opositor indica a direção e sentido do vetor momento angular e velocidade angular.



Observando a figura 16, com o dedo indicador da mão direita na direção de  $r$  e o polegar perpendicular a este, girando os dedos no sentido da velocidade linear (giro) o sentido e a direção do polegar indicam a direção e sentido da velocidade angular e do momento de angular

Figura 15: Demonstração quatro. O robô ao ser acionado movimentou seus braços para cima e para baixo. Alterando o sentido do vetor momento angular.



Fonte: Própria

Figura 16: Hélice da demonstração quatro. Ao girar a um correspondente momento angular. A plataforma inicia um giro no sentido contrário buscando conservar o momento angular.



Fonte: Própria

Figura 17: plataforma para o robô da demonstração quatro



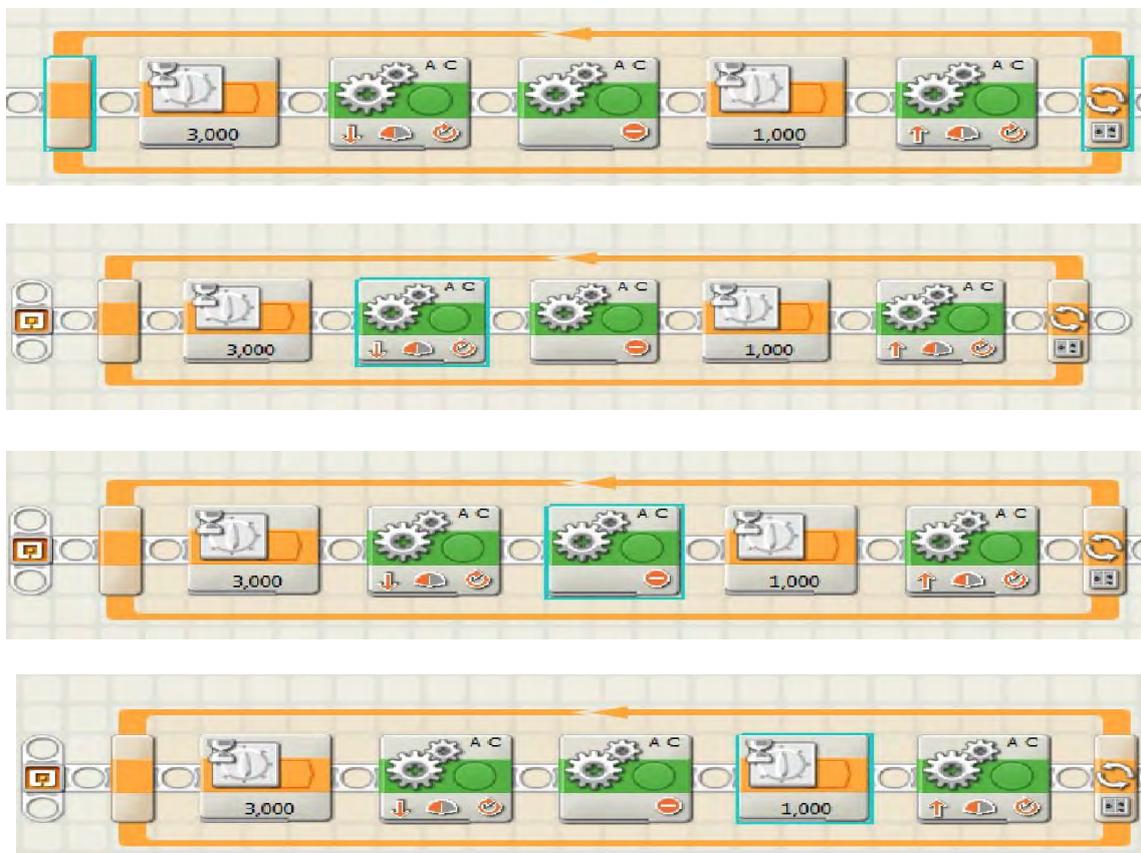
Fonte: Própria

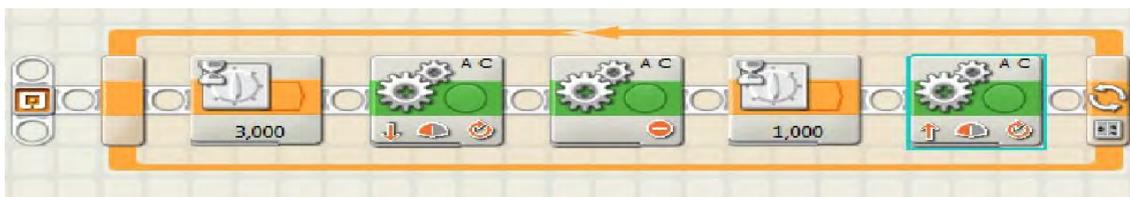
Figura 18: robô demonstração quatro



Fonte: Própria

Figura 19 Programação do robô da demonstração quatro. Ao executar o programa abaixo o robô executao movimento que permite a observação do movimento.





Fonte: Própria

## 5.5 Habilidades trabalhadas

- Conceituar conservação do momento angular.
- Enumerar e reconhecer os Princípios que regem a conservação do momento angular.
- Reconhecer em fenômenos do dia a dia a conservação do momento angular.

## 5.6 Organização da aula

Teve como base a teoria da aprendizagem acumulativa (Gagné).

Antes de iniciar a aula expositiva os alunos são convidados a responder um formulário com perguntas sobre o conteúdo. Eles responderão a sete questões aplicadas no Google formulário.

Preparação

1ª parte (Motivar): debate e apresentação de vídeos e imagens motivadores que tragam a memória o tema a ser trabalhado.

2º parte (Descrever os objetivos): Descrever o que vai ser visualizado no vídeo e o que deve ser aprendido.

3ª parte (Estimulação de lembranças) A ocorrência deste fenômeno e seus usos no cotidiano. Relacionar com a demonstração (vídeo).

Desempenho

1ª parte (Apresentação do material): Os alunos assistem a um vídeo (aula) sobre o conteúdo.

2ª parte (Orientar aprendizagem): Direcionar através do vídeo (aula) o aprendizado dos conteúdos.

3ª Parte (Propiciar desempenho): Feito pela visualização das demonstrações através de atividades remotas pelo Google formulário.

4ª parte (dar feedback): Feito através do Google formulário.

#### Transferência do conhecimento

1ª parte (Avaliar o desempenho) A atenção aos comandos, cumprimento dos objetivos, respostas em tempo hábil, entrega dos exercícios enviados no Google formulários são modos de avaliar o desempenho. O meio escolhido para obter dados do aprendizado foi o Google formulário, cinco questões.

2ª parte (Generalização) Aplicação do conhecimento as outras situações (fenômenos) do cotidiano. Podendo ser atingido por rodas de debates e/ou atividades remotas.

## 6. MONTAGEM

**Carro da demonstração 1( com espelho) e demonstração 2( sem espelho) para estudo do movimento circular e inércia rotacional, momento angular respectivamente.**

1º passo



2º passo:



3º passo:



4º passo:



5° passo:



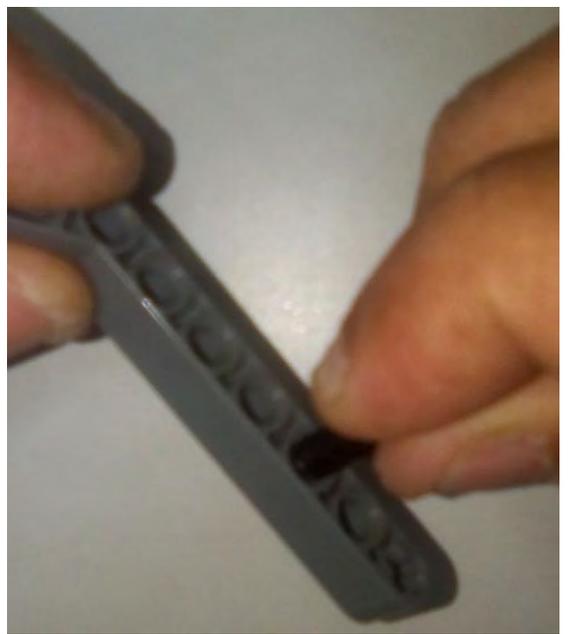
6° passo:



7° passo:



8° passo



9° passo



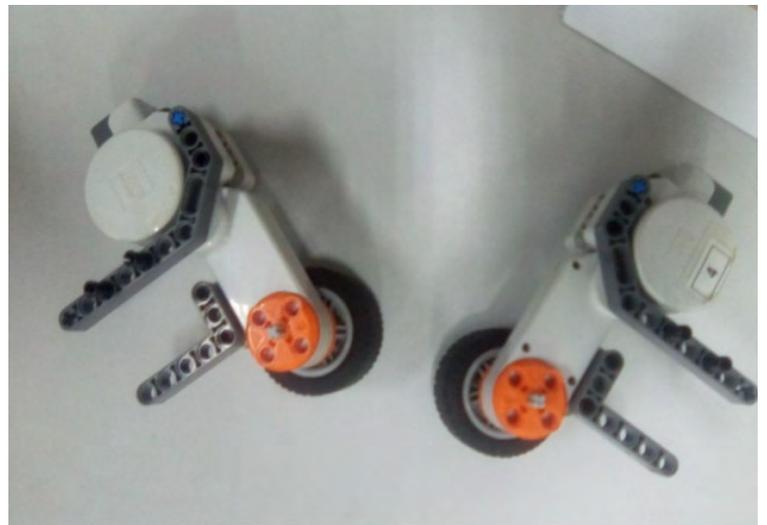
10° passo:



11° passo:



12° passo:



13° passo:



14° passo:



15° passo:



16° passo:



17° passo:



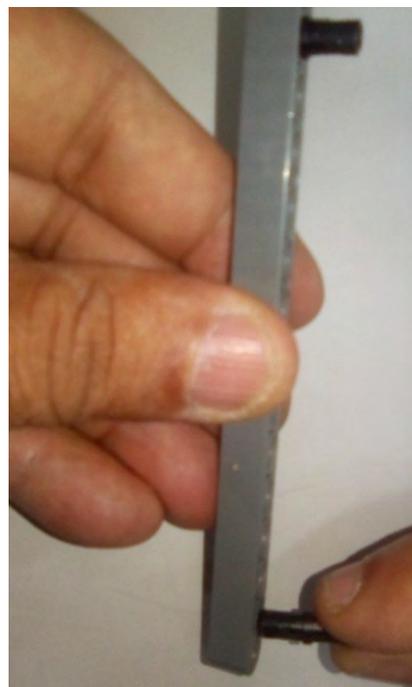
18° passo:



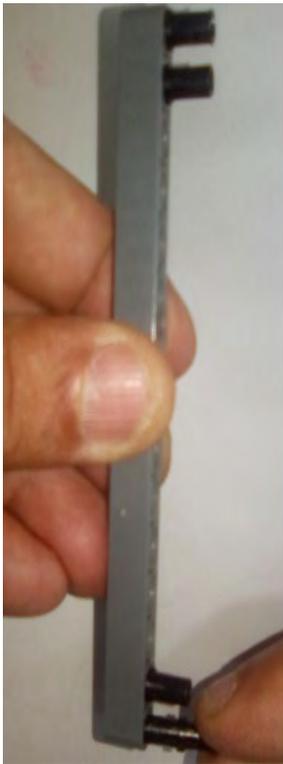
19° passo:



20° passo:



21° passo:



22° passo:



23° passo:



24° passo:

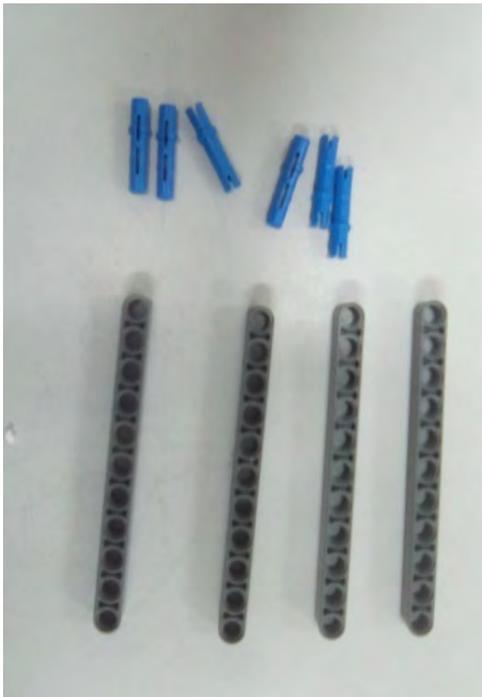


25º passo:



### Montagem do demonstração 3

1º passo:



2º passo



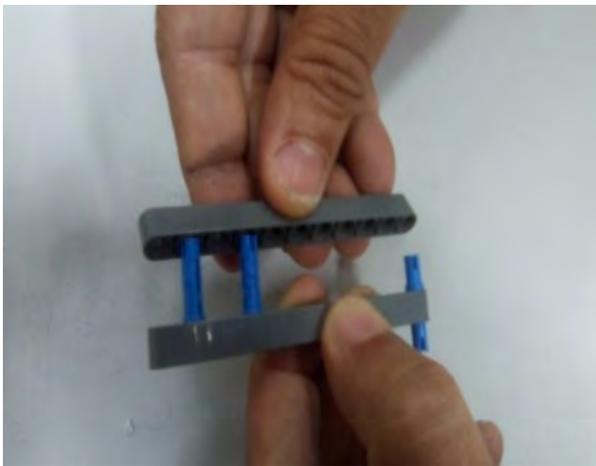
3° passo:



4° passo:



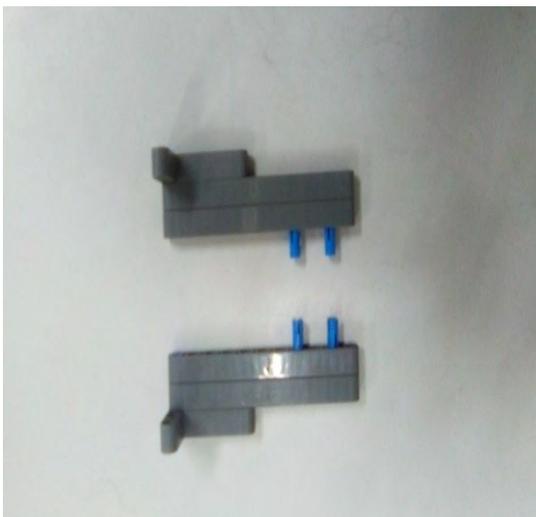
5° passo:



6° passo:



7° passo:



8° passo:



9° passo:



10° passo:



11° passo:



12° passo:



13° passo:



14 °passo:



15° passo:



16° passo:



17° passo:



16° passo:



19° passo:



20° passo:



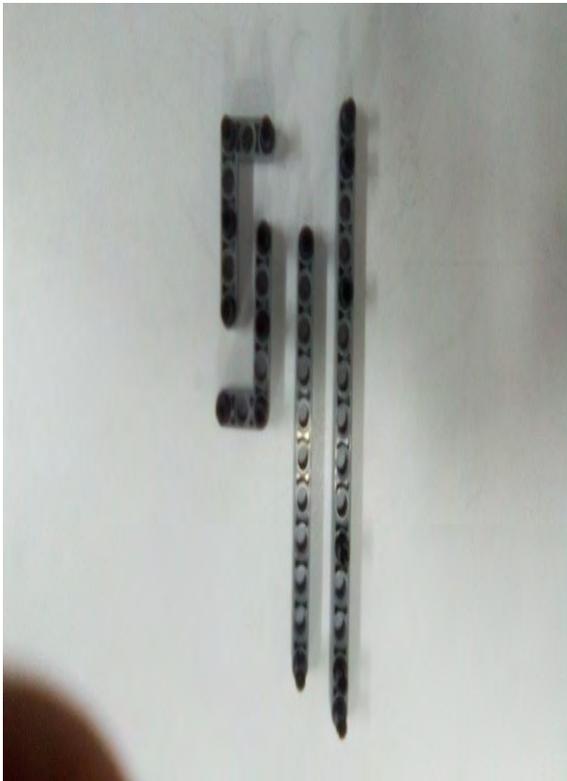
21° passo:



22° passo:



23° passo:



24° passo:



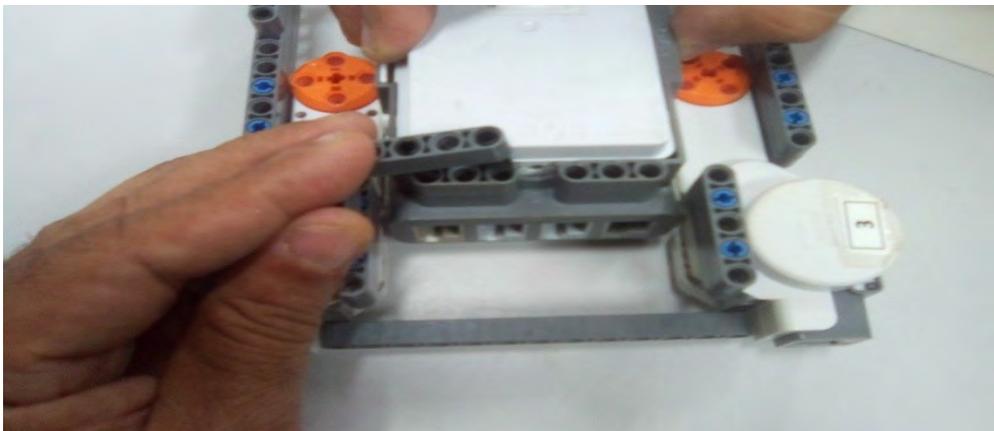
25° passo:



26° passo:



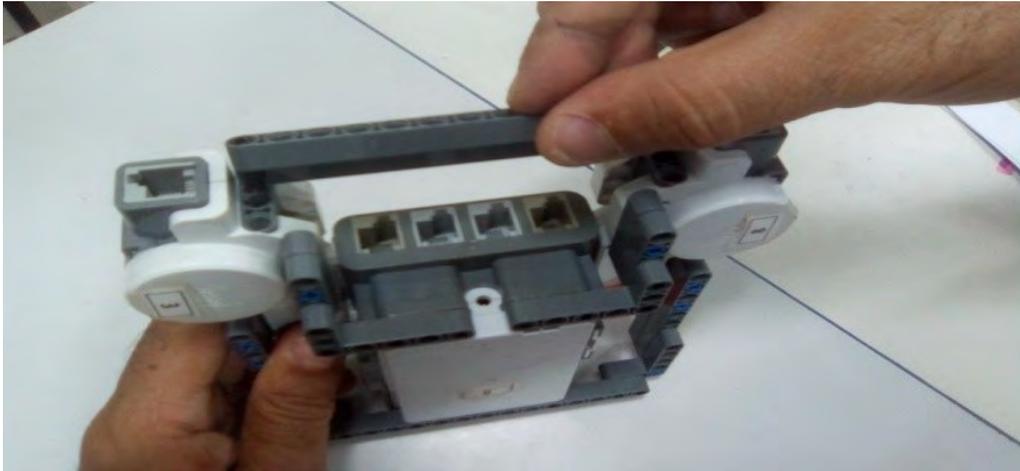
27° passo:



28° passo:



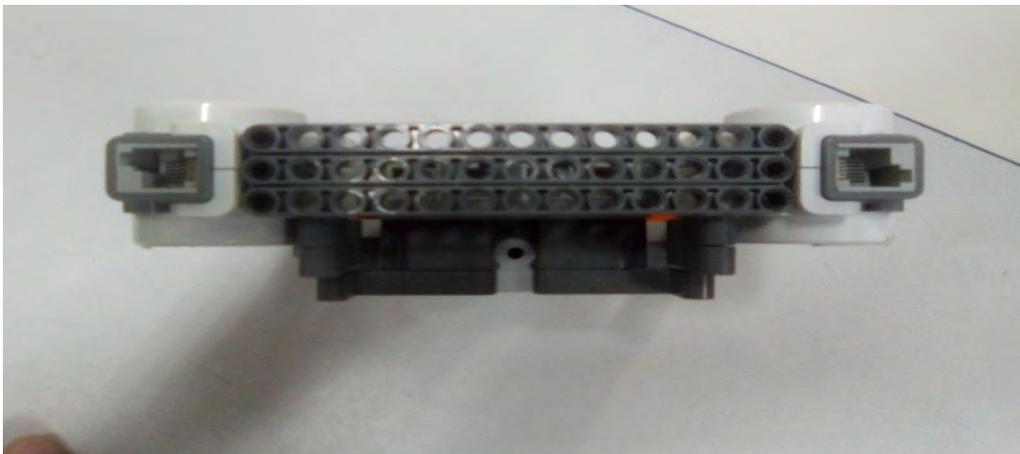
29° passo:



30° passo:



31° passo:



32° passo:



33° passo:



34° passo:



35° Passo:



### Montagem do braço da demonstração 3

1º passo:



2º passo:



3º passo:



4º passo:



5° passo:



6° passo:



7° passo:



8° passo



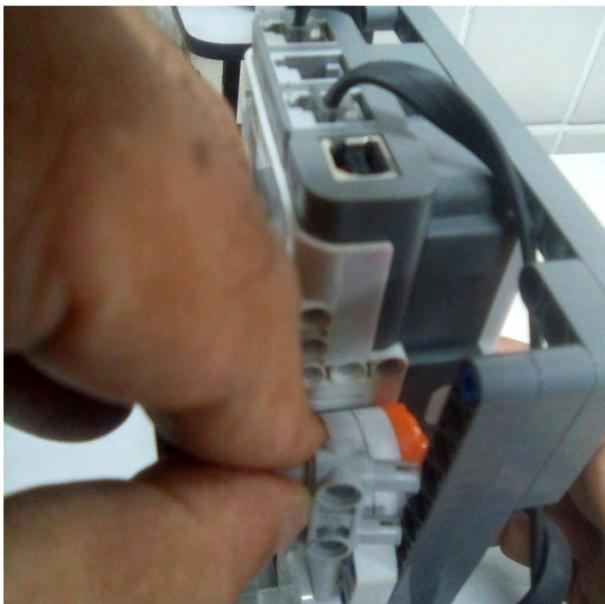
9° passo:



10° passo:



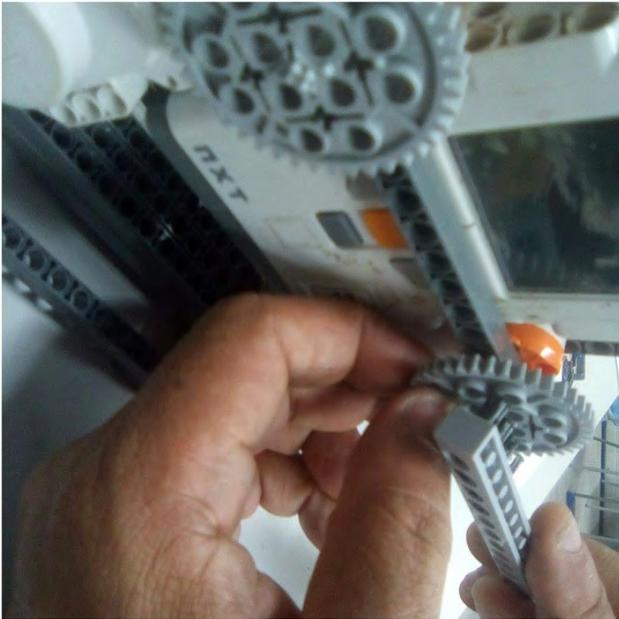
11° passo:



12° passo:



13° passo:



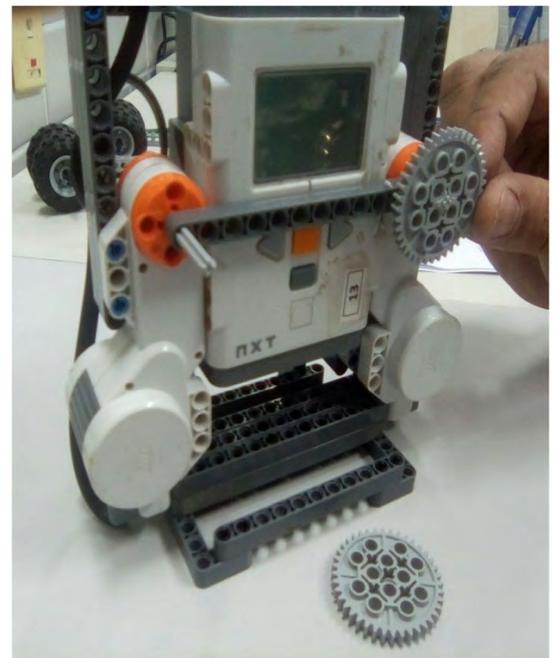
14° passo:



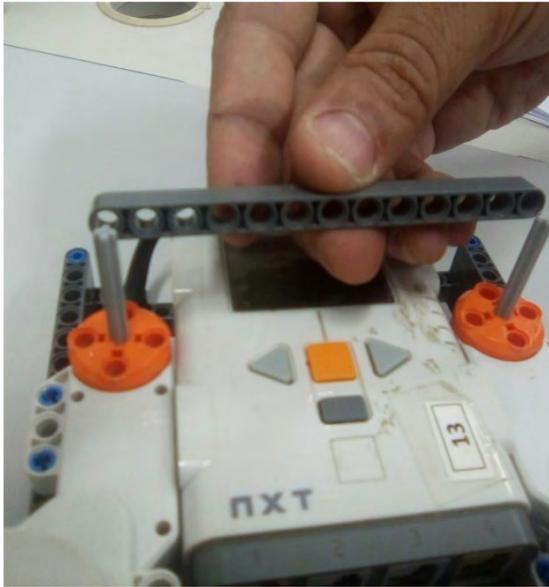
15° passo:



16° passo:



17° passo:



18° passo:



19° passo:



20° passo



21° passo:



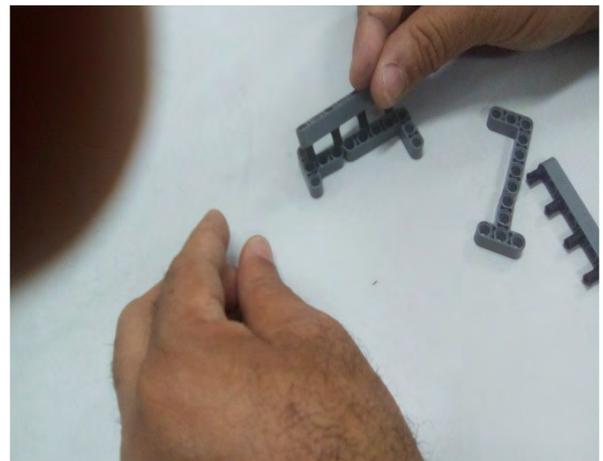
22° passo:



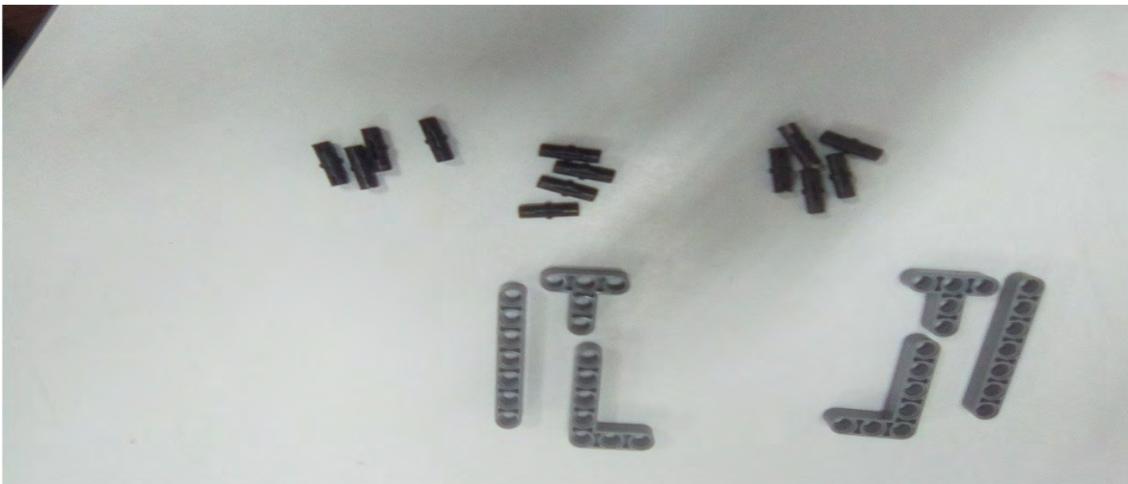
23° passo:



24° passo:



25° passo:



26° passo:



27° passo:



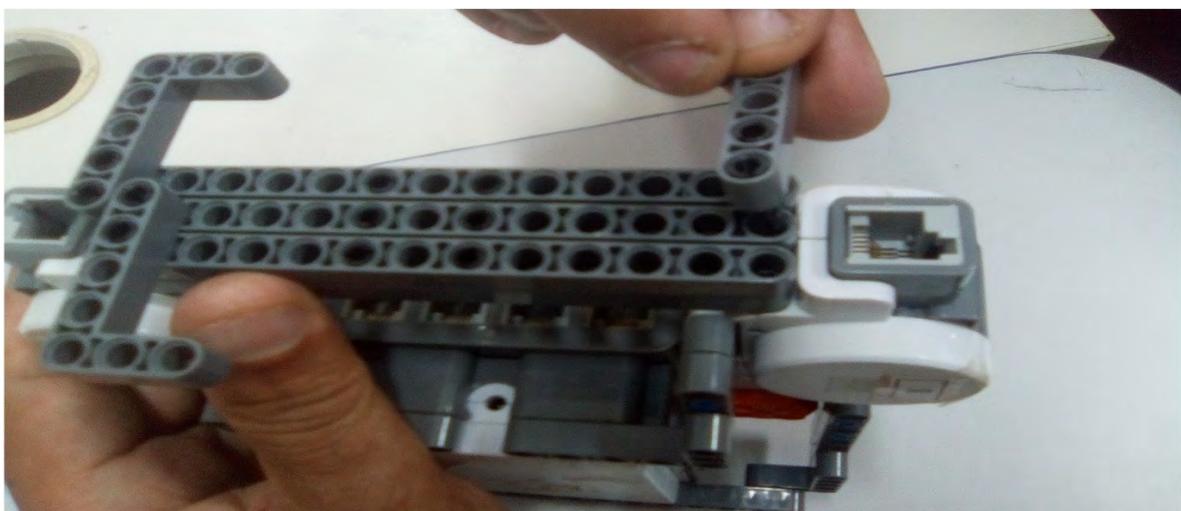
28° passo:



29° passo



30° passo:



31° passo:



32° passo:



33° passo:



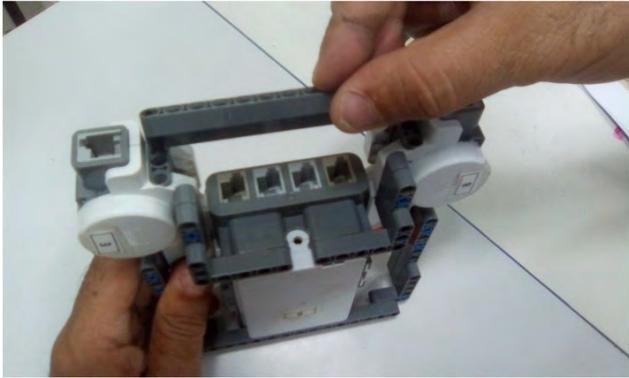
34° passo:



35° passo:



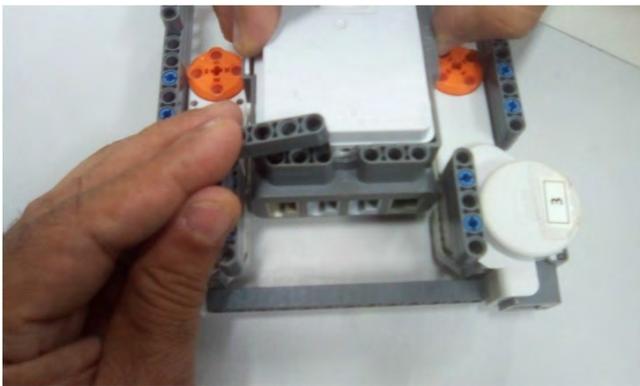
36° passo:



37° passo:



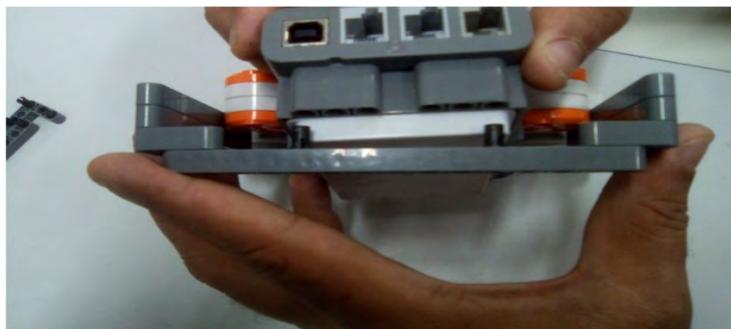
38° passo:



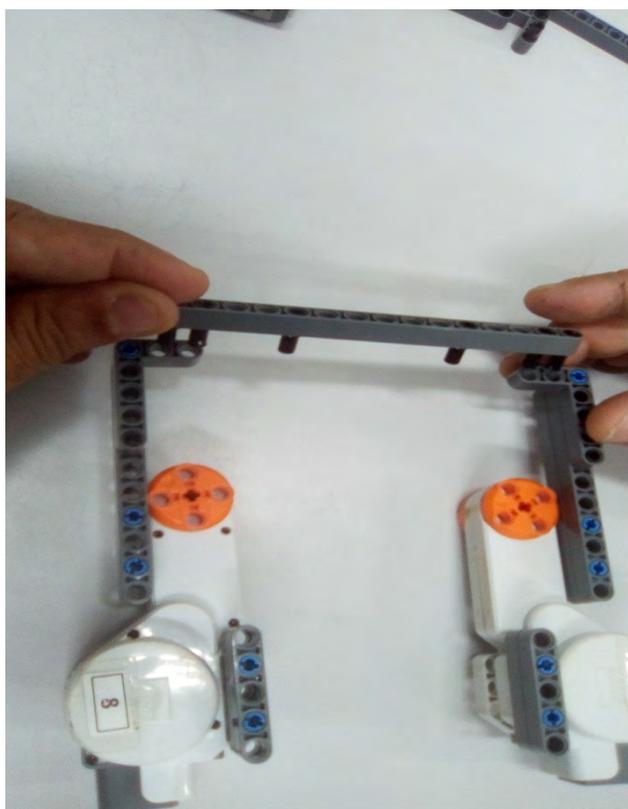
39° passo:



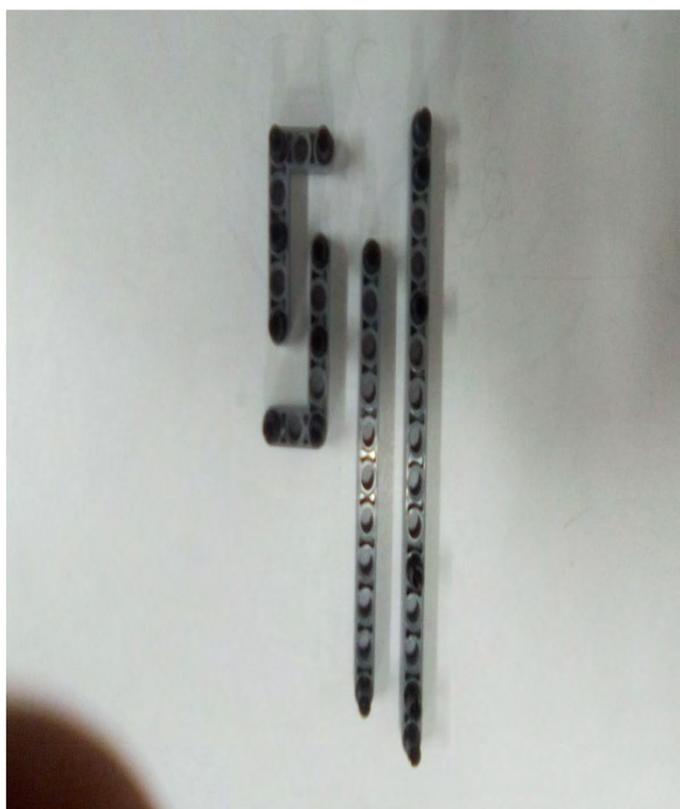
40° passo:



41° passo:



42° passo:



43° passo:



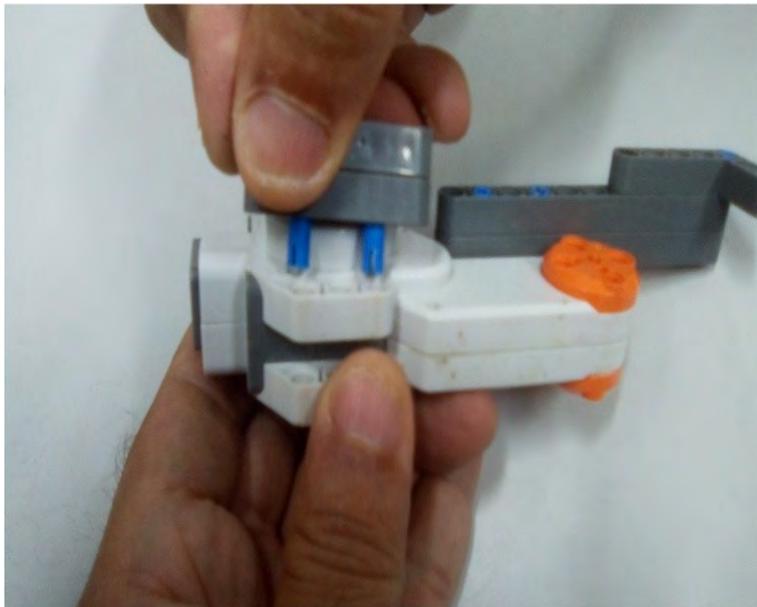


44° passo:



45° passo:

46° passo:



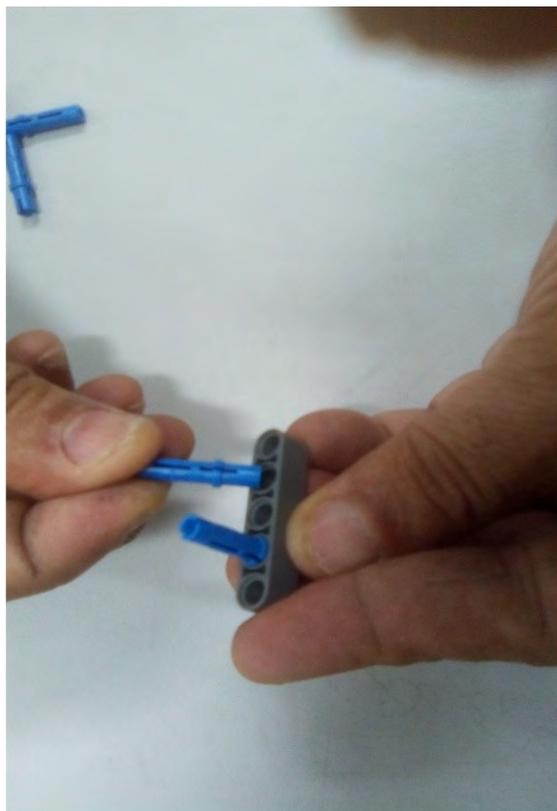
47° passo:



48° passo:



49° passo:



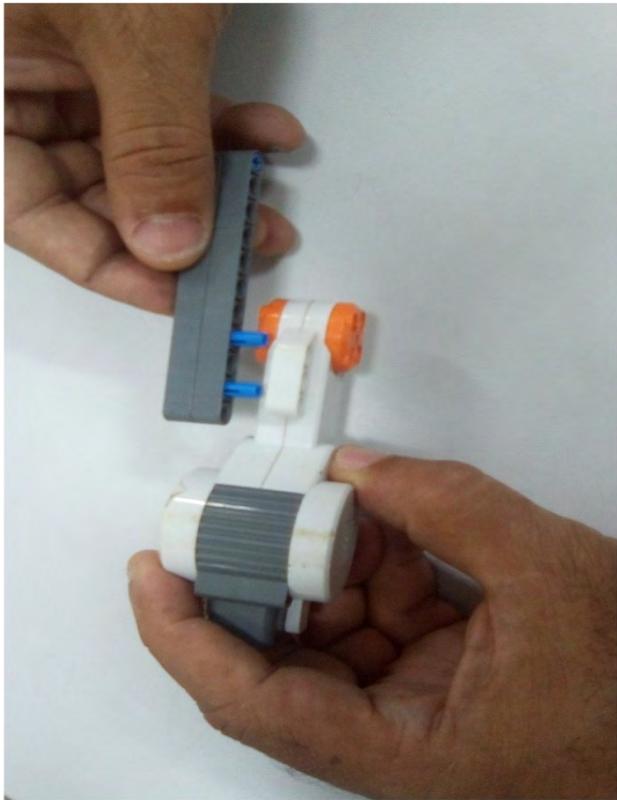
50° passo:



51° passo:



52° passo:



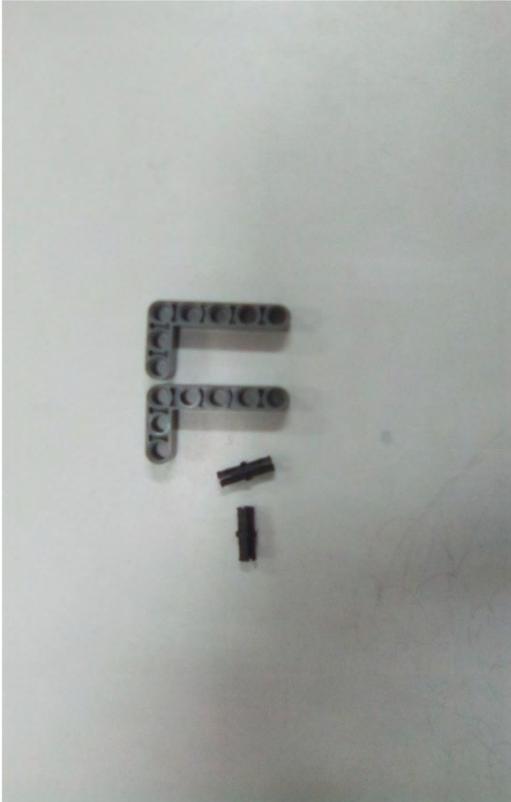
53° passo:



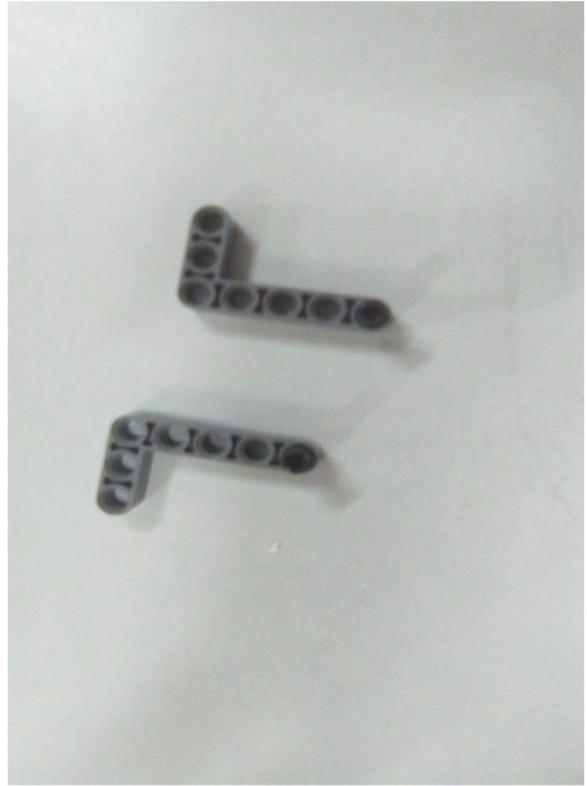
54° passo



55° passo:



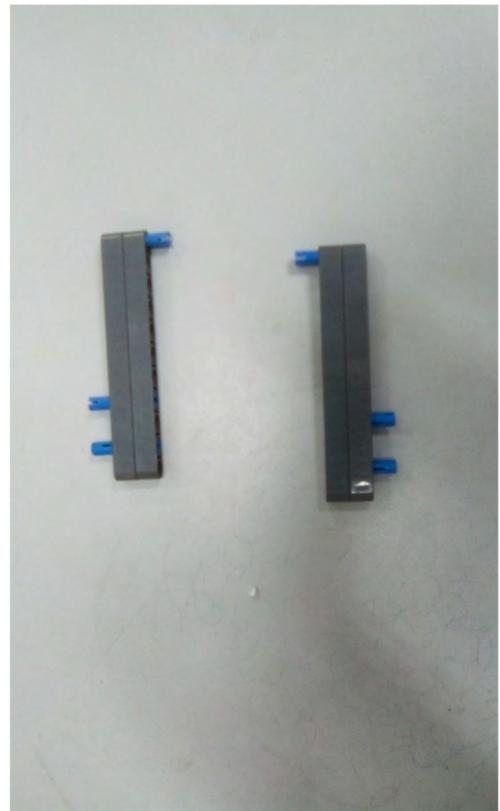
56° passo:



57° passo:



58° passo:



59° passo:



60° passo:



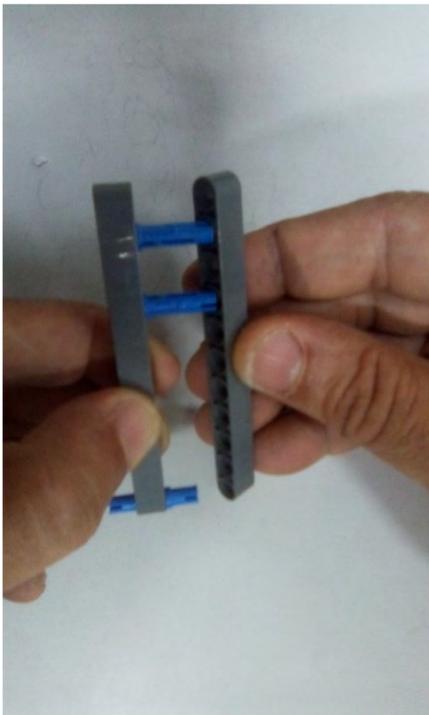
61° passo:



62° passo:



63° passo:



64° passo:

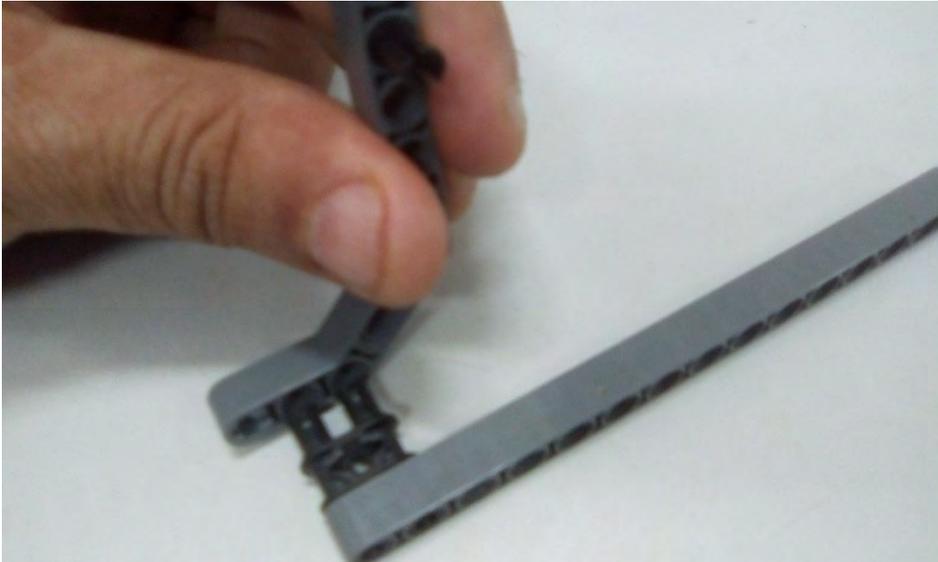


65° passo:

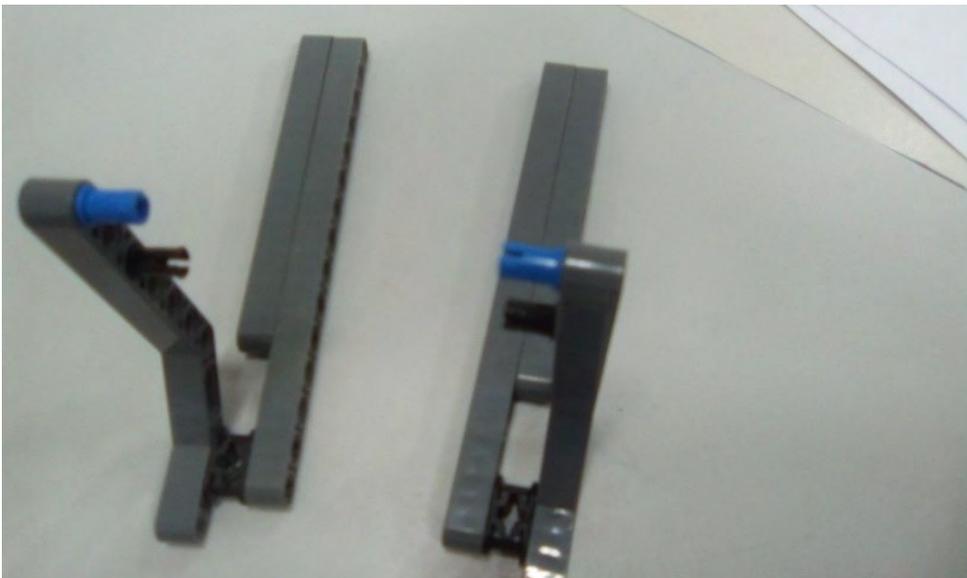


## Montagem suporte para o robô da demonstração 4

1º passo:



2º passo:



3° passo:



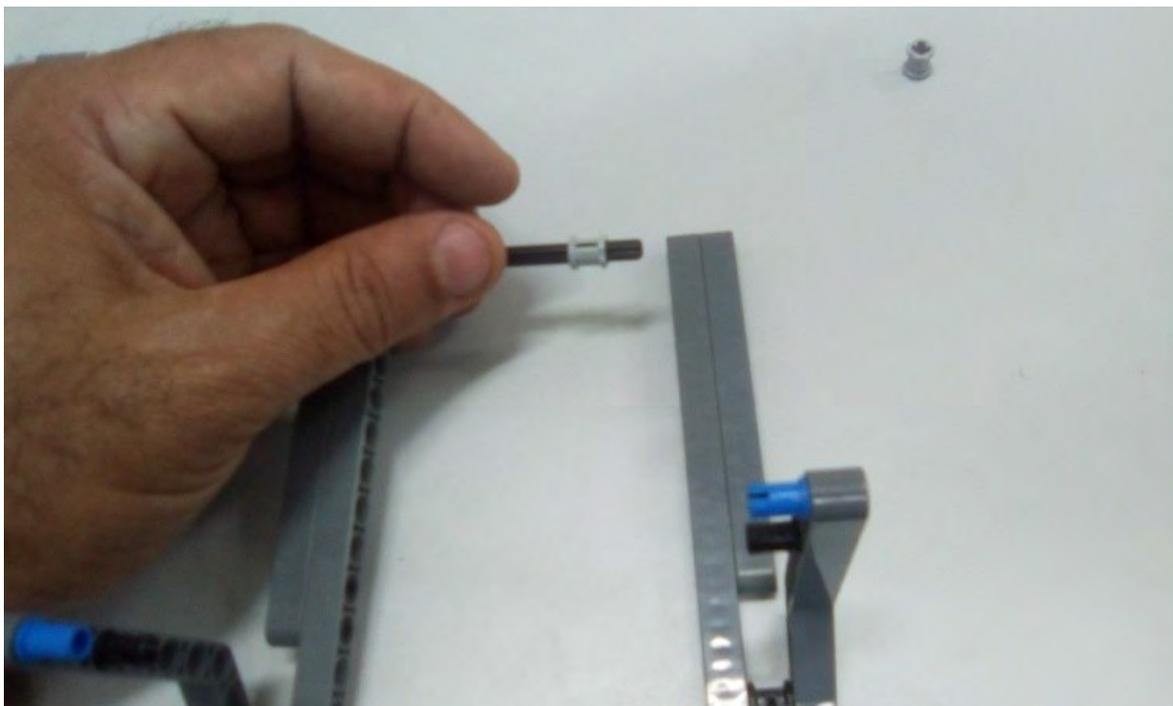
4° passo:



5° passo:



6° passo:



7º passo:



Visualização do suportes



## Montagem do suporte do robô do demonstração 4



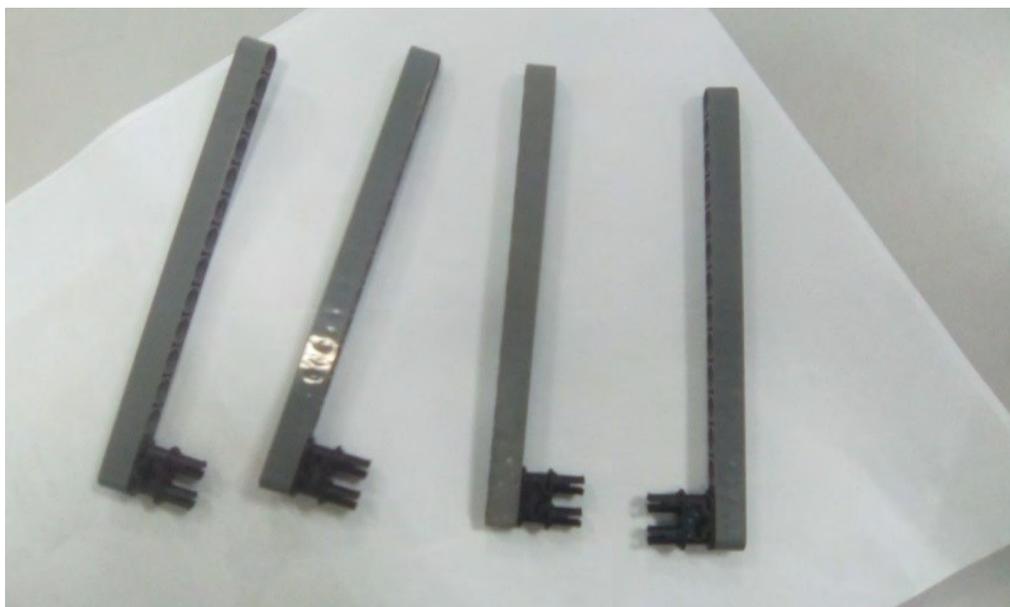
1º passo



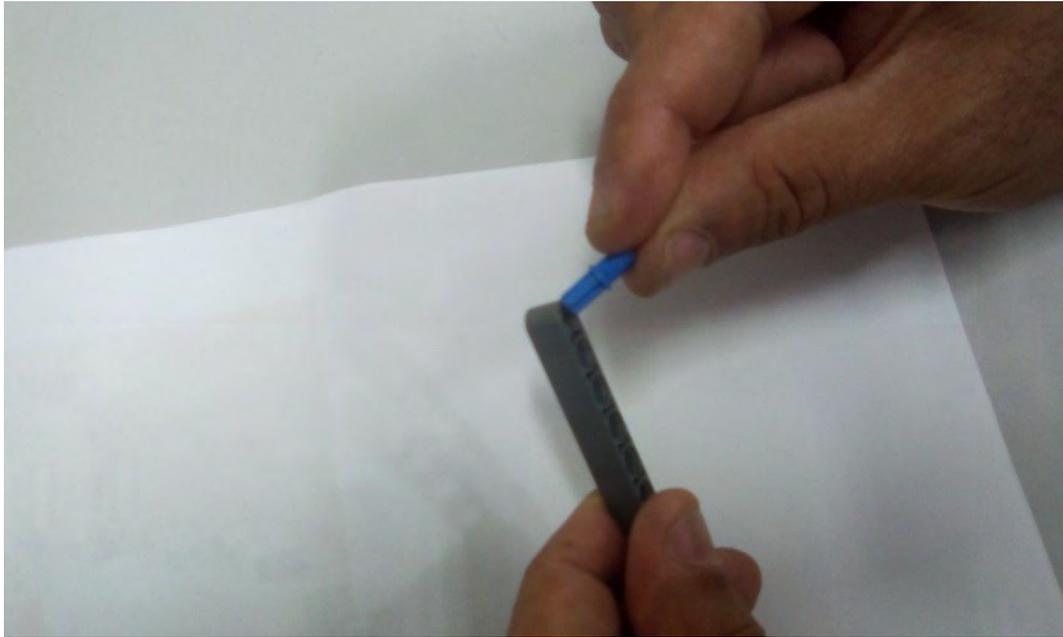
2° passo



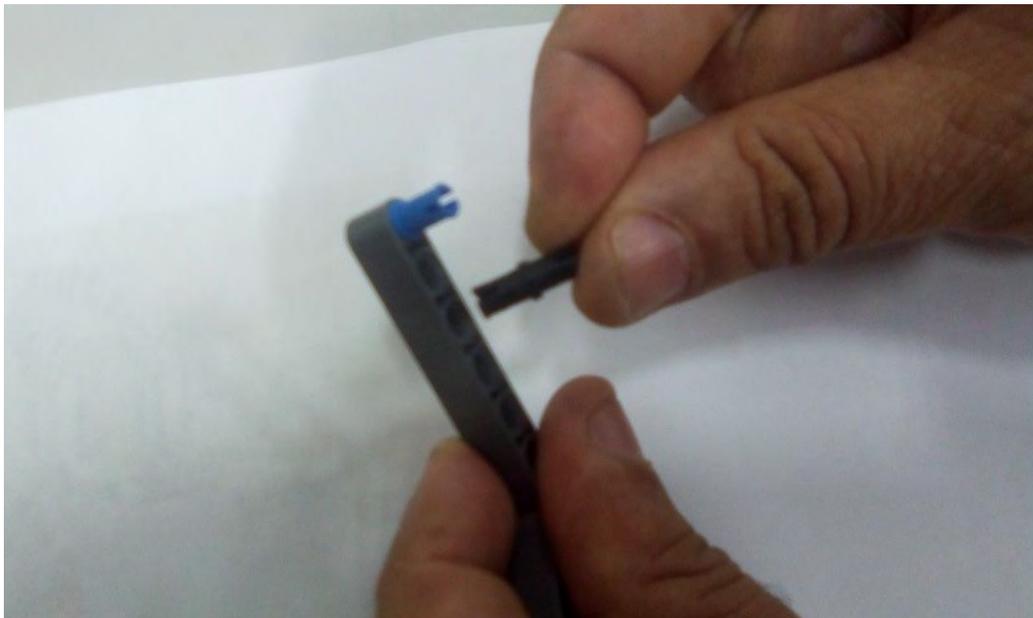
3ª passo



4ª passo



5ª passo



6<sup>a</sup> passo



7<sup>a</sup> passo



8<sup>a</sup> passo



9° passo



10<sup>a</sup> passo



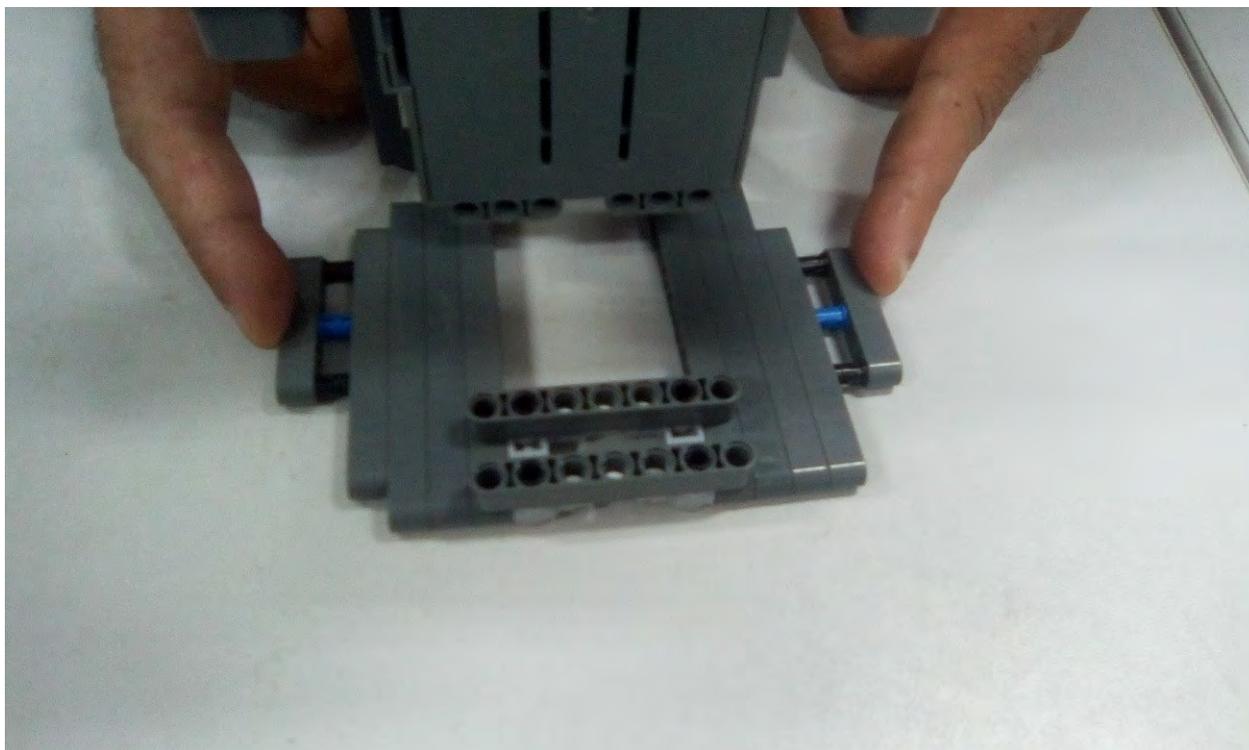
11<sup>a</sup> passo



12<sup>a</sup> passo



13<sup>a</sup> passo



14<sup>a</sup> passo



15<sup>a</sup> passo



16<sup>a</sup> passo



17<sup>a</sup> passo



18<sup>a</sup> passo



19<sup>a</sup> passo



20<sup>a</sup> passo:



## Montagem do braço robô da demonstração 4



1ª passo



2<sup>a</sup> passo



3<sup>a</sup> passo



4<sup>a</sup> passo



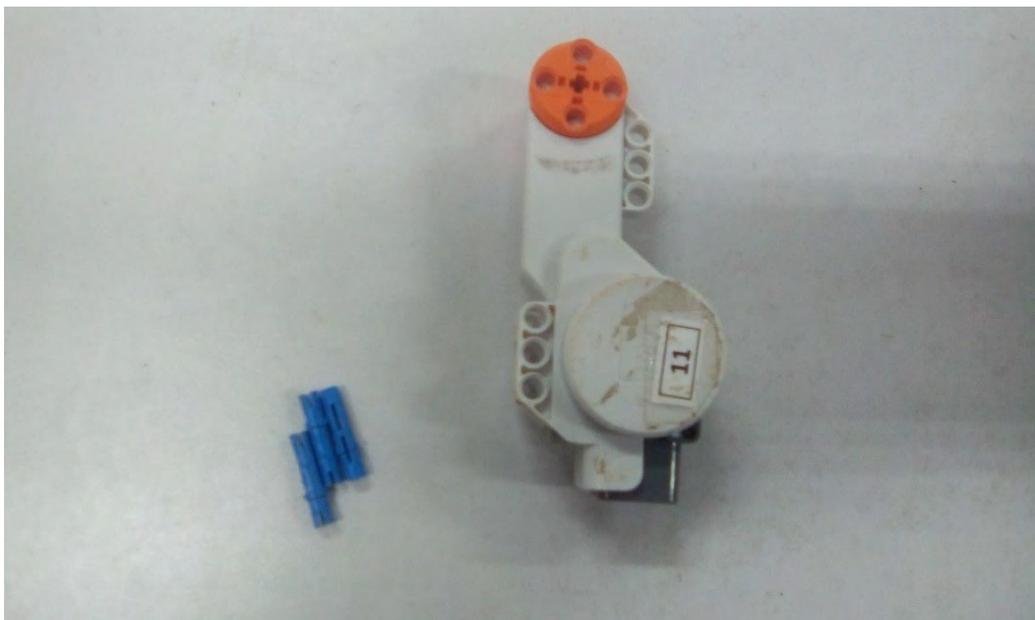
5<sup>a</sup> passo



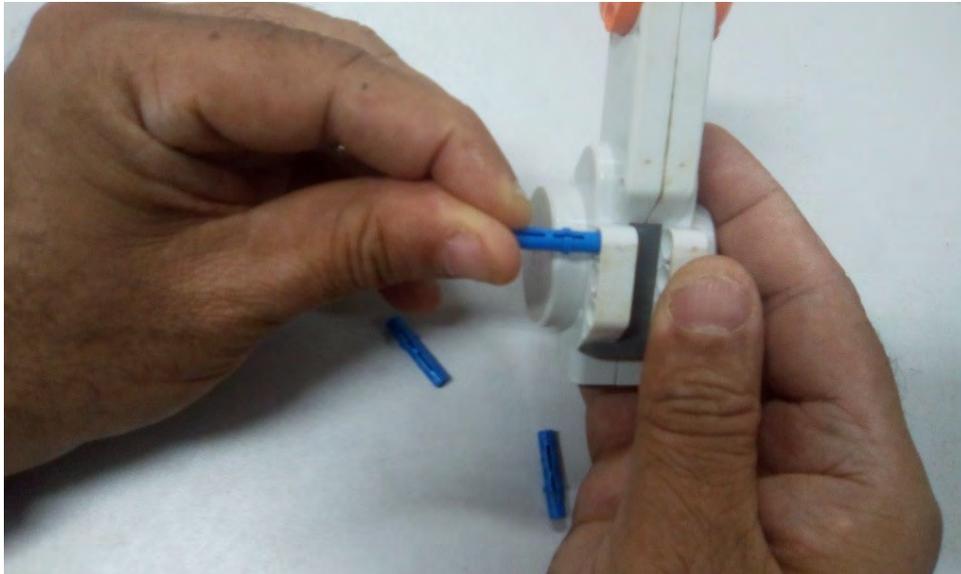
6ª passo



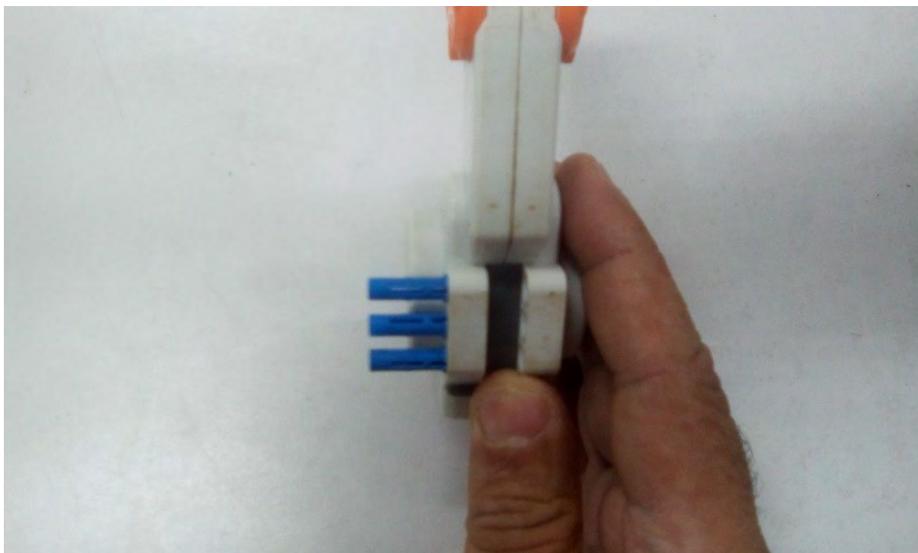
Segundo braço robótico demonstração 4:



1<sup>a</sup> passo



2<sup>a</sup> passo



3<sup>a</sup> passo



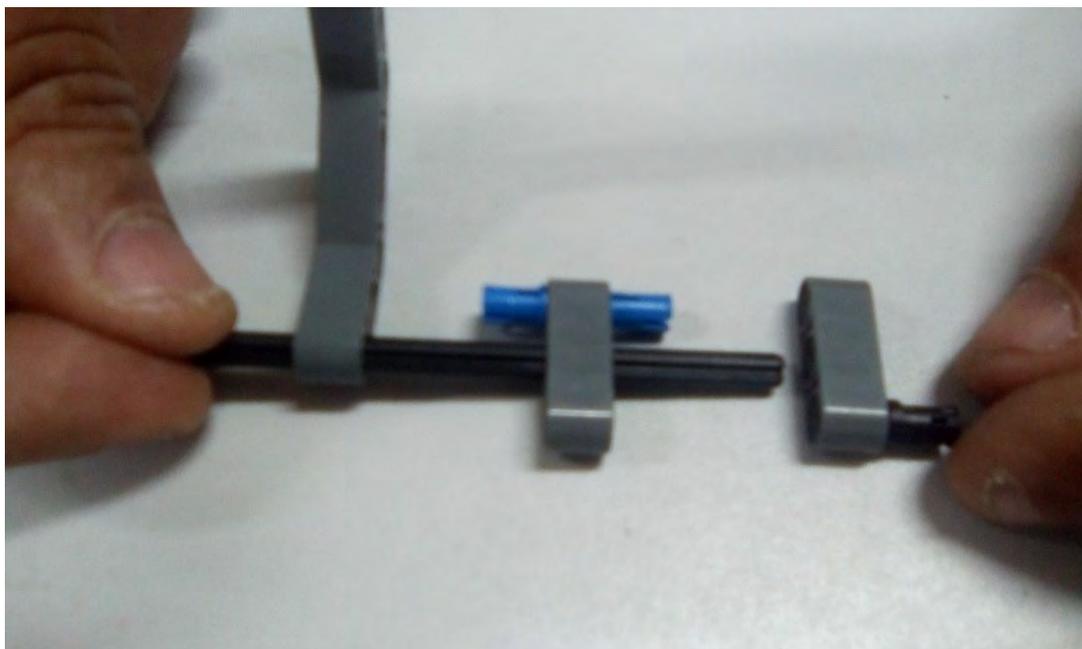
4<sup>a</sup> passo



5<sup>a</sup> passo



6<sup>a</sup> passo



7<sup>a</sup> passo



8<sup>a</sup> passo



9<sup>a</sup> passo



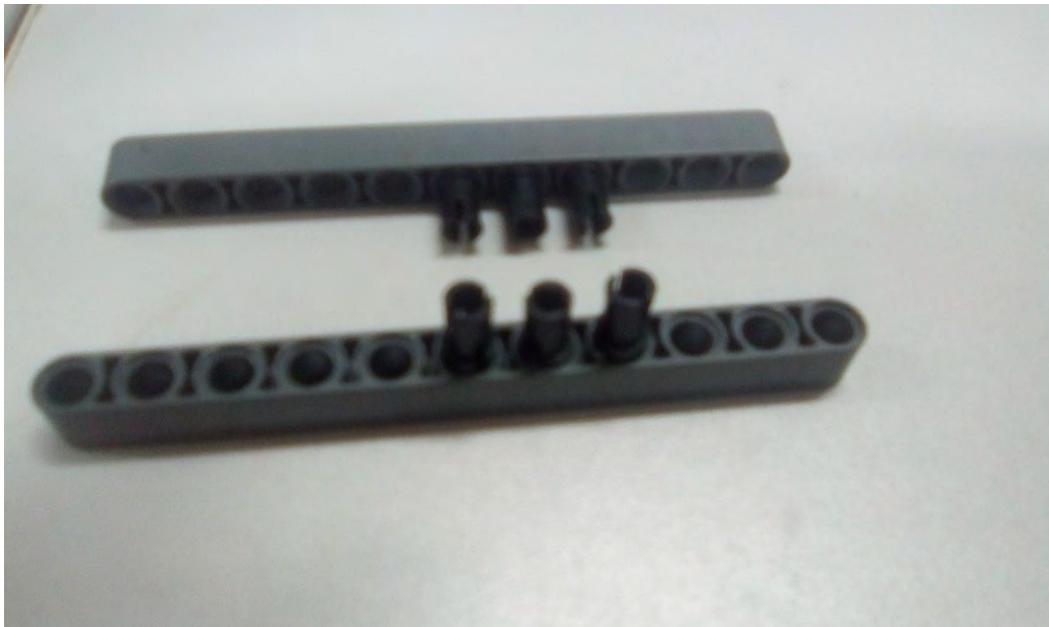
10<sup>a</sup> passo



11<sup>a</sup> passo:



12<sup>a</sup> passo:



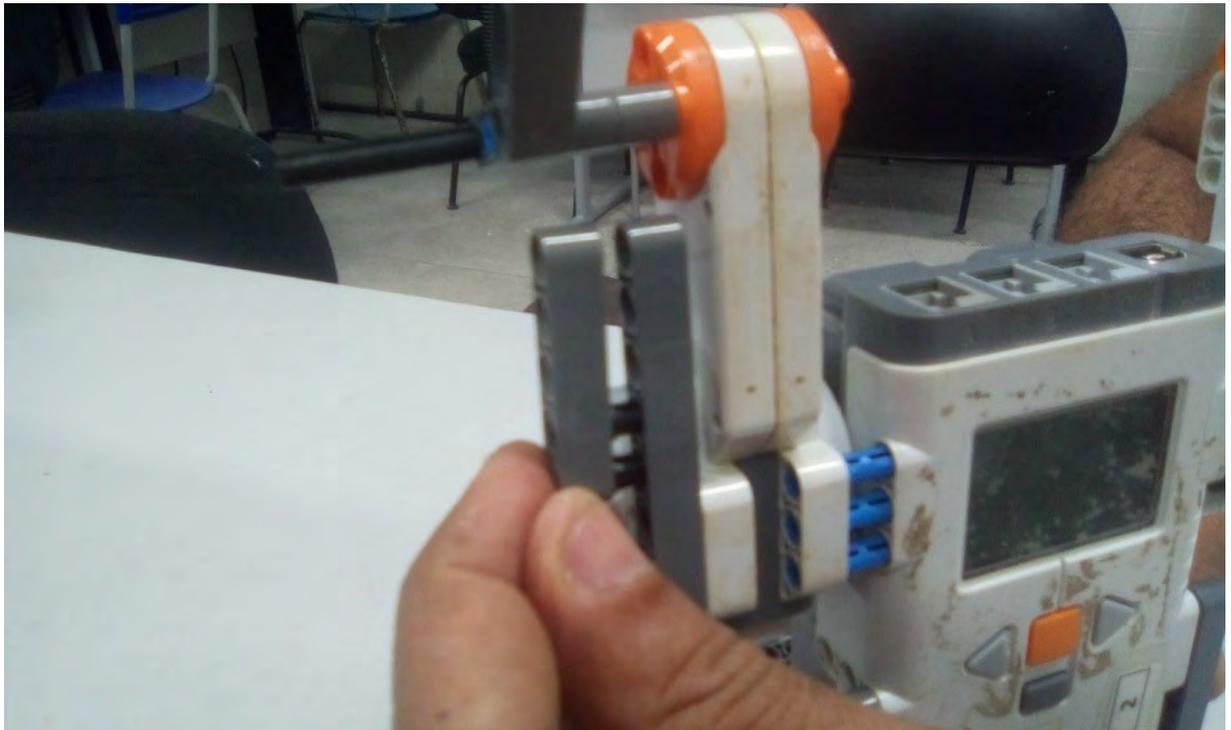
13<sup>a</sup> passo:



14<sup>a</sup> passo



15<sup>a</sup> passo



16<sup>a</sup> passo



17<sup>a</sup> passo



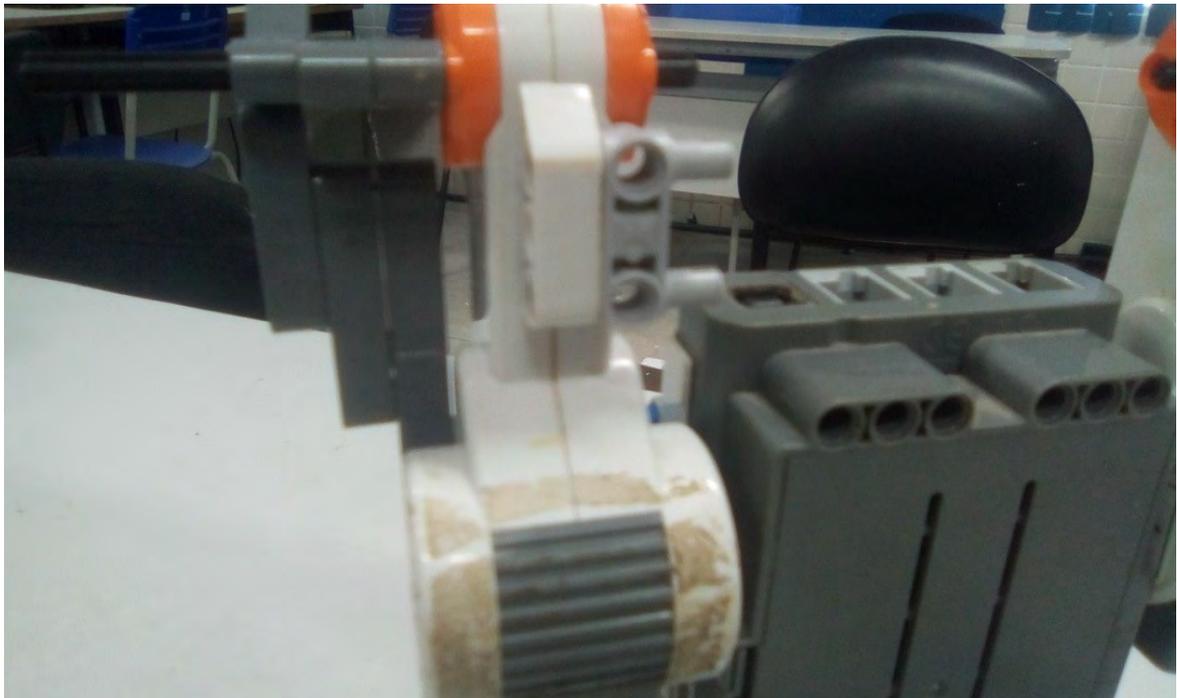
18<sup>a</sup> passo



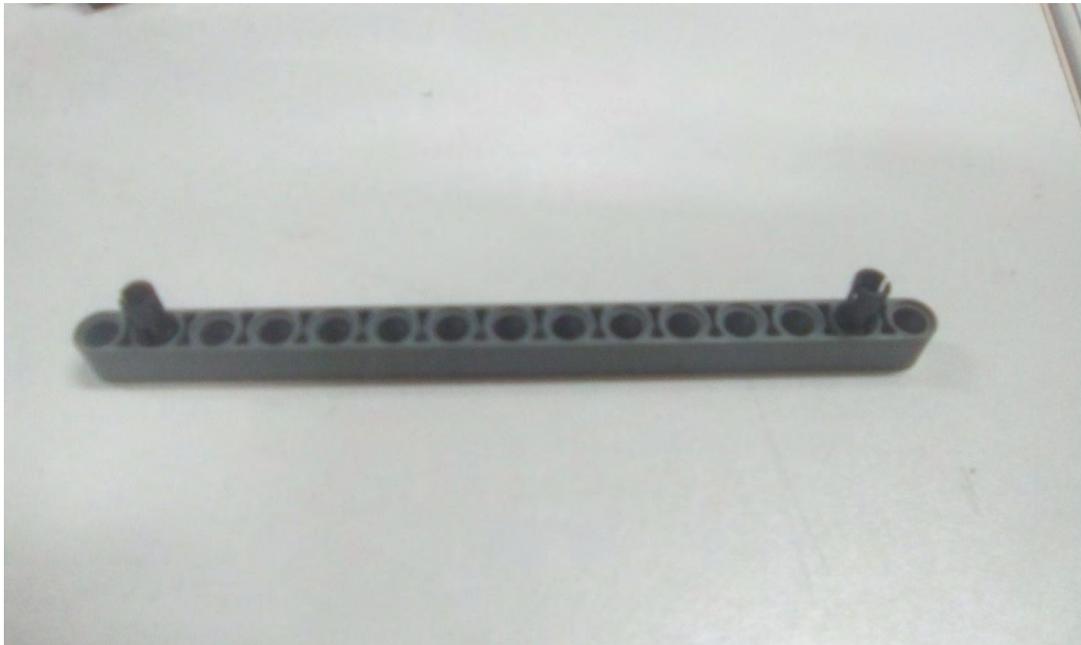
19<sup>a</sup> passo



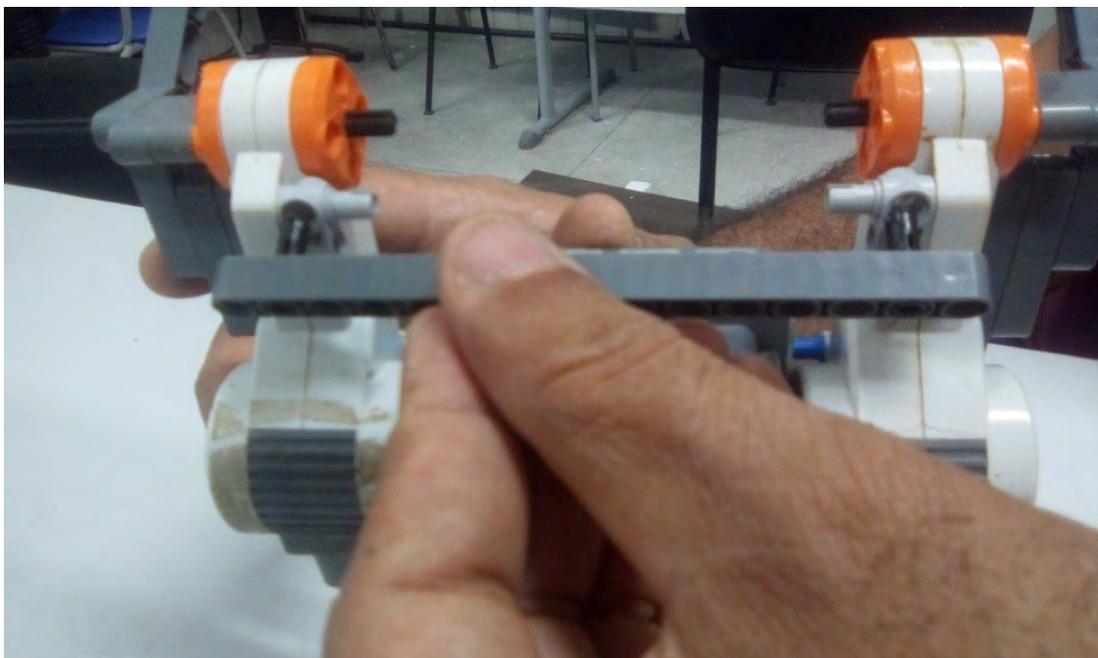
20<sup>a</sup> passo



21<sup>a</sup> passo



22<sup>a</sup> passo



23<sup>a</sup> passo



24<sup>a</sup> passo



25<sup>a</sup> passo



26<sup>a</sup> passo



27<sup>a</sup> passo



28<sup>a</sup> passo



29<sup>a</sup> passo



30<sup>a</sup> passo



31<sup>a</sup> passo



RESULTADO:



## Referências bibliográficas

AZEVEDO, D. A. **Dinâmica de rotação para o ensino médio com uso de demonstrações de baixo custo**. 2015. 95f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) Programa de Pós-graduação em Ensino de Física. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró- Rn, 2015

GLEISE, M. Por que ensinar Física? **Física nas escolas**, V 1, n.1, p. 4-5, outubro, 2000.

GAGNÉ, Robert Mills. Como se realiza a aprendizagem. 1ª edição. Rio de Janeiro: LTC; 1983. 270p

OLIVEIRA, Marta. Kohl. Vygotsk: Aprendizado e desenvolvimento um processo sócio-histórico. São Paulo. Scipione. 1997.108p

## **Apêndice B Questionários de sondagem e avaliação**

### **Questionário Pré – sondagem**

### **Questionário Pós – avaliação**

#### **Questionário pré1**

1- Rodas gigantes, pneus de automóveis e piões desenvolvem movimentos rotatórios, dado isso o conceito que mais se aproxima ao de um movimento de rotação é:

- a- Movimento escalar de um corpo em torno de um eixo, material;
- b- Movimento giratório de um corpo em torno de um eixo, material ou não;
- c- Movimento de um corpo em torno de um eixo, material;
- d- Movimento giratório de um corpo, material ou não;
- e- Não sei a resposta

2- Qual das alternativas melhor responde ao conceito de centro de massa.

- a- É a posição média de todas as partes do sistema, ponderada de acordo com a massa de um objeto;
- b- É a posição média de todas as partes do sistema,
- c- É a posição média de todas as partes do sistema, ponderada de acordo com a massa de cada partícula;
- d- Não sei a resposta;
- e- É a posição de todas as partes do sistema, ponderada de acordo com a massa de cada objeto.

3- Relacione os números 1,2 e 3 dos conceitos a seus conceitos corretos

(1) Rotação, (2) translação, (3) corpo rígido

() Os pontos do objeto se movem em relação ao eixo de giro, O eixo permanece estacionário a um sistema de referência inercial

() Todos os pontos do objeto se movem seguindo trajetórias paralelas ao do centro de massas

() todos os pontos estão firmemente ligados.

A sequência que corresponde a certa é:

- a) 2,1 e 3
- b) 1,3 e 2
- c) 3,2 e 1
- d) 1, 2 e 3
- e) Não sei a resposta.

4- A posição linear e angular do móvel em um determinado tempo pode ser conceituada respectivamente como:

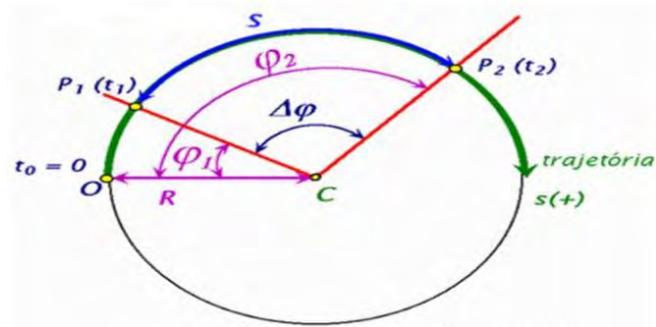
- a- A posição ocupada pelo móvel na circunferência e seu respectivo ângulo em relação a referencial;
- b- A posição ocupada pelo móvel no círculo e seu respectivo ângulo em relação a referencial;
- c- A posição ocupada pelo móvel na circunferência e seu respectivo espaço em relação a referencial;
- d- Não sei a resposta;
- e- Ndr.

5- A variação do espaço linear e angular entre os tempos inicial e final pode ser encontrada:

- a- Fazendo-se a diferença entre o espaço final e inicial na circunferência e o ângulo final e inicial respectivamente;
- b- Fazendo-se o produto entre o espaço final e inicial na circunferência e o ângulo final e inicial respectivamente;
- c- Fazendo-se a diferença entre o espaço inicial e final na circunferência e o ângulo inicial e final respectivamente;
- d- Não sei a resposta;
- e- Ndr

Observe a figura e responda às questões 6 e 7

Figura 1: Posição angular e linear



Fonte: <http://gruposolucao.com.br/livro/Fisica1/fisica5.png>

6- A posição linear e angular do móvel no tempo  $t_2$ , são respectivamente:

- a-  $S$  e  $2\pi$ .
- b-  $p_2$  e  $\varphi_2$
- c-  $S$  e  $\Delta\varphi$ .
- d-  $S$  e  $\varphi_2$ .
- e- Não sei a resposta.

7- A variação do espaço linear e angular entre os tempos  $t_1$  e  $t_2$  valem respectivamente:

- a-  $0$  e  $2\pi$ .
- b-  $p_2$  e  $2\pi$ .
- c-  $S$  e  $\Delta\varphi$ .
- d-  $p_2$  e  $\varphi_2$ .
- e- Não sei a resposta.

## Questionário pré 2

1- O movimento giratório tem fundamento teórico em um dos alicerces da física clássica. O momento angular explica o movimento de rotação. Qual dos conceitos

abaixo melhor responde este conceito tão importante?

- a- O momento angular é uma grandeza física que mede a quantidade de repouso dos corpos em rotação. É uma das principais grandezas para o estudo da Cinemática;
- b- O momento linear é uma grandeza física que mede a quantidade de movimento dos corpos em rotação. É uma das principais grandezas para o estudo da Cinemática Rotacional;
- c- O momento angular é uma grandeza física que mede a quantidade de movimento dos corpos em rotação. É uma das principais grandezas para o estudo da Cinemática Rotacional;
- d- O momento angular é uma grandeza física que mede a velocidade de movimento dos corpos em rotação. É uma das principais grandezas para o estudo da Cinemática Rotacional;
- e- Não sei a resposta.

2- A velocidade angular é essencial para quantificar o momento angular. Esta grandeza é calculada:

- a- Pela razão entre espaço linear e angular;
- b- Pela razão entre espaço angular e linear;
- c- Pela razão entre variação do espaço angular e a variação do tempo;
- d- Pela razão entre variação espaço linear e a variação do tempo;
- e- Não sei a resposta.

- 3- Ocorre variação na velocidade de rotação da bailarina e do mergulhador no salto durante seu movimento, como explicar isso do ponto de vista da física.

Figura1 : Bailarina e saltadora



Fonte: <https://www.contaval.es/wp-ontent/uploads/2018/11/xbailarina.jpg.pagespeed.ic.jKybHtE0iP.webp> ;  
[https://sites.google.com/site/solitonsufg/\\_/rsrc/1468857621645/4-3--conservacao-de-momentum-angular/Saltos\\_ornamentais.png](https://sites.google.com/site/solitonsufg/_/rsrc/1468857621645/4-3--conservacao-de-momentum-angular/Saltos_ornamentais.png)

- a- Ocorreu variação da velocidade linear;
- b- Isto é próprio do movimento;
- c- A variação da velocidade angular deveu-se a uma variação da inércia do objeto;
- d- A variação da velocidade angular deveu-se a variação do momento de inércia;
- e- Não sei a resposta.
- 4- A dificuldade de objetos de iniciarem e manterem uma rotação, pode ser medida por (pela):
- a- Velocidade;
- b- Inércia;
- c- Momento de inércia;
- d- Centro de massa;
- e- Não sei a resposta.
- 5- Momento de inércia pode ser conceituado como:
- a- Medida da distribuição da massa em torno do centro de massa;
- b- Medida da concentração da massa no eixo de rotação;

- c- Medida da distribuição da velocidade em torno do eixo de rotação;
- d- Medida da distribuição da massa em torno do eixo de rotação;
- e- Não sei a resposta.

### Questionário pré 3

Observe a figura e responda as questões 1 e 2.

Figura 1: Demonstração momento angular

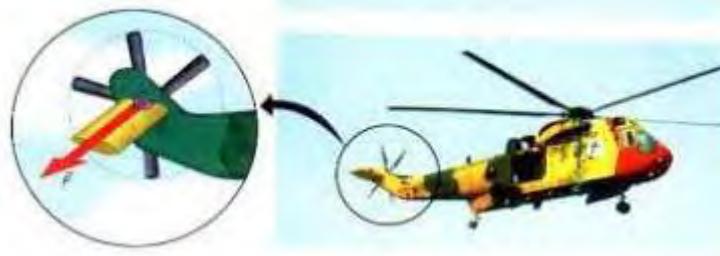


Fonte: <https://sites.google.com/site/solitonsufg>

- 1- A figura acima representa uma demonstração sobre momento angular, neste podemos observar que momento de inércia e velocidade angular tem uma relação.
  - a- Desproporcionalidade;
  - b- Proporcionalidade direta;
  - c- Proporcionalidade;
  - d- Proporcionalidade inversa;
  - e- Não sei a resposta.
  
- 2- Pelo desenho podemos observar que o aumento da velocidade angular ocorreu devido a uma variação no momento de inércia. Com base neste fenômeno qual o resultado esperado?

- a- Mudança do momento angular;
- b- Variação das grandezas envolvidas;
- c- Conservação do momento angular;
- d- Alteração do centro de massa;
- e- Não sei a resposta.

Figura 2: Helicóptero



Fonte: [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ0Pp1PJfOiVEDQcP\\_C6d5N3xM7ChKPzCWGkxEJcB6nXTN6Xdp6UdrKa1qvOWQHZWPeGhg&usqp=CAU](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ0Pp1PJfOiVEDQcP_C6d5N3xM7ChKPzCWGkxEJcB6nXTN6Xdp6UdrKa1qvOWQHZWPeGhg&usqp=CAU)

- 3- A figura acima mostra um helicóptero e seus rotores que permitem que a aeronave se desloque. Qual o princípio físico explica a necessidade de um motor na cauda do helicóptero?
- a- Equilíbrio;
  - b- Velocidade angular;
  - c- Conservação momento angular;
  - d- Conservação momento linear;
  - e- Não sei a resposta.

- 4- Nas figuras abaixo a saltadora e a patinadora recolhem seus membros inferiores e superiores alterando sua velocidade angular, esta variação decorre da relação com momento de inércia. Como este movimento das atletas explica a variação da velocidade angular?

Figura 3: Saltadora e bailarina, momento de inércia



Fonte: <https://sites.google.com/site/solitonsufg/4-3--conservacao-de-momentum-angular>  
[http://1.bp.blogspot.com/-w\\_F7gj1QEM/UP\\_Rzors9fI/AAAAAAAAAjz0/58Q7EiWsU\\_Q/s400/bal.png](http://1.bp.blogspot.com/-w_F7gj1QEM/UP_Rzors9fI/AAAAAAAAAjz0/58Q7EiWsU_Q/s400/bal.png)

- a- Ao recolher os membros as atletas alteraram suas alturas, alterando seus momentos de inércia;
- b- Ao recolher os membros as atletas alteraram seus comprimentos alterando seus momentos de inércia;
- c- Ao recolher os membros as atletas alteraram sua distribuição de massa, aproximando do eixo de rotação, alterando seus momentos de inércia;
- d- Ao recolher os membros as atletas alteraram sua distribuição de massa alterando o momento de inércia;
- e- Não sei a resposta.

5- A conservação do momento angular acontece quando:

- a- A grandeza física, também chamada de quantidade momento angular, não varia, ou seja, permanece constante durante o movimento de translação de um corpo em torno de um eixo;
- b- A grandeza física, também chamada de quantidade momento angular varia, ou

- seja, não permanece constante durante o movimento de rotação de um corpo em torno de um eixo;
- c- A grandeza física, também chamada de quantidade momento linear, não varia, ou seja, permanece constante durante o movimento de rotação de um corpo em torno de um eixo;
  - d- Não sei a resposta;
  - e- A grandeza física, também chamada de quantidade momento angular, não varia, ou seja, permanece constante durante o movimento de rotação de um corpo em torno de um eixo.

## Questionário pós 1

Figura 1: Pneu e ventilador, rotação



Fonte:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fmundoeducacao.uol.com.br%2Ffisica%2Fmovimentos>

-translacao-

rotacao.htm&psig=AOvVaw2sdqACy9CMc22ywJ4FdoE8&ust=1641999040650000&source=images&cd=vfe  
&ved=0CAsQjRxqFwoTCNjGwKP5qfUCFQAAAAAdAAAAABAD

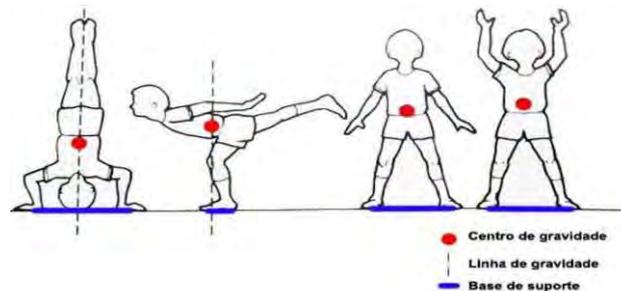
1- Nas figuras acima os pontos deste percorrem espaços em torno de um eixo central em função do tempo, dado isso o conceito que mais se aproxima ao do movimento é:

- a- Movimento escalar de um corpo em torno de um eixo, material;
- b- Movimento giratório das partículas do corpo em torno de um eixo, material ou não,
- c- Movimento de um corpo em torno de um eixo, material;
- d- Não sei a resposta;

e- Movimento giratório de um corpo, material ou não.

2- Os pontos vermelhos representam o centro de massa, a alternativa que melhor responde a respeito deste é:

Figura2 : Centro de massa



Fonte: <https://redu.com.br/wp-content/uploads/2019/03/Centro-de-gravidade-e-tipos-de-equil%C3%ADbrio.jpg>

- a- É a posição média de todas as partes do sistema, ponderada de acordo com a massa de um objeto;
- b- É a posição média de todas as partes do sistema;
- c- É a posição de todas as partes do sistema, ponderada de acordo com a massa de cada partícula;
- d- Não sei a resposta;
- e- É a posição de todas as partes do sistema, ponderada de acordo com a massa de cada objeto.

3- Relacione os números 1,2 e 3 dos conceitos a seus conteúdos corretos ( 1 ) translação,( 2 ) Rotação ( 3 ) corpo rígido;

( ) Os pontos do objeto se movem em relação ao eixo de giro, O eixo permanece estacionário em um sistema de referência inercial

( ) Todos os pontos do objeto se movem seguindo trajetórias paralelas ao do centro de massa.( ) todos os pontos estão firmemente ligados.

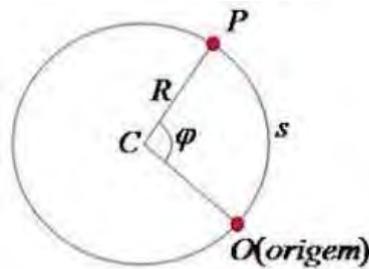
A sequência que corresponde a certa é:

- a- 2,1 e 3;

- b- 1,2 e 3;
- c- 3,2 e 1;
- d- 1, 2 e 3;
- e- Não sei a resposta.

4- A posição linear( $p$ ) e angular ( $\varphi$ ) do móvel em um determinado tempo pode ser conceituada respectivamente como:

Figura 3: Posição linear e angular



Fonte: [https://i0.wp.com/www.brasilecola.com/upload/e/Untitled-4\(73\).jpg](https://i0.wp.com/www.brasilecola.com/upload/e/Untitled-4(73).jpg)

- a- A posição ocupada pelo móvel na circunferência e seu respectivo ângulo em relação a referencial;
- b- A posição ocupada pelo móvel no círculo e seu respectivo ângulo em relação a referencial;
- c- A posição ocupada pelo móvel na circunferência e seu respectivo espaço em relação a referencial;
- d- Não sei a resposta;
- e- Ndr

5- A variação do espaço linear e angular entre os tempos inicial e final pode ser encontrada:

Fazendo-se a diferença entre o espaço final e inicial na circunferência e o ângulo final e inicial respectivamente;

Fazendo-se o produto entre o espaço final e inicial na circunferência e o ângulo final e inicial respectivamente;

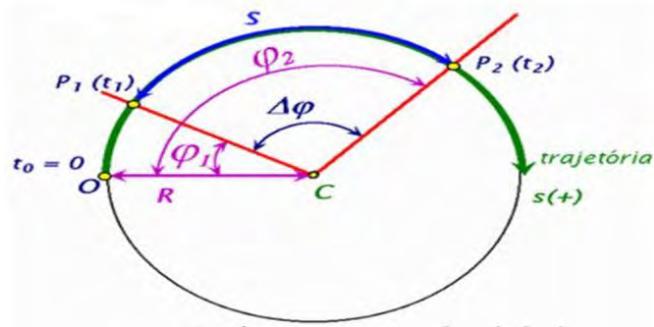
Fazendo-se a diferença entre o espaço inicial e final na circunferência e o ângulo inicial e

final respectivamente;

Não sei a resposta;

Ndr

Figura4 : Posição angular e linear



Fonte: : <http://grupoevolucao.com.br/livro/Fisica1/fisica5.png>

A posição linear e angular móvel no tempo  $t_2$  é respectivamente:

- a-  $S$  e  $2\pi$ ;
- b-  $p_2$  e  $\varphi_2$ ;
- c-  $S$  e  $\Delta\varphi$ ;
- d-  $S$  e  $\varphi_2$ ;
- e- Não sei a resposta.

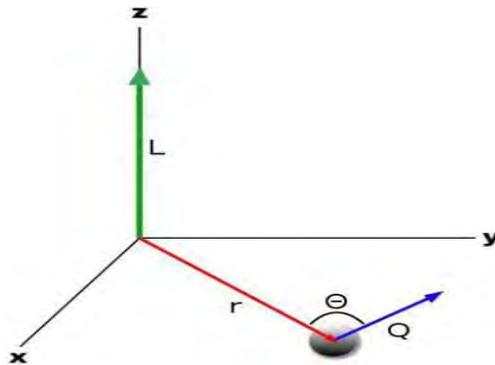
6- A variação do espaço linear e angular entre os tempos  $t_1$  e  $t_2$  valem respectivamente:

- a-  $0$  e  $2\pi$ ;
- b-  $p_2$  e  $2\pi$ ;
- c-  $S$  e  $\Delta\varphi$ ;
- d-  $p_2$  e  $\varphi_2$ ;
- e- Não sei a resposta.

## Questionário pós 2

- 1- O movimento giratório tem fundamento teórico em um dos alicerces da física clássica. O momento angular ( $L$ ) explica o movimento de rotação. Qual dos conceitos abaixo melhor responde este conceito tão importante?

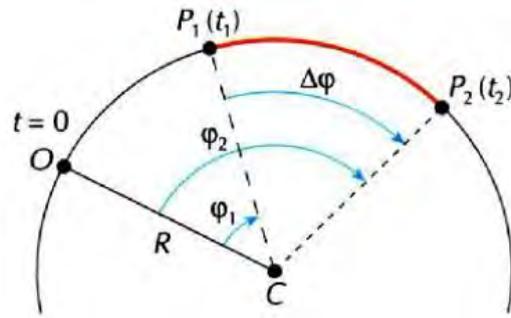
Figura:1 Momento angular



Fonte: <http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2010/01/momento-angular1.jpg>

- a- O momento angular é uma grandeza física que mede a quantidade de repouso dos corpos em rotação. É uma das principais grandezas para o estudo da Cinemática;
- b- O momento linear é uma grandeza física que mede a quantidade de movimento dos corpos em rotação. É uma das principais grandezas para o estudo da Cinemática Rotacional;
- c- O momento angular é uma grandeza física que mede a quantidade de movimento dos corpos em rotação. É uma das principais grandezas para o estudo da Cinemática Rotacional;
- d- O momento angular é uma grandeza física que mede a velocidade de movimento dos corpos em rotação. É uma das principais grandezas para o estudo da Cinemática Rotacional;
- e- Não sei a resposta.

Figura 2: Deslocamento de uma partícula em função do tempo



Fonte: <https://sites.google.com/site/solitonsufg>

- 2- A figura acima representa o movimento de uma partícula em função do tempo. Para que haja o movimento é necessário que a sua velocidade seja diferente de zero. A velocidade angular também é essencial para quantificar o momento angular. A grandeza velocidade angular é calculada:
- a- Pela razão entre espaço linear e angular;
  - b- Pela razão entre espaço angular e linear;
  - c- Pela razão entre variação do espaço angular e a variação do tempo;
  - d- Pela razão entre variação espaço linear e a variação do tempo;
  - e- Não sei a resposta.
- 3- Ocorre variação na velocidade de rotação durante o seu movimento, tanto do homem sentado no banco quanto da saltadora no trampolim, isto é explicado por um dos conceitos basilares da física. Como explicar isso do ponto de vista da física?

Figura 3: Experimento e saltadora



Fonte: [https://sites.google.com/site/solitonsufg/\\_/rsrc/1468857622238/4-3--conservacao-de-momentum-angular/voluntario\\_gira.png](https://sites.google.com/site/solitonsufg/_/rsrc/1468857622238/4-3--conservacao-de-momentum-angular/voluntario_gira.png)

<https://www.olimpiadatododia.com.br/wp-content/uploads/2021/03/luana-lira-saltos-ornamentais-1280x720.jpeg>

- a- Ocorreu variação da velocidade linear;
  - b- Isto é próprio do movimento;
  - c- A variação da velocidade angular deveu-se a uma variação da inércia do objeto;
  - d- A variação da velocidade angular deveu-se a variação do momento de inércia;
  - e- Não sei a resposta.
- 4- A dificuldade de objetos iniciarem e cessarem uma rotação podem ser medidas por (pela):
- a- Velocidade;
  - b- Inércia;
  - c- Momento de inércia;
  - d- Centro de massa;
  - e- Não sei a resposta.
- 5- O momento de inércia é uma propriedade dos corpos em movimento circular, como a roda gigante de um parque de Diversões. O momento de inércia pode ser conceituado como:

Figura 4: Roda gigante



Fonte: <https://br.depositphotos.com/29705975/stock-photo-ferris-wheel.html>

- a- Medida da distribuição da massa em torno do centro de massa;
- b- Medida da concentração da massa no eixo de rotação;
- c- Medida da distribuição da velocidade em torno do eixo de rotação;
- d- Medida da distribuição da massa em torno do eixo de rotação;
- e- Não sei a resposta.

### Questionário pós 3

Figura1: Demonstração momento angular



Fonte: <https://fisicaexpdemostrativos.uniandes.edu.co/>

- 1- Na experiência acima comprovamos a conservação do momento angular. Analisando a fórmula do momento angular  $L=I\omega$ , verificamos que a relação entre as grandezas  $I$  e  $\omega$  é de:
- a- Desproporcionalidade.
  - b- Proporcionalidade direta
  - c- Proporcionalidade.
  - d- Proporcionalidade inversa.
  - e- Não sei a resposta.
- 2- Pela demonstração podemos observar que alteração do momento de inércia acarreta uma variação da velocidade angular. Isto ocorre de forma proporcional, e o resultado é que seu produto não é alterado. Com base neste fenômeno qual o resultado esperado?
- a- Mudança do momento angular;
  - b- Variação das grandezas envolvidas;
  - c- Conservação do momento angular;
  - d- Alteração do centro de massa;
  - e- Não sei a resposta.

Figura2: Helicóptero



Fonte: [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ0Pp1PJfOiVEDQcP\\_C6d5N3xM7ChKPzCWGkxEJcB6nXTN6Xdp6UdrKa1qvOWQHZWPeGhg&usqp=CAU](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ0Pp1PJfOiVEDQcP_C6d5N3xM7ChKPzCWGkxEJcB6nXTN6Xdp6UdrKa1qvOWQHZWPeGhg&usqp=CAU)

3- A figura acima mostra um helicóptero e seus rotores que permitem que a aeronave se desloque sem que este gire no sentido contrário ao das asas rotatórias. Isto ocorreria para que a soma dos momentos angulares desse zero, para impedir que o corpo do helicóptero gire, os rotores são colocados na cauda do contrário o movimento natural faria o piloto perder o controle da aeronave. Qual o princípio físico explica a necessidade de um motor na cauda do helicóptero?

- a- Equilíbrio;
- b- Velocidade angular;
- c- Conservação do momento angular;
- d- Conservação do momento linear;
- e- Não sei a resposta.

Figura3: Saltadora e bailarina, momento de inércia



Fonte: <https://sites.google.com/site/solitonsufg/4-3--conservacao-de-momentum-angular>  
[http://1.bp.blogspot.com/-w\\_F7gj1QEM/UP\\_Rzors9fi/AAAAAAAAAjz0/58Q7EiWsU\\_Q/s400/bal.png](http://1.bp.blogspot.com/-w_F7gj1QEM/UP_Rzors9fi/AAAAAAAAAjz0/58Q7EiWsU_Q/s400/bal.png)

4- Nas figuras acima a saltadora e a patinadora recolhem seus membros inferiores e superiores respectivamente, alterando sua velocidade angular, esta variação decorre da relação com momento de inércia. Como este movimento das atletas explica a variação da velocidade angular?

- a- Ao recolher os membros as atletas alteraram suas alturas, alterando seus momentos de inércia;
- b- Ao recolher os membros as atletas alteraram seus comprimentos alterando seus momentos de inércia;
- c- Ao recolher os membros as atletas alteraram sua distribuição de massa, aproximando do eixo de rotação, alterando seus momentos de inércia;
- d- Ao recolher os membros as atletas alteraram sua distribuição de massa alterando momentos de inércia;
- e- Não sei a resposta.

Figura 4: Exemplos de rotação



Fonte: [http://static.wixstatic.com/media/c0e48f\\_66ab97f75a9d64c3c5dba9bb3b5a18be.jpg](http://static.wixstatic.com/media/c0e48f_66ab97f75a9d64c3c5dba9bb3b5a18be.jpg) ;  
[http://1.bp.blogspot.com/-w\\_F7gj1QEM/UP\\_Rzors9fl/AAAAAAAAAjz0/58Q7EiWsU\\_Q/s400/bal.png](http://1.bp.blogspot.com/-w_F7gj1QEM/UP_Rzors9fl/AAAAAAAAAjz0/58Q7EiWsU_Q/s400/bal.png) ;

- 5- As figuras acima representam exemplos onde podemos perceber a presença de conceitos físicos entre eles a conservação do momento angular. Isto acontece quando
- :
- a- A grandeza física, também chamada de quantidade momento angular, não varia, ou seja, permanece constante durante o movimento de translação de um corpo em torno de um eixo.
  - b- A grandeza física, também chamada de quantidade momento angular, varia, ou seja, não permanece constante durante o movimento de rotação de um corpo em torno de um eixo.
  - c- A grandeza física, também chamada de quantidade momento linear, não varia, ou

seja, permanece constante durante o movimento de rotação de um corpo em torno de um eixo.

d- Não sei a resposta

e- A grandeza física, também chamada de quantidade momento angular, não varia, ou seja, permanece constante durante o movimento de rotação de um corpo em torno de um eixo.