



Universidade Federal de Mato Grosso
Instituto de Física
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

**VERIFICAÇÃO DO PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA
MECÂNICA ATRAVÉS DE UM KIT EXPERIMENTAL PRODUZIDO COM
MATERIAIS DE BAIXO CUSTO**

Leidiane Aparecida de Andrade Silva

CUIABÁ – MT
Outubro de 2021

Leidiane Aparecida de Andrade Silva

**VERIFICAÇÃO DO PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA
MECÂNICA ATRAVÉS DE UM KIT EXPERIMENTAL PRODUZIDO COM
MATERIAIS DE BAIXO CUSTO**

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sabrina Silva Carara

CUIABÁ – MT

Outubro de 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S586v Silva, Leidiane Aparecida de Andrade.
VERIFICAÇÃO DO PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA
ENERGIA MECÂNICA ATRAVÉS DE UM KIT
EXPERIMENTAL PRODUZIDO COM MATERIAIS DE BAIXO
CUSTO // Leidiane Aparecida de Andrade Silva. -- 2021
246 f. ; 30 cm.

Orientador: Sabrina Silva Carara.
Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de
Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de
Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física, Cuiabá, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Energia Mecânica. 2. Aprendizagem Significativa. 3.
Experimentação. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA EM REDE NACIONAL - PROFIS
Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367 - Boa Esperança - Cep: 78060900 -Cuiabá/MT
Tel : 3615-8788 - Email : sabrina@fisica.ufmt.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO : "VERIFICAÇÃO DO PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA ATRAVÉS DE UM KIT EXPERIMENTAL PRODUZIDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO"

AUTORA: Leidiane Aparecida de Andrade Silva

defendida e aprovada em 28/10/2021.

Composição da Banca Examinadora:

Presidente Banca / Orientadora Doutora Sabrina Silva Carara
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Sabrina Carara

Examinador Interno Doutor Jeferson de Oliveira
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Jeferson de Oliveira

Examinador Interno Doutor Marcelo Paes de Barros
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Marcelo Paes de Barros

Examinador Externo Doutor José Ricardo de Sousa
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

José Ricardo de Sousa

Examinador Suplente Doutor Cristiano Rocha da Cunha
Instituição : IFMT - Campus Cuiabá - Cel. Ocatyde Jorge da Silva

Examinador Suplente Doutor Eduardo Augusto Campos Curvo
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

CUIABÁ, 28/10/2021.

Dedico este trabalho à minha saudosa mãe Zuleide, ao meu esposo Amilton que sempre me apoiou na busca por conhecimento e às minhas filhas Vitória, Maria Verônica e Lídia Cristina, que compreenderam a minha ausência mesmo estando presente, as quais são a razão da minha vida e da minha luta.

Agradecimentos

Antes de tudo, agradeço a DEUS por todas as graças e bênçãos concedidas. Em especial, agradeço por ter me concedido a oportunidade de me aperfeiçoar na docência.

Também agradeço meus queridos colegas da turma 2019 pelo apoio oferecido nas diversas situações que necessitei, ao José Carlos técnico do laboratório de Física, a meu saudoso aluno Douglas de Assis de Souza que nos deixou no mês de agosto/2021 e as estudantes do 1º ano do Ensino Médio Integrado aos cursos de Eletrotécnica, Logística e Informática, do IFMT – Campus de Primavera do Leste que mesmo sem saber, contribuíram para com esta pesquisa.

Agradeço às minhas professoras: Daniela e Iramaia, aos meus professores: Marcelo Marchiori, Marcelo Paes, Rogério e Sérgio, que contribuíram para desmistificação de falsos conceitos quase enraizados.

Em especial agradeço à minha orientadora prof.^a Dra. Sabrina Silva Carara pela paciência ao me conduzir em cada etapa deste trabalho. Também te agradeço professora por suas inúmeras correções em cada linha desta dissertação e por demonstrar sempre acreditar no meu potencial, me impulsionando à vontade de chegar cada vez mais longe.

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

*“Se eu vi mais longe, foi por estar
sobre os ombros de gigantes.”*

Isaac Newton

RESUMO

VERIFICAÇÃO DO PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA ATRAVÉS DE UM KIT EXPERIMENTAL PRODUZIDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO

Leidiane Aparecida de Andrade Silva

Orientadora: Prof^ª. Dra. Sabrina Silva Carara

A importância do estudo da Mecânica Clássica em sala de aula emerge-se pela frequência na qual esses conceitos estão presentes em diversos fenômenos e tipos de linguagem do cotidiano. Com experiências adquiridas em mais de uma década ministrando aulas de Física para estudantes do primeiro ano do Ensino Médio, foi observado que além do desinteresse pela aprendizagem, a maioria dos alunos possuem dificuldades relacionadas à definição e compreensão dos conceitos envolvendo a Energia Mecânica. Apesar de complexo, o conteúdo responsável por descrever movimentos macroscópicos da natureza é essencial para compreensão de fenômenos físicos e o desenvolvimento nas áreas sociais e tecnológicas. Porém, o conteúdo geralmente só é trabalhado de forma quantitativa, com a substituição de números em equações previamente definidas. Sem fazer uma análise teórica a partir dos conhecimentos prévios dos estudantes, o conteúdo programático torna-se abstrato e distante da realidade dos discentes, não sendo aprendido de forma clara e objetiva. Diante o cenário, me senti instigada e desafiada a propor uma sequência didática diferenciada para trazer sugestões sobre o conteúdo a partir das metodologias de Ausubel (Aprendizagem Significativa - AS) e de Delizoicov e Angotti (Os Três Momentos Pedagógicos - 3MP). As atividades foram desenvolvidas de forma remota e investigativa em cinco turmas dos cursos Técnicos em Eletrotécnica, Informática e Logística, integrados ao Ensino Médio do Instituto Federal de Mato Grosso – *Campus Primavera do Leste*. A proposta apresentada e testada tem como principal objetivo avaliar a eficácia do produto quanto à melhora na identificação e compreensão das formas da energia relacionando-as ao cotidiano e verificar a validade do Princípio de sua conservação em sistemas ideais e com atrito, utilizando três experimentos didáticos produzidos com materiais de baixo custo. Os resultados obtidos foram averiguados durante o desenvolvimento das atividades teóricas e práticas, bem como com os questionários pré-teste e pós-teste. Foi verificado que, além de potencializar uma melhor compreensão dos conceitos da Energia Mecânica e sua conservação, essa proposta também pode vir a contribuir de forma positiva às interações da relação professor-aluno, pois que a maioria dos estudantes participaram das atividades descritas na sequência didática.

Palavras-chaves: Energia Mecânica, Aprendizagem Significativa, Experimentação.

ABSTRACT

VERIFICATION OF THE PRINCIPLE OF MECHANICAL ENERGY CONSERVATION THROUGH AN EXPERIMENTAL KIT PRODUCED WITH LOW COST MATERIALS

Leidiane Aparecida de Andrade Silva

Supervisor: Prof. Dra. Sabrina Silva Carara

The importance of the study of Classical Mechanics in the classroom emerges from the frequency in which these concepts are present in various phenomena and types of everyday language. With more than a decade of experience teaching Physics classes to first year high school students, it was observed that besides the lack of interest in learning, most students have difficulties related to the definition and understanding of concepts involving Mechanical Energy. Although complex, the content responsible for describing macroscopic movements of nature is essential for understanding physical phenomena and the development in social and technological areas. However, the content is usually worked in a quantitative way, with the substitution of numbers in equations previously defined. Without making a theoretical analysis from the students' previous knowledge, the programmatic content becomes abstract and distant from the students' reality, not being learned in a clear and objective way. Given this scenario, I felt instigated and challenged to propose a differentiated didactic sequence to bring suggestions about the content from the methodologies of Ausubel (Meaningful Learning - AS) and Delizoicov and Angotti (The Three Pedagogical Moments - 3MP). The activities were developed in a remotely and investigative way in five classes of Technical courses in Electrotechnics, Computing and Logistics, integrated to the High School of the Federal Institute of Mato Grosso - Primavera do Leste Campus. The main objective of the presented and tested proposal is to evaluate the efficacy of the product as to the improvement in the identification and comprehension of the forms of energy relating them to everyday life and to verify the validity of the Principle of its conservation in ideal systems and with friction, using three didactic experiments produced with low cost materials. The results obtained were verified during the development of theoretical and practical activities, as well as with the pre-test and post-test questionnaires. It was verified that besides potentiating a better understanding of the concepts of Mechanical Energy and its conservation, this proposal can also contribute in a positive way to the interactions of the teacher-student relationship, since most students participated in the activities described in the didactic sequence.

Keywords: Mechanical Energy, Meaningful Learning, Experimentation.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Leis e Orientações que Regem a Educação Básica.....	1
1.2	Ensino Remoto em Tempos de Pandemia	4
1.3	Objetivos	5
1.3.1	Objetivo Geral	5
1.3.2	Objetivos Específicos	5
2	Referencial Teórico	6
2.1	Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) segundo David Ausubel.....	6
2.1.1	Origem dos Subsúncoros	7
2.1.2	Organizadores Prévios	8
2.1.3	Tipos de Aprendizagem Significativa	9
2.1.4	Aprendizagem Significativa × Aprendizagem Mecânica	10
2.1.5	Esquema Geral de Aprendizagem	11
2.1.6	As fases da aprendizagem significativa.....	14
2.1.7	Formas de Avaliação	15
2.2	Momentos Pedagógicos	16
2.2.1	Problematização Inicial	16
2.2.2	Organização do Conhecimento.....	17
2.2.3	Aplicação do Conhecimento.....	18
3	Fundamentação Teórica	19
3.1	Importância do Estudo do Conceito de Energia	19
3.2	Energia Cinética.....	20
3.3	Trabalho e Energia Cinética	21
3.4	Trabalho de Uma Força Conservativa	25

3.5	Energia Potencial	26
3.5.1	Trabalho e Energia Potencial Gravitacional	27
3.5.2	Trabalho e Energia Potencial Elástica	29
3.6	Conservação da Energia Mecânica	30
3.7	Trabalho de uma força não conservativa	30
4	Metodologia	33
4.1	Metodologia de Ensino	33
4.2	Metodologia baseada na Aprendizagem Significa e nos Três Momentos Pedagógicos	34
4.3	Sequência Didática Baseada nos Três Momentos Pedagógicos e na Aprendizagem Significativa	35
4.4	Desenvolvimento da Sequência Didática	35
4.4.1	I Etapa – 50 minutos	35
4.4.2	II Etapa – 20 minutos	36
4.4.3	III Etapa – 30 minutos	38
4.4.4	IV Etapa – 100 minutos	39
4.4.5	V Etapa – 100 minutos	41
4.4.6	VI Etapa – 100 minutos	44
4.4.7	VII Etapa – 50 minutos	45
4.5	Metodologia de Pesquisa e Contexto da Pesquisa	45
5	Resultados e Discussão	48
5.1	Transmissão do Vídeo	48
5.2	Principais Tipos de Energia	49
5.3	Energia Potencial e Cinética	51
5.4	Princípio da Conservação da Energia Mecânica	57
5.5	Experimentos	58
5.6	Resultados dos Questionários Pré-Teste e Pós-Teste:	59

5.6.1	Análise da 1ª Questão	60
5.6.2	Análise da 2ª Questão	62
5.6.3	Análise da 3ª Questão	64
5.6.4	Análise da 4ª Questão	67
5.6.5	Análise da 5ª Questão	69
5.6.6	Análise da 6ª Questão	71
5.6.7	Análise da 7ª Questão	74
5.6.8	Análise da 8ª Questão	77
6	Conclusão	81
7	Referências	83
	APÊNDICE A: Cronograma da Sequência Didática	89
	APÊNDICE B: Questionário Pré-Teste e Pós-teste	90
	APÊNDICE C: Sugestão de Gabarito dos Questionários Pré-teste e Pós-teste	93
	APÊNDICE D: Atividade Experimental Sobre a Verificação do Princípio da Conservação de Energia Mecânica Através do <i>Looping</i>	96
	APÊNDICE E: Sugestão de Gabarito da Atividade Experimental Sobre a Verificação do Princípio da Conservação de Energia Mecânica Através do <i>Looping</i>	103
	APÊNDICE F: Atividade Experimental Sobre a Conservação de Energia Mecânica em Um Sistema Massa-mola	110
	APÊNDICE G: Sugestão de Gabarito da Atividade Experimental Sobre a Conservação de Energia Mecânica em Um Sistema Massa-mola	117
	APÊNDICE H: Experimento Sobre a Verificação do Princípio da Conservação de Energia Mecânica em um Plano Inclinado com Atrito.....	124
	APÊNDICE I: Sugestão de Gabarito da Atividade Experimental Sobre a Conservação de Energia Mecânica em Um Plano Inclinado com Atrito.....	137
	APÊNDICE J: Material para o professor	149

Lista de Ilustrações

Figura 1: Esquema para representar o conceito subsunçor	7
Figura 2: Esquema que Ilustra a Aprendizagem Significativa Representacional	9
Figura 3: Esquema geral de aprendizagem de alguns conceitos segundo Ausubel	11
Figura 4: Continuum da Aprendizagem Mecânica à Aprendizagem Significativa.....	12
Figura 5: Mapa Conceitual referente ao Princípio da Conservação de Energia Mecânica	13
Figura 6: Modelo de Transmissão e Recepção Significativa	14
Figura 7: Trabalho de Uma Força Constante não Paralela ao vetor Deslocamento.....	23
Figura 8: Trabalho de uma força variável	24
Figura 9: Deslocamento de um objeto sob ação de forças conservativas	25
Figura 10: O trabalho total de uma força conservativa em um caminho fechado é sempre nulo.	26
Figura 11: Objeto em queda livre.....	28
Figura 12: Sistema massa-mola.	29
Figura 13: Força de atrito em um plano horizontal.....	30
Figura 14: Força de atrito em um plano inclinado.	31
Figura 15: Fontes de Energia..	36
Figura 16: Matriz Elétrica Brasileira e Mundial.	37
Figura 17: Transformação de Energia.....	37
Figura 18: Petróleo como Fonte de Energia e Seus Derivados.	38
Figura 19: O Sol como a maior fonte de Energia.....	38
Figura 20: Conversão das Principais Unidades de Energia.....	39
Figura 21: Energia Cinética.....	40

Figura 22: Energia Potencial Gravitacional e Energia Potencial Elástica.	40
Figura 23: Energia Mecânica e Sua Conservação.	41
Figura 24: Sistema massa-mola horizontal.	42
Figura 25: Mapa Mental do Princípio da Conservação da Energia Mecânica.	42
Figura 26: Forças Atuantes em um corpo sobre um plano inclinado com atrito.	43
Figura 27: Dissipação de Energia Mecânica em Sistemas com Atrito.	44
Figura 28: IFMT – Campus Primavera do Leste.....	45
Figura 29: Captura de tela do vídeo	48
Figura 30: Quantidade de Usinas Hidrelétricas no Brasil	49
Figura 31: Quantidade de Usinas Nucleares no Brasil.....	50
Figura 32: Quantidade de Usinas Nucleares no Japão	50
Figura 33: Resolução do Exemplo Para Determinação da Intensidade da Energia Cinética.....	51
Figura 34: Resolução do Exemplo Para Determinação da Intensidade da Energia Potencial Gravitacional.....	52
Figura 35: Cachoeiras com Queda d’água de diferentes alturas	52
Figura 36: Resolução do Exemplo Para Determinação da Intensidade	53
Figura 37: Lei de Hooke e a Energia Potencial Elástica.	53
Figura 38: Exemplo Envolvendo Transformação da Energia Potencial	54
Figura 39: Resolução do Exemplo Envolvendo o Princípio da Conservação.....	55
Figura 40: Exemplo Envolvendo Transformação da Energia Cinética em	56
Figura 41: Resolução do Exemplo Envolvendo o Princípio da	56
Figura 42: Dissipação da Energia Mecânica em Sistemas com Atrito.	57
Figura 43: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 3	60
Figura 44: Questionário pós-teste - Resposta de um estudante da turma 3.....	61
Figura 45: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 4	63
Figura 46: Questionário pós-teste - Resposta de um estudante da turma 4.....	63

Figura 47: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 4.....	65
Figura 48: Questionário pós-teste - Resposta de um estudante da turma 4.....	66
Figura 49: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 1.....	67
Figura 50: Questionário pós-teste - Resposta de um estudante da turma 4.....	68
Figura 51: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 5.....	69
Figura 52: Questionário pós-teste - Resposta de estudante da turma 5.....	70
Figura 53: Menina descendo o escorregador.....	71
Figura 54: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 1.....	72
Figura 55: Questionário pós-teste - Resposta de um estudante da turma 1.....	73
Figura 56: Movimento em uma pista de skate.....	74
Figura 57: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 2.....	74
Figura 58: Questionário pós-teste - Resposta de um estudante da turma 2.....	76
Figura 59: Bola de sinuca deslizando em pistas diferentes.....	77
Figura 60: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 5.....	78
Figura 61: Questionário pós-teste - Resposta de um estudante da turma 5.....	79

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Desempenho dos estudantes de cada turma na 1ª Questão	60
Gráfico 2: Variação Percentual Média do Desempenho	61
Gráfico 3: Desempenho dos estudantes de cada turma na 2ª Questão	62
Gráfico 4: Variação Percentual Média do Desempenho	64
Gráfico 5: Desempenho dos estudantes de cada turma na 3ª Questão	65
Gráfico 6: Variação Percentual Média do Desempenho	66
Gráfico 7: Desempenho dos estudantes de cada turma na 4ª Questão	68
Gráfico 8: Variação Percentual Média do Desempenho	69
Gráfico 9: Desempenho dos estudantes de cada turma na 5ª Questão	70
Gráfico 10: Variação Percentual Média do Desempenho	71
Gráfico 11: Desempenho dos estudantes de cada turma na 6ª Questão	72
Gráfico 12: Variação Percentual Média do Desempenho	73
Gráfico 13: Desempenho dos estudantes de cada turma na 7ª Questão	75
Gráfico 14: Variação Percentual Média do Desempenho	77
Gráfico 15: Desempenho dos estudantes de cada turma na 8ª Questão	78
Gráfico 16: Variação Percentual Média do Desempenho	79

Lista de Siglas

AS: Aprendizagem Significativa

AVA: Ambiente Virtual de Aprendizagem

CBC: Currículo Básico Comum

IFMT: Instituto Federal de Mato Grosso

LDB: Lei de Diretrizes e Bases

PCN: Parâmetros Curriculares Nacionais

PCNEM: Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

TAS: Teoria da Aprendizagem Significativa

UEPS: Unidades de Ensino Potencialmente Significativas

3MP: Três Momentos Pedagógicos

1 Introdução

1.1 Leis e Orientações que Regem a Educação Básica

De acordo com a lei n. 9.394, da Lei de Diretrizes e Bases (LDB) de 20 de dezembro de 1996, no Artigo 36, constata-se que “ o ensino médio é considerado etapa final da educação básica, compreendida entre os anos de estudo regular de um indivíduo, tendo como finalidades: fornecer meios para o educando construir sua identidade na sociedade, progredir em sua constituição profissional, na continuação da sua concepção relacionada aos estudos e garantir ao mesmo uma formação comum para o exercício da cidadania.”

Em 1999, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) passaram a indicar conectivos, os quais indicam que o aprendizado deve ser compreendido através de competências e habilidades a serem desenvolvidas e elaboradas pelos professores juntamente aos alunos por área de seus respectivos conhecimentos.

Segundo os PCNs, as competências e habilidades na área da Física estão divididas em: *representação e comunicação*, onde nesse aspecto procura-se desenvolver a capacidade de comunicação e compreensão dos enunciados envolvendo símbolos e grandezas físicas, ler e interpretar tabelas, gráficos e diagramas; *investigação e compreensão*, buscando ampliar a capacidade de questionar processos naturais e tecnológicos, identificando parâmetros relevantes diante de situações físicas, bem como desenvolver o raciocínio e a capacidade de aprender e, conseqüentemente, aspectos cognitivos que favoreçam a aprendizagem; *contextualização sociocultural*, que visa compreender e utilizar a ciência como elemento de interpretação, intervenção e solucionadora de problemas, e a tecnologia como conhecimento sistemático de sentido prático.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) determinam que o ensino de Física deva ser trabalhado adequando-o à realidade escolar, com o conteúdo relacionado a esta e ao cotidiano do aluno.

Não se trata, portanto, de elaborar novas listas de tópicos de conteúdo, mas, sobretudo de dar ao ensino de Física novas dimensões, que irá promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem (BRASIL, 1999, p. 230).

Atualmente, o ensino visa uma intensa renovação pedagógica que busca a construção de uma educação emancipatória, democrática, inclusiva e de qualidade, direcionando esforços para a aprendizagem e atribuindo aos educandos o papel de sujeitos ativos no processo de construção de conhecimentos e sua conseqüente formação de cidadania. Esses fatores podem ser associados com a realidade do atual ensino médio, em que as aulas de Física deixam bastante a desejar por motivos que compreendem: a falta de motivação dos alunos, por considerarem a disciplina como um ato de decorar fórmulas; falta de qualificação do professor, pois na maioria das vezes, o conteúdo é somente disponibilizado no quadro, não fazendo nenhum tipo de relação com o mundo real do aluno. Assim como os estudantes, muitos docentes se sentem desmotivados para dialogar e instigar os alunos.

Como a Física é a ciência que descreve e traz a compreensão dos fenômenos que acontecem na natureza, ela está sempre em contínua evolução, procurando apresentar e demonstrar novos fenômenos e conceitos, os quais estão sempre presentes em nosso dia a dia. De modo geral, essa ciência faz parte de todas as atividades realizadas pelo ser humano.

Segundo os PCNs (2002), o professor deve utilizar as mais variadas atividades, a fim de trabalhar Ciências Naturais, possibilitando assim que os alunos possam entrar realmente em contato com temas ligados à aprendizagem científica e tecnológica.

A partir das observações realizadas durante dez anos de prática docente, foi possível constatar a carência em relação à compreensão dos conceitos e fenômenos da disciplina por parte dos estudantes do ensino médio das escolas públicas, nas quais fui e sou professora, bem como o aparente desinteresse que eles demonstram em compreender/contribuir e se envolverem de forma expressiva durante uma aula expositiva.

Diante às constatações realizadas em sala de aula, senti a necessidade emergente em adotar metodologias diferenciadas com o objetivo de contribuir na busca de uma possível solução.

Pensando na concretização da construção do conhecimento, este trabalho propõe a construção de um “*Caderno de Práticas Experimentais Produzidas Com Materiais de Baixo Custo Para Verificação do Princípio da Conservação de Energia Mecânica*”, que será disponibilizado aos professores de Física do ensino médio das escolas públicas do

município de Primavera do Leste - MT, e também para outros docentes que tiverem interesse em adotar a metodologia proposta.

A opção desse trabalho foi pela metodologia baseada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov e Angotti (1994) e na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel (1982), visando promover mudança no método de ensino ainda vigente, tendo como base a identificação e classificação dos movimentos vivenciados no cotidiano. Nesta perspectiva, as atividades visam tornar o aluno capaz de identificar e interpretar situações-problemas, que exigem o conhecimento de Física, em particular, aqueles relacionados com a Energia Mecânica.

Como a maioria das escolas públicas possuem turmas de ensino médio bastante heterogêneas, o professor regente necessita proporcionar condições para que os alunos consigam realizar suas atividades de forma investigativa, valorizando suas concepções prévias durante a exploração da situação problema no decorrer das etapas do processo ensino-aprendizagem, assim, construindo novos conhecimentos.

Utilizar atividades investigativas como ponto de partida para desenvolver a compreensão de conceitos é uma forma de levar o aluno a participar de seu processo de ensino aprendizagem, sair de uma postura passiva e começar a perceber e a agir sobre o seu objeto de estudo, relacionando o objeto com acontecimentos e buscando a causa dessa relação, procurando, portando, uma explicação causal para o resultado de suas ações e/ou interações (CARVALHO, 2004, p.22).

Considerando esta realidade, buscou-se promover a motivação necessária à aprendizagem em três turmas de Ensino Médio Integrados do IFMT – *Campus* de Primavera do Leste, despertando nos alunos o interesse e o entusiasmo, permitindo, assim, poder chegar ao conhecimento previsto através do ensino da identificação dos tipos de energia e do Princípio da Conservação da Energia Mecânica, assim como, a verificação da sua validade através de um kit experimental construído com materiais de baixo custo.

Atualmente, são encontrados diversos trabalhos com elaboração de sequências didáticas para ensino da conservação da energia. Um deles, titulado como “*Replanejando uma Sequência de Ensino Investigativa Sobre Conservação da Energia*”¹, os autores trazem a importância da utilização de experimentos como uma das ferramentas necessárias para a construção do conhecimento. No artigo “*Atividades experimentais*

¹ Fonte: Experiências em Ensino de Ciências. v. 13. n. 5. Cuiabá. 2018. Disponível em: <<https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/92/75>>

sobre conservação da energia mecânica”², os autores ressaltam que o conceito energia é um dos pilares para compreensão de outros conceitos e fundamental na resolução de questões com situações problemas e propõe a execução de dois experimentos produzidos com materiais de baixo custo, trazendo sugestões para minimização de dificuldades que podem surgir, desde o acesso aos materiais utilizados nas práticas.

O pesquisador Carlos Roberto, autor da dissertação “*Uma Sequência Didática Para Ensino da Transformação e Conservação da Energia sob a Perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa*”³, expõe as contribuições do desenvolvimento de uma sequência didática baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa para estudo do princípio da conservação da energia em uma turma de ensino médio integrado ao curso de manutenção e suporte em informática.

Nos próximos capítulos contemplaremos a importância do estudo dos conceitos de energia descritos nos referenciais teóricos, bem como a metodologia adotada e o desenvolvimento da sequência didática.

Encerraremos com os capítulos dos resultados obtidos e as considerações finais sobre a pesquisa realizada.

1.2 Ensino Remoto em Tempos de Pandemia

Em meados de março de 2020, a população nacional entrou em confinamento devido à pandemia da Covid-19 em solo brasileiro. Na área da educação tivemos que nos adaptar com a atual situação, através da utilização de ferramentas tecnológicas digitais para conseguir dar continuidade no processo de ensino aprendizagem.

As aulas remotas foram, de certa forma, impostas pelo isolamento social decorrente a disseminação do coronavírus, porém, pode ser uma alternativa eficiente nessa “nova educação” dependendo dos métodos de abordagens de ensino utilizados pelos professores, ultrapassando um cumprimento de carga horária para dar vez ao incentivo da proatividade nos estudantes (MENDES; OLIVEIRA, pg. 3, 2020).

Oliveira e Almeida (2021), mostram que houve desestímulos tanto de alunos quanto de professores devido à falta de capacitação para manipulação de diferentes

² Fonte: Física na Escola. V. 13, n. 1. Curitiba, 2012. Disponível em: <<http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol13-Num1/a061.pdf>>.

³ Dissertação (Mestrado em Educação para Ciências e Matemática) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Jataí, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/738>>.

recursos necessários durante o ensino remoto e devido às mudanças abruptas que podem “gerar problemas na mesma velocidade que os novos recursos vão surgindo. ” Porém, Melo e França-Carvalho (2020), ressalta que em tempos de pandemia tanto a gestão quanto a coordenação e os professores devem dispor de condições indispensáveis para garantir o desenvolvimento das aulas de forma remota aos estudantes, por intermédio de diferentes ferramentas facilitadoras do processo ensino aprendizagem, como os materiais didáticos específicos para esse momento. Segundo as autoras, essas estratégias podem [...]

“evitar a perda do vínculo do estudante com a escola, o que pode levar à evasão e abandono; e fornecer assistência aos educandos durante o período de pandemia e evitar retrocessos na aprendizagem. ”⁴

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é avaliar a eficácia do produto educacional quanto à melhora na identificação e compreensão das formas da energia mecânica relacionando-as ao cotidiano e verificar a validade do Princípio de sua conservação em sistemas ideais e com atrito, onde utilizaremos três experimentos didáticos produzidos com materiais de baixo custo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar as principais fontes e tipos de energia que são utilizadas no cotidiano;
- Compreender os conceitos de Energia Potencial Gravitacional e Potencial Elástica;
- Compreender o conceito de Energia Cinética;
- Instigar os estudante a coletar dados dos experimentos;
- Verificar o princípio da conservação da energia em sistemas ideais;
- Verificar o princípio da conservação da energia em sistemas com atrito.

⁴ Fonte: EPedue, Revista Epistemologia e Práxis Educativa, v. 3, n. 3, 2020. Disponível em:<<https://revistas.ufpi.br/index.php/epeduc/article/view/12148>>

2 Referencial Teórico

2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) segundo David Ausubel

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) pode ser definida como um processo no qual uma nova informação interage com a estrutura cognitiva de maneira concreta e intencional denominada subsunçor (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980).

“Para Ausubel, Aprendizagem Significativa (AS) é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo (MOREIRA, 1999, p. 153).”

A proposta da AS se baseia na criação de seqüências de ensino fundamentadas teoricamente, utilizando material significativo, que esteja relacionado com a estrutura cognitiva do aluno de maneira não literal e não arbitrária, evitando a memorização, o que pode levá-lo à aprendizagem mecânica.

Ausubel (1980) defende que o verdadeiro ensino é capaz de levar os estudantes a uma abordagem concreta na aprendizagem pretendida, instigando os alunos a questionarem, apresentar soluções de problemas em relação ao tópico trabalhado. Isso significa que, a partir da perspectiva do aluno, eles possam a vir se envolver significativamente. Também ressalta que, para ocorrer a AS o professor deve utilizar material potencialmente significativo que possa interagir com a estrutura de conhecimento do aluno, além da disposição do próprio estudante em querer aprender.

De acordo com Ausubel (2000, p.77)

First, by *nonarbitrarily* relating potentially meaningful material to relevant established (anchoring) ideas in their cognitive structures, learners are able effectively to exploit their own existing knowledge as an ideational and organizational matrix for the incorporation, understanding, retention, and organization of large bodies of new ideas.

O trecho a seguir foi traduzido e adaptado pela autora desta dissertação:

Em primeiro lugar, ao relacionar de forma não arbitrária o material potencialmente significativo às ideias relevantes estabelecidas (ancoragem) em suas estruturas cognitivas, os alunos são capazes de explorar efetivamente o próprio conhecimento existente com o conteúdo idealizado e organizado para a incorporação, compreensão e retenção de novas ideias.

Moreira (2011) sugere que os professores adotem metodologias diferenciadas, em especial as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), que são voltadas à construção do conhecimento. Pois, segundo o autor muitos docentes da Educação Básica ainda trabalham os temas que envolve a disciplina Física de maneira abstrata e sem a presença de algum tipo de material significativo, levando o aluno a se sentir cada vez mais distante do conteúdo desenvolvido com a sua realidade, já que com frequência suas experiências e concepções são desconsideradas neste processo. Isso faz com que o estudante passe a considerar o conteúdo como “algo” inútil a ser compreendido e imiscível com a sua bagagem de conhecimento, levando-o à desmotivação.

2.1.1 Origem dos Subsunoçores

Os subsunoçores são o principal ponto da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. O termo subsunçor é comum na Psicologia para remeter ao que pode ser dito como estrutura cognitiva própria de cada indivíduo, neste caso o aluno, responsável em facilitar novas aprendizagens.

De acordo com Moreira (1999), as informações no cérebro humano são altamente organizadas e hierárquicas quanto aos aspectos conceituais de aprendizagem, pois são capazes de armazenar situações prévias que servirão como âncora, possibilitando dar significado ao novo conhecimento. Esse processo de ancoragem da nova informação resulta em crescimento e modificação do conceito subsunçor.

Porém, os subsunoçores podem apresentar-se de maneira instável e diferenciada cognitivamente, levando a significados nem sempre coerentes com os novos conhecimentos apresentados ou descobertos pelo aluno, conforme pode ser visto no esquema da figura. 1.



Figura 1: Esquema para representar o conceito subsunçor

Fonte: Autoria própria, 2020

2.1.2 Organizadores Prévios

Os Organizadores prévios têm como finalidade fornecer ao docente o “ponto de partida” para o desenvolvimento das etapas do novo conhecimento através de materiais potencialmente significativos mais adequados para o sujeito analisado, servindo de ponte entre o que o estudante já sabe e o que deve ter conhecimento para que ocorra a AS.

Ausubel, por outro lado, recomenda o uso de organizadores prévios que sirvam de âncora para a nova aprendizagem e levem ao desenvolvimento de conceitos subsunçores que facilitem a aprendizagem subsequente. O uso de organizadores prévios é uma estratégia proposta por Ausubel para, deliberadamente, manipular a estrutura cognitiva a fim de facilitar a aprendizagem significativa (MOREIRA e MASINI, 1982, p. 11).

Esses materiais potencialmente significativos podem vir em diversos formatos, como:

- Textos;
- Figuras;
- Vídeos;
- Demonstrações experimentais;
- Gráficos.

Como já foi dito, só ocorrerá aprendizagem significativa se o professor considerar os conhecimentos prévios do estudante, verificando posteriormente se o aluno tem os subsunçores necessários para atuar como ponte para que a aprendizagem do novo conceito aconteça de maneira significativa. Caso o aprendiz não possua os subsunçores essenciais para aprendizagem significativa de um novo conteúdo, há a necessidade de modificar a estrutura cognitiva do aluno através da utilização de organizadores prévios.

A seguir, cito algumas características dos organizadores prévios comparados ao novo conteúdo a ser aprendido:

- É inclusivo;
- Possui maior nível de abstração;
- É mais geral.

Além dessas características, os materiais potencialmente significativos tomados como organizadores prévios devem ser apresentados de forma que o estudante possa

relacioná-lo com seu cotidiano e fazer “sentido” para o processo de ensino aprendizagem de maneira significativa.

2.1.3 Tipos de Aprendizagem Significativa

- **Representacional**

Esse tipo de aprendizagem significativa é baseado na atribuição de significados a alguns símbolos como mostra o exemplo representado na figura 2.

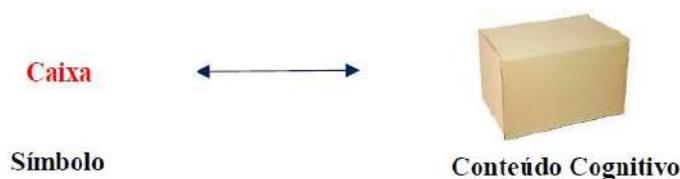


Figura 2: Esquema que Ilustra a Aprendizagem Significativa Representacional

Fonte: Autoria própria, 2020

Depois de algum tempo, somente a exposição da palavra “caixa” faz com que o indivíduo comece a relacionar a palavra à imagem do objeto, sem a apresentação do mesmo, e passa a concluir que o símbolo representado pela palavra “caixa” possui formato retangular.

O processo através do qual ele aprende isso, denominado aprendizagem representacional, é coextensivo com o processo pelo o qual novas palavras passam a representar para ele as ideias ou objetos correspondentes aos quais as palavras se referem. As novas palavras passam a significar para ele as mesmas coisas que os referentes e remetem ao mesmo conteúdo significativo diferenciado (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980, p. 39).

- **De Conceitos**

Para Ausubel, a AS por conceitos possui atributos de condição geral nomeados por certos símbolos. A aquisição de conceitos pode ser por formação ou assimilação.

A formação de conceitos pode ser notada em estudantes de qualquer idade, sendo mais comum a observação no período pré-operacional do desenvolvimento cognitivo. Já a assimilação de conceitos ocorre através da obtenção de conceitos secundários pelo aluno que possui completo desenvolvimento cognitivo.

Na formação de conceitos, os atributos criteriais dos conceitos são adquiridos pela experiência direta [...]. É um processo de aprendizagem por descoberta. “Entretanto, à medida que a criança vai adquirindo uma

determinada quantidade de conceitos por esse processo, vai se tornando capaz de aprender novos conceitos por assimilação, pois os atributos criteriosos desses conceitos podem ser apresentados (aprendizagem por recepção) em termos de novas combinações de conceitos (e referentes) já existentes na estrutura cognitiva da criança (MOREIRA, 2006, p.26).

- **Proposicional.**

Na aprendizagem proposicional, o objetivo é compreender a importância do conhecimento proposto. No entanto, é necessário antes saber o significado dos conceitos envolvidos, que irão interagir com os conhecimentos considerados importantes criados na estrutura cognitiva e, dessa relação, passe a manifestar os significados da nova sugestão.

2.1.4 Aprendizagem Significativa × Aprendizagem Mecânica

Ausubel (1980) definiu a Aprendizagem Mecânica, ou também denominada como Aprendizagem Automática, como sendo a aprendizagem de novos conteúdos com a mínima ou nenhuma agregação com conhecimentos prévios do estudante. Na Aprendizagem Mecânica, os novos conteúdos não interagem com os subsunçores, ficando distribuídos de forma não organizada na estrutura cognitiva do aluno. Para Ausubel, a AS e a Aprendizagem Mecânica não são opostas, mas ambas pertencem ao processo contínuo de aprendizagem. “Na verdade, Ausubel não estabelece a distinção entre aprendizagem significativa e mecânica como sendo uma dicotomia, e sim como um *continuum* (MOREIRA, 2006, p. 17) ”.

Em certas ocasiões existe a necessidade de Aprendizagem Mecânica através da memorização de informações sem a presença de interação com os conhecimentos prévios, caso estes existam. No entanto, este tipo de aprendizagem torna-se útil quando o aluno não possui nenhuma ideia na área.

Moreira (1999, p. 154) aponta que “ [...] a Aprendizagem Mecânica é sempre necessária quando o indivíduo adquire informações em uma área de conhecimento completamente nova para ele”. Também ressalta que a Aprendizagem Mecânica está presente até o momento em que alguns novos conhecimentos do mesmo conteúdo façam parte da estrutura cognitiva do estudante, servindo como subsunçores pouco elaborados. A aprendizagem passa a se tornar significativa quando torna possível fazer a ancoragem dos subsunçores às novas informações.

2.1.5 Esquema Geral de Aprendizagem

Para Ausubel, o professor deve levantar os subsunçores presentes na estrutura cognitiva do aluno, e a partir deste utilizar-se destes conhecimentos prévios para o desenvolvimento da aprendizagem do novo conhecimento, relacionando os conteúdos para que o estudante se sinta motivado a relacionar o material atual de forma não literal e não arbitrária, levando-o à Aprendizagem Significativa através da mudança ocorrida em sua estrutura cognitiva.

Na figura 3 abaixo é exibido o esquema de Aprendizagem segundo Ausubel. Pode-se notar que os organizadores prévios devem ser expostos no início das atividades. No entanto, eles necessitam ser formulados de acordo com as características de aprendizagem do estudante, considerando o aproveitamento de conhecimentos prévios, denominados subunçores, caso estejam presentes.

Na aprendizagem por descoberta, o docente disponibiliza aos estudantes um material potencialmente significativo do qual o aluno retira informações coerentes para o ponto de vista dele (figura 4). Mas, na aprendizagem por recepção o conteúdo é apresentado em sua forma final.

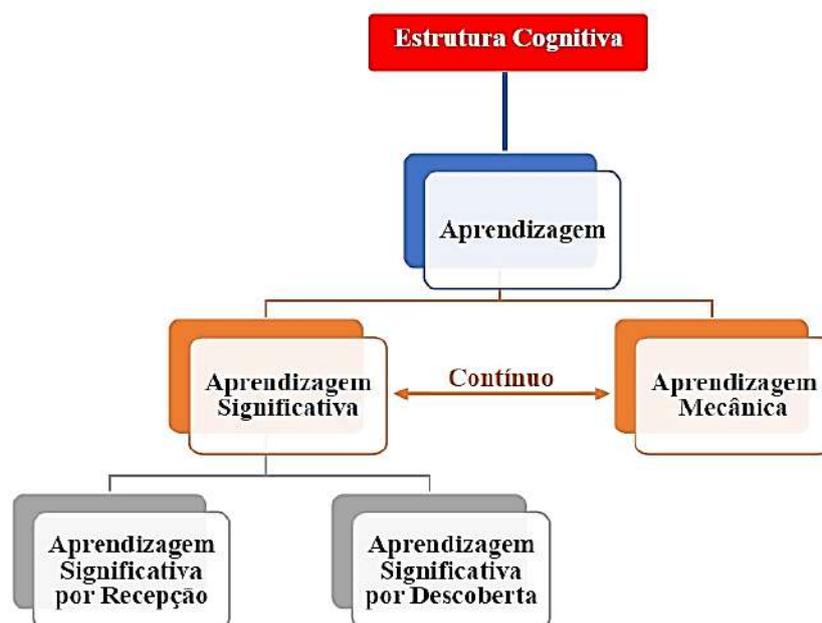


Figura 3: Esquema geral de aprendizagem de alguns conceitos segundo Ausubel
Fonte: Autoria própria, 2021

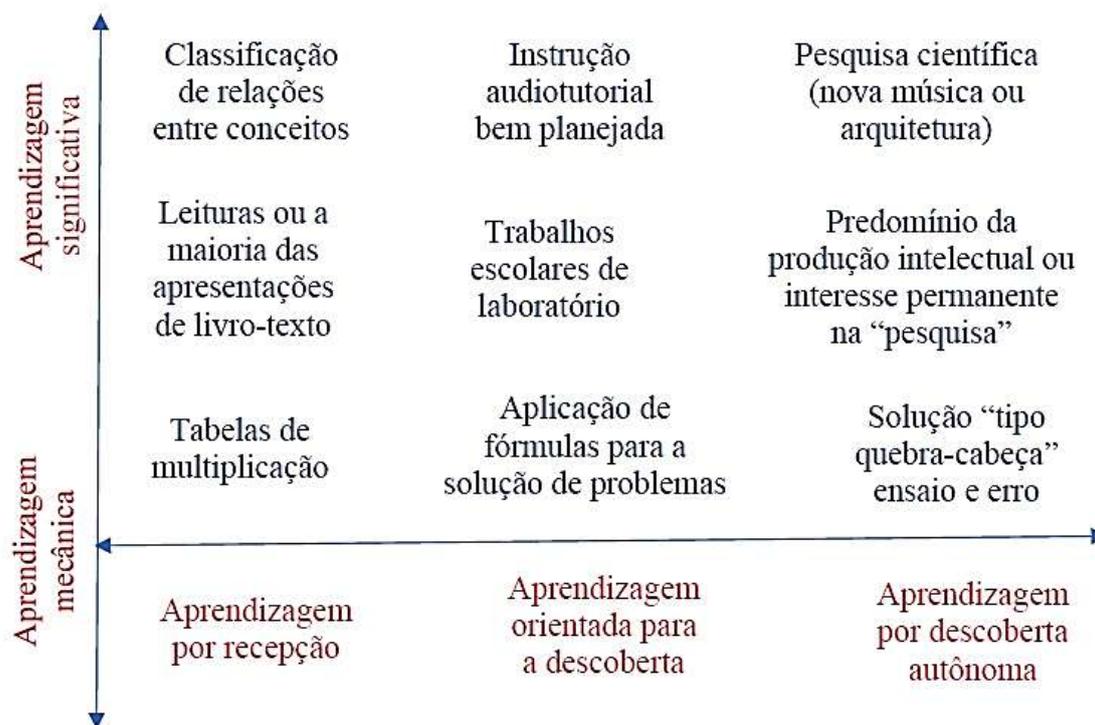


Figura 4: Continuum da Aprendizagem Mecânica à Aprendizagem Significativa⁵

Aprender através da descoberta ou por recepção pode ser ou não significativo. Para Moreira (1999), apesar do conteúdo obtido na recepção ser utilizado para encontrar soluções para situações problemas, pode haver sobreposição entre os conteúdos aprendidos nas aprendizagens por recepção e descoberta.

Se o conteúdo se relacionar aos conceitos subsunçores na estrutura cognitiva do estudante, pode levá-lo à aprendizagem significativa. Moreira (1988, p. 87-95) indica aos docentes, a utilização de Mapas Conceituais como uma das ferramentas para análise da estrutura cognitiva dos estudantes a partir da presença ou não de subsunçores exigidos para a aprendizagem do novo conhecimento. Os Mapas Conceituais são utilizados para promover, classificar e integrar os novos conhecimentos de forma organizada.

A figura 5 exhibe um exemplo de mapa conceitual do conteúdo Energia Mecânica e sua conservação.

⁵ **Fonte:** AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980, p. 21.

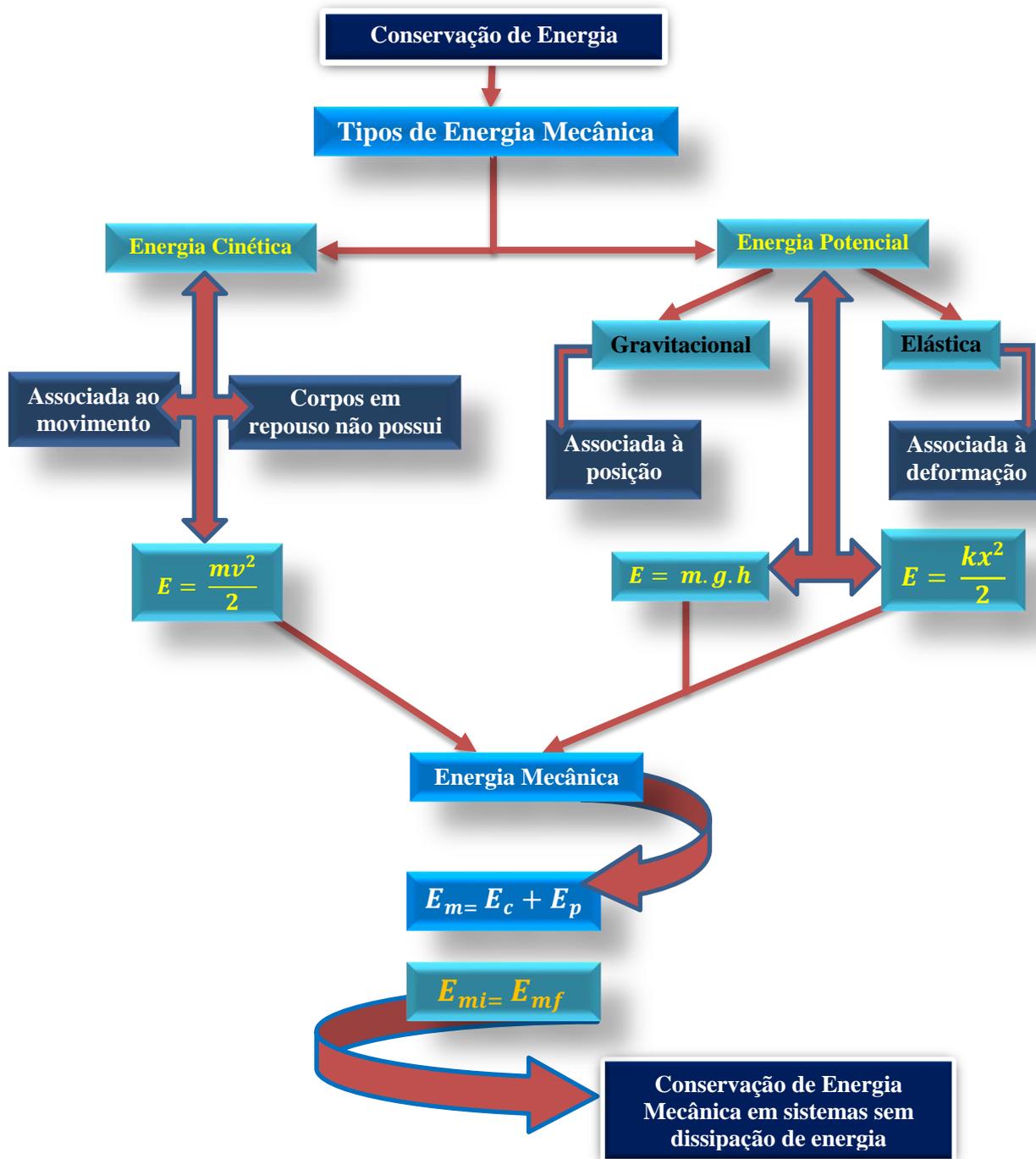


Figura 5: Mapa Conceitual referente ao Princípio da Conservação de Energia Mecânica
Fonte: Autoria própria, 2021

Na aprendizagem mecânica, os alunos lembram apenas das informações do conteúdo apresentado. Não vão modificar este conteúdo nem absorver conhecimentos

anteriores. O esquema representado na figura 6, mostra as fases do processo de transmissão e recepção de forma significativa.



Figura 6: Modelo de Transmissão e Recepção Significativa
Fonte: Autoria própria, 2021

2.1.6 As fases da aprendizagem significativa

- **Fase inicial**

Na fase inicial, ocorre a busca da solução da situação problema que foi proposta, através dos conhecimentos prévios.

- **Fase intermediária**

Na fase intermediária, os organizadores prévios são utilizados pelo docente como ferramentas de recurso. Esses materiais têm o objetivo de relacionar os conhecimentos prévios e experiências vivenciadas no cotidiano com os novos conceitos de aprendizagem.

- **Fase final**

Na fase final, ocorre a aplicação do conhecimento da aprendizagem transferida através de exercícios e a resolução de novas situações problemas, visando demonstrar a eficácia da aprendizagem.

2.1.7 Formas de Avaliação

O método de avaliação da AS acontece de três formas, são elas: diagnóstica, formativa e somativa.

No formato de diagnóstico, o objetivo é determinar se o novo conhecimento precisa ser processado de forma significativa. Na aprendizagem formativa, busca-se aprimorar o processo de absorção da aprendizagem significativa ante às causas dominantes identificadas anteriormente. Por último, na forma somativa busca-se além da eficiência dos resultados da AS a situação final de aprendizagem do estudante referente ao processo.

Segundo Perizari (2002), para que haja AS é exigido que duas condições sejam satisfeitas: a disposição do aluno em aprender e o material deve ser potencialmente significativo. Se o estudante não se sentir instigado a aprender, não haverá AS mas a aprendizagem será somente de forma mecanizada, através de memorização de forma arbitrária e literal. Mas também não adianta somente o aluno ter vontade de aprender de forma significativa, o conteúdo a ser estudado deve ser apresentado de forma lógica e potencialmente significativa.

A AS pode ser refletida como um método em que novos conhecimentos sejam agregados mais facilmente à estrutura cognitiva, tornando o conteúdo menos complexo.

Segundo Ausubel, ao ensinar o conteúdo a partir do que o estudante já sabe, torna ele instigado no momento em que avalia as finalidades do conteúdo, fornecidas através da clareza e relação que possui com os conhecimentos pré-existentes.

2.2 Momentos Pedagógicos

A metodologia baseada nos Momentos Pedagógicos tem como características três importantes etapas. São elas: *problematização inicial*, *organização do conhecimento* e a *aplicação do conhecimento*.

2.2.1 Problematização Inicial

A *problematização inicial* tem como principal função relacionar o tema trabalhado em sala de aula com as situações vivenciadas no cotidiano do aluno, visto que ele traz consigo uma vasta bagagem de conhecimentos prévios e experiências do próprio cotidiano. Estes conhecimentos “prévios”, muitas vezes, não são suficientemente capazes de proporcionar o esclarecimento de tal situação vivenciada pelo aluno.

[...] as ideias “espontâneas” em geral têm capacidade explicativas limitada, e por isso elas podem ser questionadas diretamente e facilmente, levando até as últimas consequências suas previsões em Física (VILLANI, PACCA, KISHINAMI, HOSOUME, 1982, p.9).

Então, é neste momento que o professor lança dúvidas, questiona, dialoga, buscando com que o aluno perceba que seu conhecimento sobre o assunto não é suficiente para esclarecer suas dúvidas e se sinta instigado a estudar novos conhecimentos que lhe proporcionarão maior capacidade de compreensão. Esse momento constitui um primeiro passo para a contextualização dos saberes escolares, uma vez que convém problematizar a "relação entre o que se pretende ensinar e as explicações e concepções que o aluno já tem, pois a natureza faz parte tanto do mundo cotidiano como do mundo científico." (BRASIL, 2006, p.51).

Segundo Delizoicov e Angotti (1992), a problematização ocorre em pelo menos dois sentidos. O primeiro é o conhecimento empírico, onde os alunos aprendem conhecimentos com a própria experiência. O segundo ocorre quando um problema há de ser resolvido a partir de questionamentos feitos pelo professor regente, onde é imprescindível sua participação. É neste momento que são criadas as situações para que os alunos sintam a necessidade de entender e resolver o problema desencadeado pelas dúvidas surgidas, que se sintam motivados.

2.2.2 Organização do Conhecimento

Na segunda etapa denominada *organização do conhecimento*, o professor orienta o aluno no estudo sistemático dos conhecimentos da Física a fim de aprender novos conhecimentos ou (re)significar alguns já iniciados, e que lhe permitirão compreender o tema de forma mais plena.

De acordo com a metodologia, na organização do conhecimento, os docentes devem utilizar-se das mais variadas técnicas, envolvendo atividades, valorizando a utilização de diversos recursos, como aulas expositivas, trabalhos, experiências e etc.

As experiências despertam em geral um grande interesse nos alunos, além de propiciar uma situação de investigação. Quando planejadas levando em conta estes fatores, elas constituem momentos particularmente ricos no processo de ensino-aprendizagem (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1994, p. 22).

A partir destas considerações, torna-se indispensável a inclusão de questões e problemas abertos, como a realização de diferentes atividades que devem ser seguidas de situações problematizadoras, questionadoras, e de diálogo, envolvendo a resolução de problemas e induzindo a introdução de conceitos de modo que os alunos possam construir seu conhecimento (CARVALHO, 2004, p.20).

Também de acordo com Carvalho (2004), só existirá aprendizagem e desenvolvimento se houver a ação do aluno durante a resolução de um problema proposto pelo professor. Estes problemas a serem investigados/resolvidos gerarão ideias a partir de buscas, discussões, reflexões, permitindo que novos conhecimentos sejam estudados de forma sistemática a fim de buscar explicação e resolução para tal situação problema.

O ensino é encarado como uma atividade de investigação. Os alunos testam seus conceitos espontâneos, trabalham ativamente em todo o processo, argumentam, questionam, interferem e sofrem interferência do grupo no qual estão inseridos (SOUZA; CARVALHO, 2004, p.1).

Deste modo, o professor muda sua postura, deixando de agir como transmissor, agora passa a atuar como mediador/guia no processo de ensino aprendizagem.

2.2.3 Aplicação do Conhecimento

Na última etapa, a *aplicação do conhecimento* destina-se a analisar e interpretar situações iniciais que determinaram o desenvolvimento dos 3MP (como as situações propostas, instigadoras para a (re)construção do conhecimento), bem como novas situações que podem ser compreendidas com base no conteúdo estudado. É o momento de comparar seu conhecimento “prévio” com o conhecimento científico, e ver se é capaz de interpretar fenômenos e situações que ele tinha dúvida, favorecendo o ensino aprendizagem. Esta etapa também compreende o que entendemos por contextualização do conhecimento, pois

“a contextualização como recurso didático serve para problematizar a realidade vivida pelo aluno, extraí-la do seu contexto e projetá-la para a análise. Ou seja, consiste em elaborar uma representação do mundo para melhor compreendê-lo (BRASIL, 2006, p.51).”

Nesse sentido, nós professores também podemos nos apoiar nas concepções freirianas a exemplo do seguinte fragmento extraído do livro *Pedagogia do Oprimido*.

A pedagogia do oprimido, como pedagogia humanista e libertadora, terá dois momentos distintos. O primeiro, em que os oprimidos vão desvelando o mundo da opressão e vão comprometendo-se na práxis, com a sua transformação; o segundo, em que, transformada a realidade opressora, esta pedagogia deixa de ser do oprimido e passa a ser a pedagogia dos homens em processo permanente de libertação (FREIRE, 1987, p.23).

3 Fundamentação Teórica

3.1 Importância do Estudo do Conceito de Energia

Com o desenvolvimento da sociedade, a melhoria da qualidade de vida e a sobrevivência da humanidade dependem de nova concepção de produção e uso sustentável da energia, os quais estão diretamente intrincados à questão ambiental. O estudo deste tópico em sala de aula é de suma importância, assim, emerge a necessidade de abordar a energia em seus significados físicos, como o princípio de sua conservação de energia mecânica, suas formas e os processos de transformação.

A palavra energia é usada indistintamente na sociedade, eventualmente associada à ideia de força e vitalidade. É importante que os alunos saibam que ela possui um significado próprio na Física. Energia é um conceito muito abrangente e, por isso mesmo, muito abstrato e difícil de ser definido de modo preciso com poucas palavras. A palavra energia, derivada do vocábulo grego *energeia* (que significa em ação) (AXT e ALVES 1994) é a propriedade de um sistema que lhe permite existir, ou do ponto de vista físico, realizar trabalho. (Dicionário Aurélio, 2002).

Para a realização do trabalho é necessária a aplicação de uma força e, simultaneamente, uma transformação de energia. Quando há a aplicação de uma força para deslocar um móvel ou corpo, pode-se dizer que houve uma realização de trabalho.

Na linguagem do dia-a-dia o termo energia adquire significados e propriedades não reconhecidos pela ciência, como nas expressões comuns “recarregar as energias” ou “descarregar as energias negativas”, no plural mesmo, isso sem falar em outros sentidos mais esotéricos (Barbosa, Borges, 2006).

É um dos conceitos básicos das ciências naturais para descrever e explicar o funcionamento do mundo, mas é pouco entendido pelos estudantes, e quase sempre também por seus professores.

A compreensão e o uso do conceito de energia e de sua conservação na explicação de fenômenos e resolução de problemas não são simples. Uma das fontes prováveis dessas dificuldades é que, conforme as pesquisas em ensino de ciências apontam, os estudantes têm hábitos pouco desenvolvidos de pensar acerca de sistemas, eventos e processos (DRIVER, WARRINGTON, 1985), particularmente, erros que são frequentes em relação a conceitos de Física, sobretudo os conceitos de energia, força e trabalho.

Diferentemente dos currículos tradicionais e da maioria dos livros didáticos, no CBC (Currículo Básico Comum) esse conceito é iniciado com o conteúdo de mecânica, utilizando a noção prévia que os alunos têm sobre velocidade a partir de situações vivenciadas, pela observação de objetos em movimento e o armazenamento de energia mecânica em dispositivos elásticos (carrinho de corda, arco e flecha, estilingues, etc.) e gravitacionais (moinhos, monjolo e hidroelétricas). O conceito de energia é tratado de forma recursiva no CBC, contendo tópicos sobre conservação da energia e a energia potencial. O CBC destaca a abordagem referenciada ao mundo conceitual que se opõe à abordagem tradicional, uma vez que esta apresenta a teoria antes dos fatos (CURRÍCULO BÁSICO COMUM 2008).

Nessa perspectiva, surge a necessidade de discutir os problemas reais como: a emissão de luz por uma lâmpada, o funcionamento de um chuveiro ou o funcionamento do motor de um automóvel, de modo também a construir os significados da linguagem científica, entre outros.

A energia é um conceito muito abrangente e, por isso mesmo, muito abstrato e difícil de ser definido de modo preciso com poucas palavras de um modo preciso (GODOI, COIMBRA e MASCARENHAS, 2006). Neste artigo os autores citam vários tipos de energia e sua importância para o meio ambiente e vida social.

3.2 Energia Cinética

A palavra cinética é derivada do grego *kinesis*, cujo significado é movimento. O conceito de energia cinética foi primeiramente estabelecido por Leibniz, que a denominou como “força viva” (*vis viva*). Mais tarde, em 1740 Émilie du Châtelet reconheceu e publicou uma explicação a respeito da experiência realizada por Willem’s Gravesande, que foi capaz de determinar que a “força viva” era diretamente proporcional à massa e ao quadrado da velocidade de um corpo.

Em 1808, Young utiliza pela primeira vez o termo energia. Já em 1829, Gaspard-Gustave Coriolis inseriu o termo “energia cinética” ao publicar um artigo descrevendo a matemática envolvida.

Em 1905, Einstein apresentou sua contribuição no conceito ao relacionar diretamente a grandeza massa à energia.

Então, a energia cinética cujo símbolo pode ser representado por K ou E_c é definida como a energia que um corpo possui ao deslocar de um ponto a outro, ou seja, ela está intrinsecamente relacionada à velocidade. Halliday, Resnick, Walker (2008, p. 153) afirmam que “Quanto mais depressa o objeto se move, maior é a energia cinética. Quando um objeto está em repouso, a energia cinética é nula.” Sendo a velocidade uma grandeza que depende do referencial, então a energia cinética também será uma grandeza dependente do referencial adotado para descrever o movimento.

Dado um corpo de massa m e velocidade $v \ll v_{luz}$, temos que a energia cinética é definida como:

$$K = \frac{1}{2}mv^2. \quad (1)$$

A palavra energia cinética pode ser definida como a capacidade de realizar trabalho e ao ato de transferir energia (Halliday pg. 155).

3.3 Trabalho e Energia Cinética

Antes de definirmos o que é trabalho em Física, vamos analisar a seguinte situação (Sears, p.182): Um objeto de massa m se desloca uma distância d ao longo de uma trajetória retilínea. No decorrer do movimento do objeto, uma força com módulo constante F atua sobre ela. A direção e o sentido da força coincidem com a direção e o sentido do deslocamento d do objeto. Então, o trabalho W realizado pela força constante nessas condições é definido por:

$$W = F \cdot d, \quad (2)$$

onde F é a força constante que atua na direção e no sentido do deslocamento retilíneo.

O trabalho realizado sobre o objeto é diretamente proporcional à intensidade da força F e ao deslocamento d , conforme mostra a equação (2).

A unidade de medida da grandeza escalar energia é dada em Joule (J) que corresponde a:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Porém existem várias outras unidades. Algumas delas são:

- Caloria (cal);
- *British Thermal Unit* (BTU);
- Quilowatt-hora (kWh);
- Elétron-volt (eV).

A relação entre estas unidades de medida de energia pode ser dada como:

$$1 \text{ J} \cong 2,39 \cdot 10^{-4} \text{ cal} \cong 9,48 \cdot 10^{-4} \text{ BTU} \cong 2,78 \cdot 10^{-7} \text{ kWh} \cong 6,24 \cdot 10^{18} \text{ eV}$$

Segundo Moysés (pg.109), quando um objeto sofre variação de velocidade devido à força imposta, a energia cinética K também varia.

- Se a velocidade v do objeto aumentar, a energia cinética K do objeto também aumenta;
- Se a velocidade v do objeto diminuir, a energia cinética K do objeto também diminui.

“Trabalho (W) é a energia transferida para um objeto ou de um objeto através de uma força que age sobre o objeto. Quando a energia é transferida para o objeto, o trabalho é positivo; quando a energia é transferida do objeto, o trabalho é negativo”. (Halliday, p. 155)

Tomarei como referência a partir deste momento, situações trazidas no livro “Fundamentos de Física”, vol.1 8ª Ed (Halliday, Resnick, Walker 2008) das páginas 155 a 202.

Considere um corpo de massa m que se desloca ao longo de um eixo x horizontal em um fio sem atrito, no qual é aplicado uma força F de mesma intensidade, que faz um ângulo ϕ com o fio. Esta força está sendo utilizada para acelerar o corpo. Então, pela Segunda Lei de Newton, pode-se relacionar a força F à aceleração a cuja equação é dada por:

$$F_x = ma_x, \quad (3)$$

onde F_x e a_x representam as componentes da força e da aceleração na direção x , respectivamente, pois a componente da força perpendicular ao deslocamento não realiza trabalho.

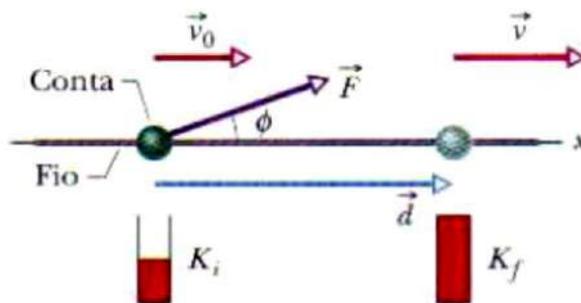


Figura 7: Trabalho de Uma Força Constante não Paralela ao vetor Deslocamento⁶

Pela figura 7, observa-se que o corpo desloca de um ponto a outro devido à aplicação da força F de intensidade constante, a qual provoca variação de velocidade no corpo; passando de v_0 no estado inicial para v no final do deslocamento. Segundo a equação de Torricelli (cinemática unidimensional), temos que as velocidades final e inicial estão relacionadas entre si por:

$$v^2 = v_0^2 + 2a_x d. \quad (4)$$

Da Segunda Lei de Newton por $a_x = \frac{F_x}{m}$, logo reescrevemos a equação (4) na forma:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \left(\frac{F_x}{m} \right) d \quad (5)$$

$$v^2 - v_0^2 = 2 \left(\frac{F_x}{m} \right) d. \quad (5.1)$$

Multiplicando a equação (5) por $\frac{m}{2}$ ficamos como:

$$\frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 = F_x d. \quad (6)$$

Pode-se notar que o primeiro termo da equação (6) se trata da variação da energia cinética ΔK sofrida no deslocamento d , devido à ação da força aplicada sobre o corpo de massa m explicitada no segundo termo. Daí, teremos o Teorema Trabalho e Energia Cinética expressa por:

$$\Delta K = W. \quad (7)$$

⁶ **Fonte:** Fundamentos de Física, vol. 1, 8ª Ed., p. 155

Pode-se então concluir que o trabalho W realizado pela força F constante sobre o corpo equivale à transferência de energia cinética devido à aplicação da força F :

$$W = F_x d. \quad (8)$$

Podemos notar que na figura 7, F_x pode ser escrito como $F \cos \phi$, em que F é o módulo de F e ϕ é o ângulo entre o deslocamento d e a força F aplicada. Desta maneira, o trabalho mecânico realizado pela força F sobre o objeto de massa m é definido por:

$$W = F d \cos \phi. \quad (9)$$

Como o termo $F d \cos \phi$ é equivalente ao produto escalar $\vec{F} \cdot \vec{d}$, a equação (9) pode ser reescrita na forma:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}. \quad (10)$$

Para análise da equação do trabalho realizado pela força F de intensidade variável que atua na mesma direção do deslocamento, considere a figura a seguir:

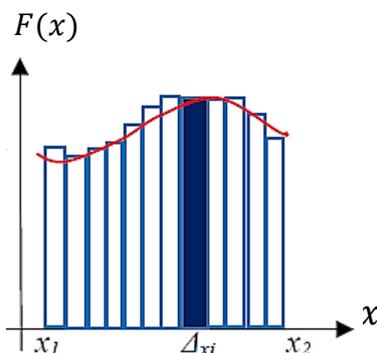


Figura 8: Trabalho de uma força variável. **Fonte:** Própria autoria, 2021

Pode-se observar que na figura 8 a força varia no decorrer do deslocamento do objeto. A curva $F(x) \times x$ foi dividida em pequenas áreas, tornando a força aproximadamente constante em cada região. Assim sendo, o trabalho da força variável $F(x)$ é determinado aproximadamente pela soma das áreas de todos os retângulos, ou seja,

$$W \cong \sum F(x) \Delta x_i. \quad (11)$$

No limite do incremento das áreas da base tender a zero, a aproximação acima torna-se uma igualdade e assim definimos a integral de Riemann por:

$$W = \lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} \sum F(x) \Delta x_i = \int_{x_1}^{x_2} F(x) dx. \quad (12)$$

Para o caso de um objeto que se move no espaço tridimensional, devemos substituir a coordenada x pelo vetor $\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}$, e a componente F_x pelo vetor força. Assim, podemos escrever o trabalho realizado por esta força como:

$$W = \int_{r_1}^{r_2} \vec{F} \cdot d\vec{r}. \quad (13)$$

3.4 Trabalho de Uma Força Conservativa

Considere a figura 9 a seguir, onde um objeto se desloca em uma curva do ponto inicial (A) até o ponto final (B) devido à ação da força aplicada sobre a mesma.

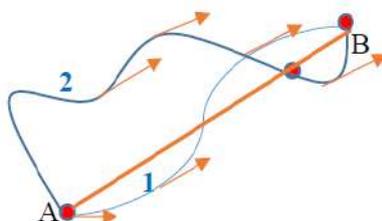


Figura 9: Deslocamento de um objeto sob ação de forças conservativas

Fonte: Própria autoria, 2021.

Porém, existem infinitas trajetórias para o objeto se deslocar do ponto A até o ponto B quando adotada uma curva. O vetor deslocamento infinitesimal é sempre tangente à curva e no sentido do deslocamento do objeto. Entretanto, quando o trabalho realizado pela força que faz com que o objeto se mova de um ponto inicial até um ponto final, não depende do caminho, mas apenas das posições A e B, dizemos que esta força é conservativa, ou seja,

$$W_{A \rightarrow B, 1} = W_{A \rightarrow B, 2}. \quad (14)$$

Se a força permanecer constante e o sentido do caminho 2 percorrido for invertido, o sinal do trabalho muda:

$$W_{A \rightarrow B, 2} = -W_{B \rightarrow A, 2}. \quad (15)$$

Ou seja,

$$W_{A \rightarrow B, 1} = -W_{B \rightarrow A, 2}. \quad (16)$$

Vamos considerar que o objeto sai de um ponto A e chega ao ponto B através do caminho 1 e retorna para o ponto de partida A através da curva correspondente ao caminho 2, como mostra a figura 10.

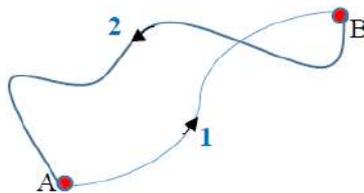


Figura 10: O trabalho total de uma força conservativa em um caminho fechado é sempre nulo. **Fonte:** Própria autoria, 2021.

Como consequência de a força ser conservativa, o trabalho realizado sobre um percurso fechado será nulo, uma vez que saímos do ponto A e voltamos para o ponto A:

$$W_{A \rightarrow B,1} + W_{B \rightarrow A,2} = 0, \quad (17)$$

onde pode-se notar que o trabalho total realizado pela força sobre o objeto no percurso de ida e volta é nulo. Halliday (p. 182) ressalta que: “O trabalho total realizado por uma força conservativa sobre um objeto que se move ao longo de qualquer percurso fechado é nulo”.

3.5 Energia Potencial

O conceito de energia potencial U é de suma importância para compreensão de várias áreas da Física, inclusive na mecânica quântica. A energia potencial é uma função das coordenadas x, y, z , para um referencial escolhido.

A energia potencial U é associada a alguma configuração de um sistema de corpos que exercem forças um sobre os outros.

A integral de linha de uma força conservativa depende apenas dos pontos inicial \vec{r}_0 e final \vec{r} da função $U(\vec{r})$, assim sendo, associamos esta integral à diferença da energia potencial. No ponto arbitrário do espaço tridimensional, a energia potencial será definida por:

$$U(\vec{r}) = - \int_{\vec{r}_0}^{\vec{r}} \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}, \quad (18)$$

onde em $\vec{r}_0 = \vec{r}$ consideramos a energia potencial com sendo nula ($U(\vec{r}) = 0$) por convenção, já que não é adotado nenhum ponto de referência. Assim, a integral de linha de um ponto até ele mesmo é zero.

A equação (18) também pode ser reescrita em função do trabalho realizado pela força entre dois pontos quaisquer, ou seja,

$$U(\vec{r}) = -W_{\vec{r}_0 - \vec{r}}. \quad (19)$$

Agora, iremos determinar o trabalho de uma força conservativa considerando o deslocamento do objeto entre dois pontos diferentes da origem da trajetória. Para isso, vamos adotar os pontos \vec{r}_1 e \vec{r}_2 e escrever a relação:

$$W_{\vec{r}_0 - \vec{r}_2} = W_{\vec{r}_0 - \vec{r}_1} + W_{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}. \quad (20)$$

Reorganizando a equação (20), ficamos com:

$$W_{\vec{r}_1 - \vec{r}_2} = W_{\vec{r}_0 - \vec{r}_2} - W_{\vec{r}_0 - \vec{r}_1}. \quad (21)$$

Substituindo a equação (19) em (20), o trabalho de uma força conservativa entre dois pontos hipotéticos pode ser determinado por:

$$W_{\vec{r}_1 - \vec{r}_2} = -U(\vec{r}_2) + U(\vec{r}_1). \quad (22)$$

Podemos reescrever a equação (22) em termos da variação da energia potencial, daí fica:

$$W = -\Delta U. \quad (23)$$

Substituindo a equação (13) em (23), obtemos:

$$\Delta U = - \int_{r_1}^{r_2} \vec{F} \cdot d\vec{r}. \quad (24)$$

Portanto, a partir da variação da energia potencial podemos determinar pela função $-U(\vec{r}_2)$ sua intensidade em qualquer ponto arbitrário.

A seguir será apresentada a relação do trabalho com duas energias potenciais conservativas: a Gravitacional e a Elástica.

3.5.1 Trabalho e Energia Potencial Gravitacional

Considerando um corpo que se desloca devido à força gravitacional a uma altura h do nível de referência (figura 11). Durante a queda, o trabalho W realizado sobre o corpo pela força gravitacional é positivo (escolhemos o eixo de coordenada y orientado para cima) e a energia potencial do sistema corpo-Terra é convertida em energia cinética do corpo.

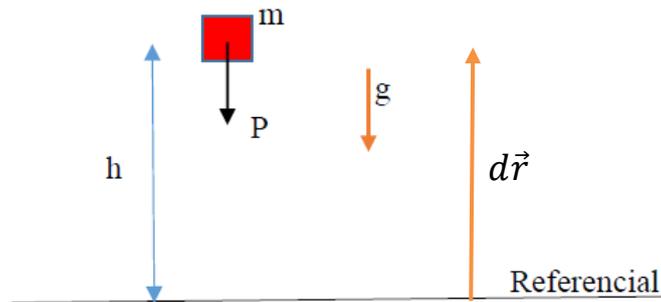


Figura 11: Objeto em queda livre.
Fonte: Própria autoria, 2021

Por definição, nos deslocamentos de descida e subida sofridos pelo corpo, a variação da energia potencial gravitacional ΔU , pode ser dada por:

$$\Delta U = -W. \quad (25)$$

A força gravitacional \vec{F} realiza trabalho sobre esse objeto quando ela se move verticalmente ao longo do eixo y de um ponto inicial y_i para um ponto final y_f .

Com o objetivo de determinar a variação da energia potencial gravitacional do sistema objeto-Terra, será adotada a equação 24, porém os limites de integração serão referentes ao eixo y , uma vez que se trata de um deslocamento em queda livre devido à ação da força gravitacional F (sentido negativo do eixo y):

$$\Delta U = - \int_{y_i}^{y_f} F dr \cos \phi. \quad (26)$$

Como se trata de deslocamento em queda livre, o módulo da força F pode ser escrita como mg , o módulo do deslocamento dr pode ser escrito como dy e o ângulo ϕ entre \vec{F} e $d\vec{r}$ é 180° . Portanto,

$$\Delta U = - \int_{y_i}^{y_f} (-mg) dy. \quad (27)$$

Com massa m , aceleração gravitacional g constantes e integrando em y , temos:

$$\Delta U = mg \Delta y, \quad (28)$$

onde Δy é a variação de posição vertical sofrida pelo corpo.

Considerando que a energia potencial gravitacional seja $U_i = 0$ em $y_i = 0$, teremos:

$$U(y) = mgy. \quad (29)$$

Halliday (p. 187) ressalta que: “A energia potencial gravitacional associada a um sistema objeto-Terra depende apenas da posição vertical y (ou altura) do objeto em relação à posição de referência $y = 0$, e não da posição horizontal”.

3.5.2 Trabalho e Energia Potencial Elástica

Considerando um sistema massa-mola representado na figura 12, no qual o bloco se desloca do ponto A ao ponto B conectado por uma mola ideal de constante elástica k .

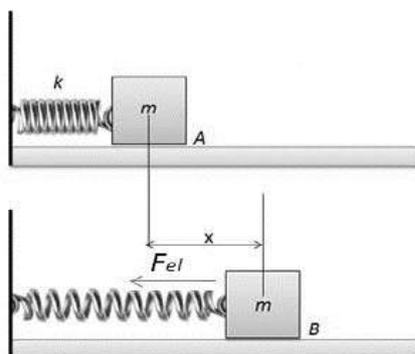


Figura 12: Sistema massa-mola⁷.

No decorrer do deslocamento, a força elástica F realiza trabalho W sobre o bloco variando a intensidade de energia potencial elástica no sistema.

Pela Lei de Hooke, sabe-se que:

$$F(x) = -kx . \quad (30)$$

Substituindo o módulo da força F por kx , o módulo do deslocamento dr por dx e o ângulo ϕ entre \vec{F} e $d\vec{r}$ é 180° na eq. (26), obtemos:

$$\Delta U = \int_{x_i}^{x_f} kx dx . \quad (31)$$

Integrando a equação (31), ficamos com:

$$\Delta U = k \frac{x_f^2}{2} - k \frac{x_i^2}{2} . \quad (32)$$

No caso de $x_i = 0$, a energia potencial elástica do sistema massa-mola na posição $x_f = x$ é:

⁷ Fonte: <https://energia-elastica.webnode.com/>

$$U(x) = k \frac{x^2}{2}. \quad (33)$$

3.6 Conservação da Energia Mecânica

Sabendo que a variação da energia cinética é igual ao trabalho e que a variação de energia potencial é igual ao negativo do trabalho, vamos substituir ΔU da equação (7) na equação (25). Dessa forma, obtemos:

$$\Delta K = -\Delta U. \quad (34)$$

Sendo $\Delta K = K_f - K_i$ e $\Delta U = U_f - U_i$, tem-se:

$$K_f + U_f = K_i + U_i. \quad (35)$$

Considerando que o sistema esteja isolado da ação de forças externas, as trocas entre as energias cinética e potencial permanece constante, ou seja, a energia mecânica final é igual a energia mecânica inicial de um sistema isolado.

Segundo Halliday (p. 188) “Em um sistema isolado, onde apenas forças conservativas causam variações de energia, a energia cinética e a energia potencial podem variar, mas sua soma, a energia mecânica E_{mec} do sistema, não pode variar”.

O Princípio da Conservação de Energia Mecânica pode ser escrito na forma:

$$\Delta E_{mec} = \Delta K + \Delta U = 0. \quad (36)$$

O Princípio da Conservação de Energia Mecânica é de suma importância na resolução de problemas envolvendo forças conservativas, pois nos permite determinar a intensidade das energias cinética e potencial em um sistema isolado sem ser necessário calcular o trabalho realizado pelas forças envolvidas.

3.7 Trabalho de uma força não conservativa

Seja uma força \vec{F} que atua sobre um objeto de massa m que se desloca sobre uma superfície horizontal com atrito, como mostra a figura 13.

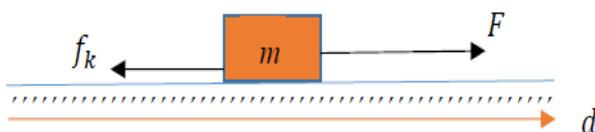


Figura 13: Força de atrito em um plano horizontal. **Fonte:** Própria autoria, 2021.

Pode-se observar que a força de atrito f_k sempre atua no sentido oposto ao movimento do objeto. O módulo da força de atrito cinético é dado por:

$$f_k = \mu_k N, \quad (37)$$

onde N é a força normal e μ_c representa o coeficiente de atrito cinético, cujo valor é característico da superfície de contato com o objeto.

Aplicando a Segunda Lei de Newton ao sistema mostrado na figura 13, obtemos:

$$F_{R,x} = ma_x, \quad (38)$$

onde $F_{R,x}$ é a força resultante que atua na direção x e a_x é aceleração adquirida pela objeto ao se mover ao longo da direção x .

Como as forças representadas na figura anterior agem na direção do eixo x e em sentidos opostos, podemos substituí-las na equação (38):

$$F - f_k = ma. \quad (39)$$

Devido às forças F e f_k serem constantes, a aceleração a também será constante. Assim, podemos utilizar a equação de *Torricelli*, $v^2 - v_0^2 = 2ad$, para substituir o valor de a na equação (39) e assim obtemos:

$$Fd = \Delta K + f_k d. \quad (40)$$

Mas se for considerado que o objeto representado na figura 14 esteja se deslocando sobre uma rampa de ângulo α com a horizontal, teremos variação de energia potencial gravitacional conforme mostra a figura 14 abaixo.

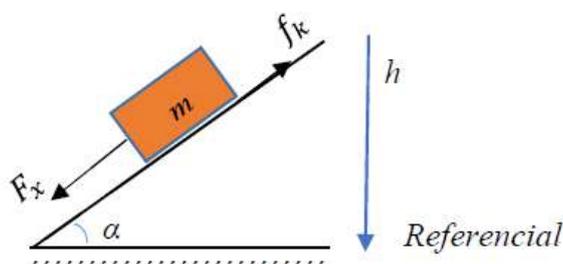


Figura 14: Força de atrito em um plano inclinado.

Fonte: Própria autoria, 2021.

Levando em conta a variação da energia potencial gravitacional, a equação (40) pode ser reescrita para o movimento de um objeto em um plano inclinado:

$$Fd = \Delta E_{mec} + f_k d. \quad (41)$$

Durante o deslizamento, tanto o objeto como a superfície de contato se aquecem devido à energia térmica E_t .

Quando as forças não conservativas se opõem ao movimento, o trabalho realizado por essas forças não conservativas é negativo, o que vêm a provocar diminuição na energia mecânica do sistema. Mas, se essas forças não conservativas realizam um trabalho positivo, a energia do sistema aumenta.

Segundo Halliday (2008, p. 195) “Experimentalmente, observa-se que o aumento da energia térmica ΔE_t é igual ao produto do módulo da força de atrito cinético, f_k , por d , o módulo do deslocamento” tal que:

$$\Delta E_t = f_k d. \quad (42)$$

Sendo $Fd = W$, podemos reescrever a eq. (41) da seguinte forma:

$$W = \Delta E_{mec} + \Delta E_t. \quad (43)$$

“Quando uma força de atrito cinético age dentro do sistema, a energia térmica E_t do sistema varia”. (Halliday, 2008, p. 195).

4 Metodologia

4.1 Metodologia de Ensino

Considerando a realidade da maioria dos discentes das escolas públicas, esta metodologia foi elaborada a partir de algumas estratégias de ensino aprendizagem, pois, os professores podem observar que os estudantes chegam em sala de aula com uma vasta bagagem de experiência vivenciada no dia a dia ao longo dos anos.

É importante que os métodos de ensino sejam modificados, capacitando o aluno a responder a perguntas e a procurar as informações necessárias, para utilizá-las nos contextos em que forem solicitadas. Na escola, uma das características mais importantes do processo de aprendizagem é a atitude reflexiva e autocrítica diante dos possíveis erros. Essa forma de ensino auxilia na formação das estruturas de raciocínio, necessárias para uma aprendizagem efetiva, que permita ao aluno gerenciar os conhecimentos adquiridos (BRASIL, 2006, p.45).

Sendo a Física uma ciência experimental, faz-se necessário ministrar aulas práticas, propiciando maior e melhor interação na relação professor-aluno, o que poderá contribuir no processo de ensino aprendizagem do estudante, proporcionando a oportunidade de planejamento em conjunto e a elaboração de estratégias de ensino, induzindo assim os estudantes à melhor compreensão dos processos da Ciência.

(...) É fundamental que as atividades práticas tenham garantido o espaço de reflexão, desenvolvimento e construção de ideias, ao lado de conhecimentos de procedimentos e atitudes. Como nos demais modos de busca de informações, sua interpretação e proposição são dependentes do referencial teórico previamente conhecido pelo professor e que está em processo de construção pelo aluno. Portanto, também durante a experimentação, a problematização é essencial para que os estudantes sejam guiados em suas observações (BRASIL, 1998, p. 122)

Segundo Ausubel, para que ocorra a aprendizagem significativa, o professor deve adotar condições essenciais, averiguando os conhecimentos prévios dos alunos e ensinando-os a partir destes. Outra condição de atuação está na utilização de material significativo que esteja relacionado com a estrutura cognitiva do aluno de maneira não literal e não arbitrária, evitando a memorização que levará a uma aprendizagem mecânica. A participação destes estudantes neste tipo de estratégia de ensino é essencial; a motivação, os conhecimentos prévios, seus interesses, tudo deve ser considerado e aproveitado em todas as etapas do processo ensino aprendizagem.

4.2 Metodologia baseada na Aprendizagem Significa e nos Três Momentos Pedagógicos

Através de observações realizadas quanto às dificuldades em sala de aula referentes à compreensão de conteúdos estudados durante o 1º ano do Ensino Médio, alternativas foram pensadas quanto ao processo de ensino-aprendizagem. A partir de estudos e experiências anteriores na docência, partiu-se para a elaboração de uma sequência didática baseada nos 3MP (Três Momentos Pedagógicos) proposta inicialmente por Delizoicov e Angotti (1992) e na Aprendizagem Significativa estabelecida por Ausubel. A seguir, na tabela 1 está descrita as ações que contemplarão os 3MP na sequência didática.

Tabela: Ações para abordagem dos 3MP na Sequência didática

Fases dos 3MP	Ação	Etapa
Problematização inicial	Aplicação do pré-teste para verificação dos conhecimentos prévios	I
	Será apresentado um vídeo com duração de 1 min (sem áudio) para recordação dos tipos de energia	II
	Discussão sobre os tipos de energia descritos no vídeo para identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes	
	Interrogar os estudantes a responder algumas perguntas como: <i>O que é energia?</i> <i>Quais os tipos de energia você identificou nas imagens do vídeo?</i>	II, III, IV e V
Organização do conhecimento	Retomar brevemente os tipos de energia	IV e V
	Resolução de exemplos sobre Energia Potencial Gravitacional, Potencial Elástica e Cinética	IV
	Resolução de exemplos sobre o Princípio da Conservação da Energia Mecânica em sistemas ideais e não ideais	IV e V
Aplicação do conhecimento	Coleta de dados necessários para resolução dos roteiros	VI
	Aplicação do pós-teste para verificação do conhecimento após o desenvolvimento das atividades da sequência didática	VII

A metodologia de ensino adotada constitui na possibilidade de estabelecer em sala de aula uma dinâmica dialógica, a organização sistemática do conhecimento e aplicações do mesmo, possibilitando a construção do conhecimento dos estudantes.

Portanto, para contemplar as ideias já desenvolvidas, buscou-se a elaboração de uma sequência didática, onde a representação dos conhecimentos não fosse isolada e distante das situações-problema do cotidiano dos alunos.

4.3 Sequência Didática Baseada nos Três Momentos Pedagógicos e na Aprendizagem Significativa

A elaboração da sequência didática exigiu grande atenção devido à adequação da metodologia de ensino com a realidade do aluno; a pequena carga horária para desenvolver as atividades e a heterogeneidade referente aos níveis de aprendizagem que as turmas apresentaram.

As aulas foram executadas de modo expositivo e dialogadas com a utilização de recursos como: áudio visual, leituras, experiências, além de resolução de exercícios discursivos/objetivos e aplicação dos questionários pré-teste e pós-teste cujo objetivo foi de averiguar o processo de ensino aprendizagem antes e depois do desenvolvimento da metodologia baseada nos 3MP e na AS.

Esta abordagem é justificada pela necessidade inicial do aluno para construção de conceitos essenciais, como o de massa, velocidade e posição.

A Sequência Didática foi composta por planos de atividades explicitando as formas de energia mecânica no decorrer de nove aulas com duração de 50 minutos cada, conforme pode ser verificada no anexo A.

Assim, foram desenvolvidas atividades demonstrativas, servindo como elo de ligação entre o que os alunos já conheciam previamente e o que eles precisavam saber para aprender o novo conhecimento.

4.4 Desenvolvimento da Sequência Didática

4.4.1 I Etapa – 50 minutos

A primeira etapa foi composta pela aplicação do questionário pré-teste (**Apêndice B**) composto por oito questões discursivas, com objetivo de levantar os conhecimentos prévios dos estudantes referentes ao conceito energia. O questionário foi aplicado nos

dias 04, 05 e 07 do mês de maio/2021, nas cinco turmas dos cursos técnicos em Eletrotécnica, Informática e Logística, integrados ao Ensino Médio.

Após fazer a leitura das perguntas, foi cronometrado tempo para que os estudantes pudessem responder. Ao final do teste e com tolerância entre 5 a 10 minutos, os estudantes enviaram para meu email as fotos de suas respostas.

Devido às dificuldades enfrentadas durante esta pandemia da COVID-19, o tempo da aplicação do questionário foi superior ao programado anteriormente.

4.4.2 II Etapa – 20 minutos

Na segunda etapa, a aula foi iniciada com um pequeno vídeo (sem áudio) o qual foi solicitado aos alunos que prestassem atenção nas imagens. O vídeo está disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=iFbsv_k2X6M&list=WL&index=16

Logo após, iniciou-se a apresentação dos slides com explanação de figuras classificando as principais fontes de energia renováveis e não renováveis conforme mostra a figura 15.

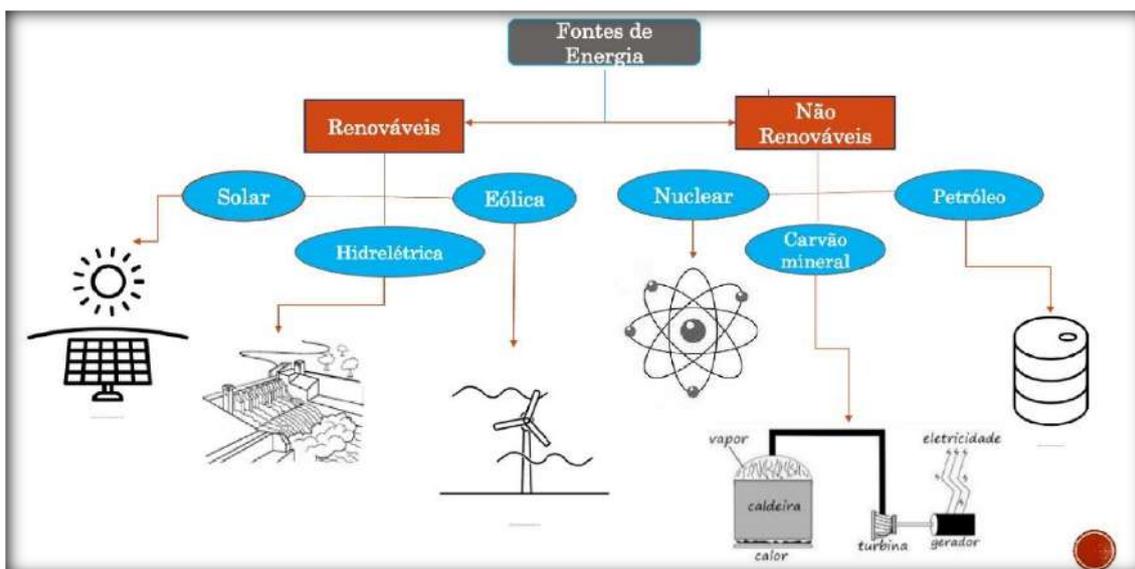


Figura 15: Fontes de Energia. **Fonte:** Própria autoria, 2021.

Também foi comparado a partir de dados das matrizes elétricas (figura 16), os principais tipos de energia fornecida para os brasileiros, com os tipos de energia fornecida mundialmente.

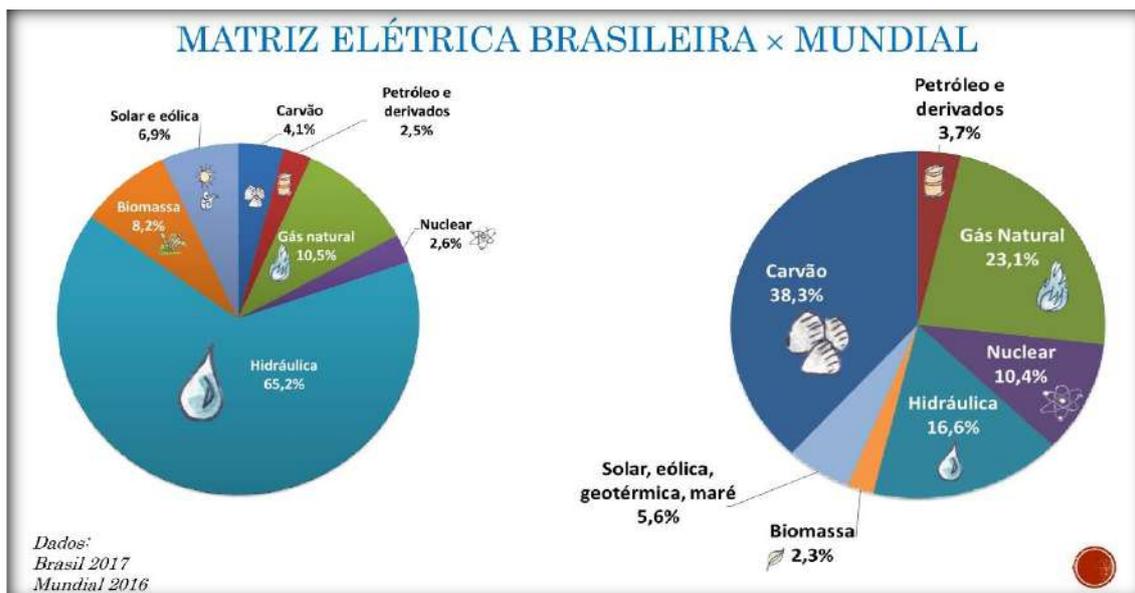


Figura 16: Matriz Elétrica Brasileira e Mundial.

No terceiro slide da apresentação, buscou-se questionar o estudante se ele sabia de onde vinha a energia elétrica que chegava em sua casa, demonstrando através de imagens, as principais etapas da rede de distribuição (figura 17).

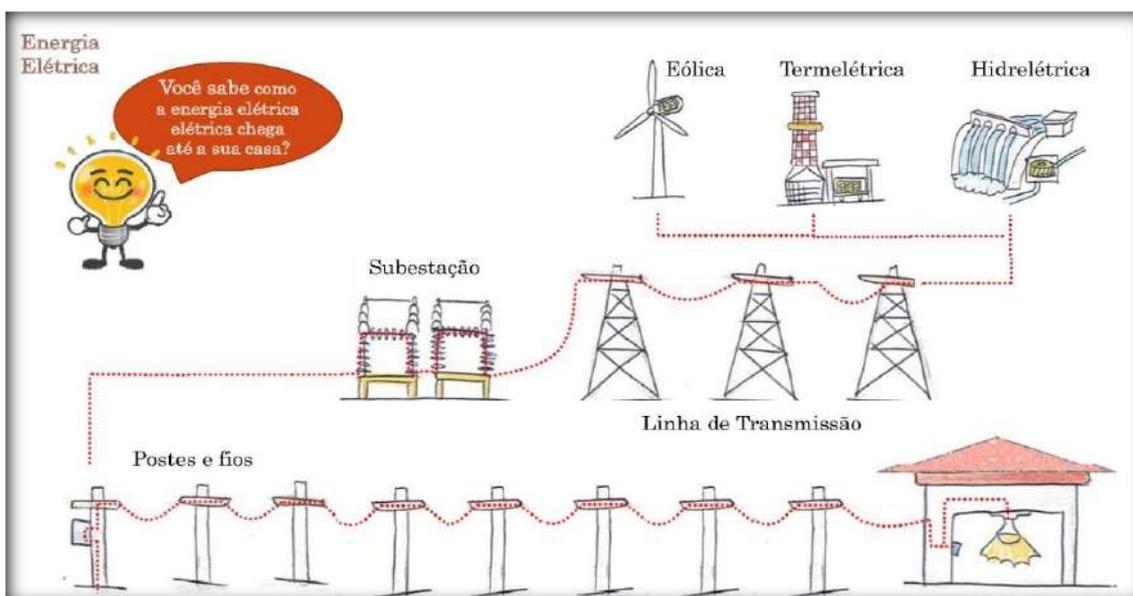


Figura 17: Transformação de Energia⁸

⁸ Fonte: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

4.4.3 III Etapa – 30 minutos

Na sequência, ressaltou-se a importância dos derivados do petróleo na produção de energia, essencial para alimentar os motores dos automóveis e caminhões (figura 18).

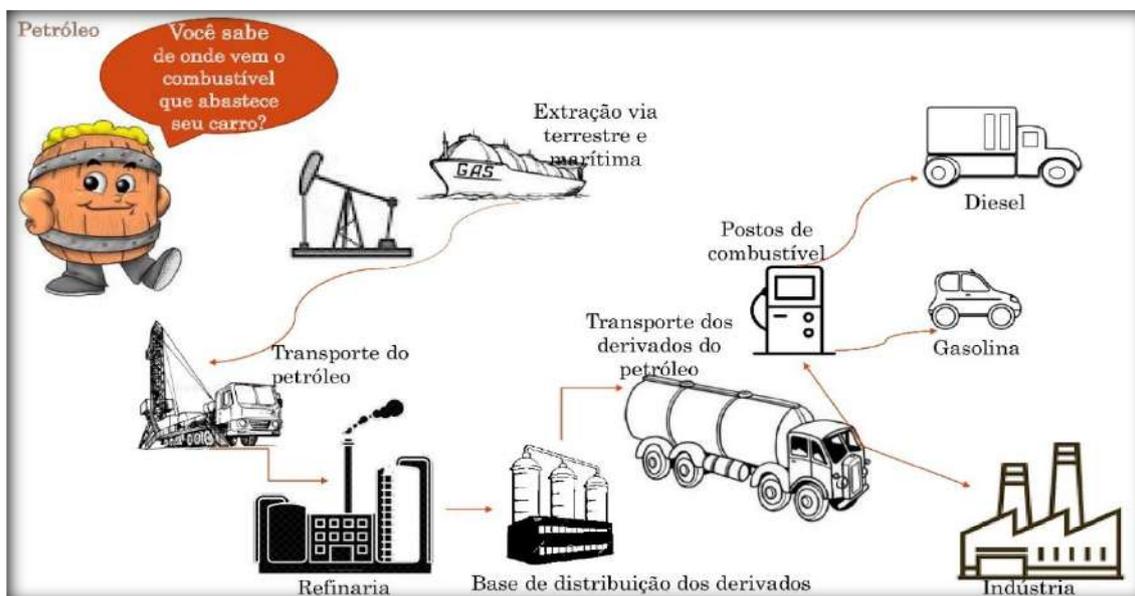


Figura 18: Petróleo como Fonte de Energia e Seus Derivados.

Fonte: Própria autoria, 2021.

No próximo slide da apresentação, o Sol aparece como a maior fonte de energia além de crianças brincando e se alimentando, utilizando imagens gif (figura 19).

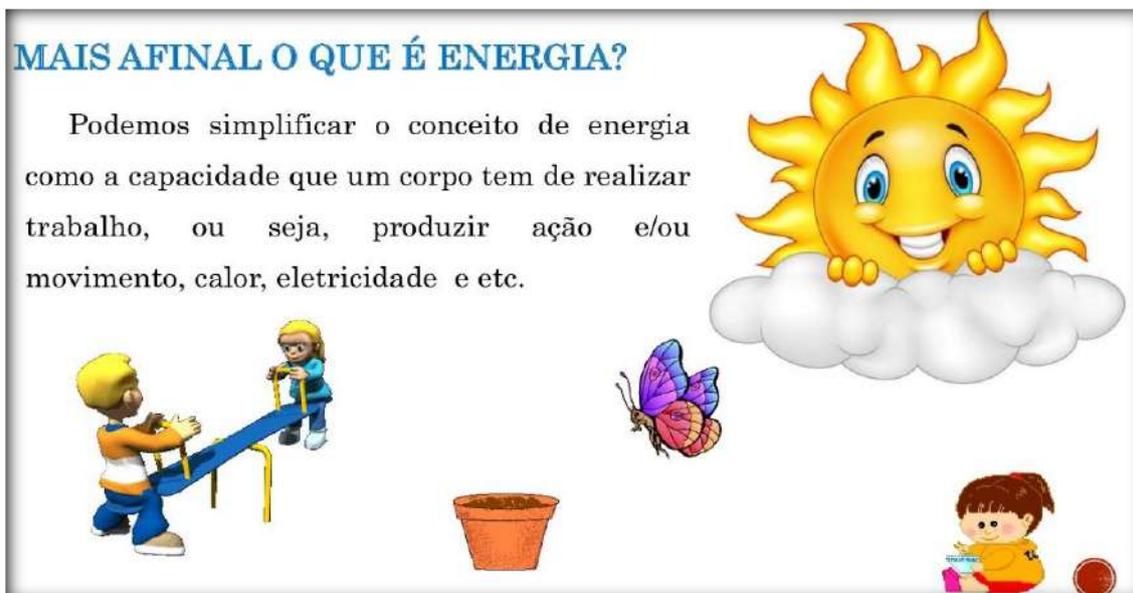


Figura 19: O Sol como a maior fonte de Energia.

Fonte: Própria autoria, 2021.

Após ressaltar o Joule como a unidade de energia do Sistema Internacional, foi mostrado uma tabela com as principais conversões entre outras unidades de energia (figura 20).

Unidade de Energia		Equivalências em J
Joule (J) unidade de energia do Sistema Internacional (SI)		
Caloria	1 Cal	4,1855
Kilowatt-hora	1 kWh	3 600 000
Elétron-volts	1 eV	$1,602176462 \cdot 10^{-19}$
British Thermal Unit	1 BTU	1055,05585

Figura 20: Conversão das Principais Unidades de Energia.
Fonte: Própria autoria, 2021.

4.4.4 IV Etapa – 100 minutos

Nesta etapa, foram resolvidos exemplos envolvendo energia cinética, potencial gravitacional e potencial elástica, além da importância das unidades presentes nas equações. Nos exemplos foram consideradas situações hipotéticas.

Exemplo 1: Considere que a moça da figura 21 tenha 50 kg e esteja se deslocando em sua bicicleta. Determine a energia cinética nas seguintes situações:

- Quando a velocidade da bicicleta for 2 m/s;
- Quando a velocidade da bicicleta for 4 m/s;
- Quando a moça parar.

Também foi descrito a importância da energia cinética na produção de energia elétrica proveniente do represamento de água (figura 21).

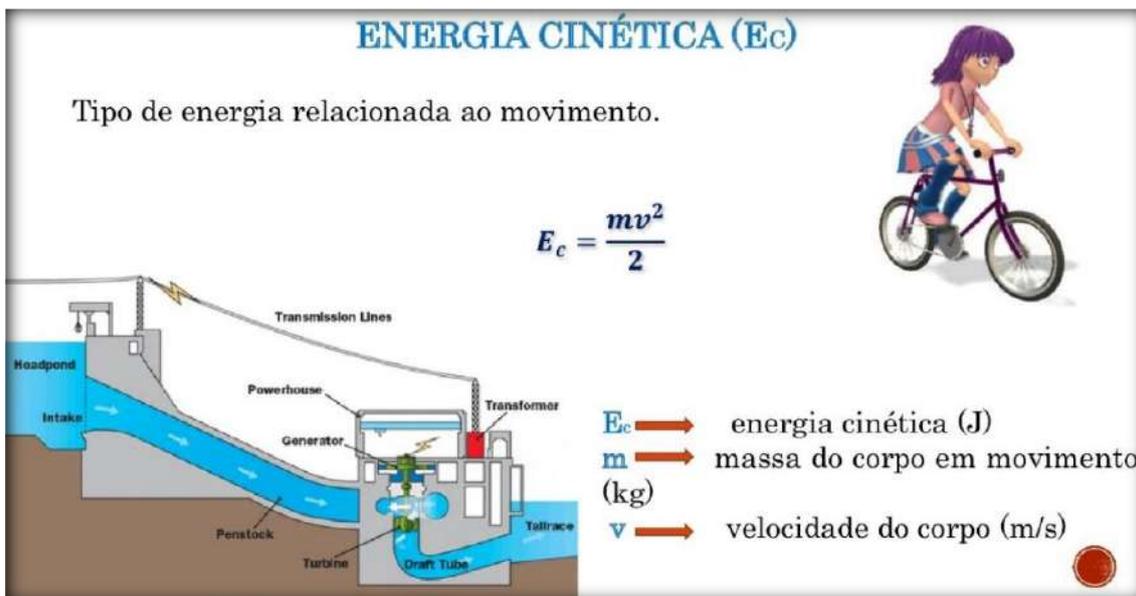


Figura 21: Energia Cinética. **Fonte:** Própria autoria, 2021.

Exemplo 2: Considerando que o pé de laranja da figura 22 tenha 3 m de altura e que todas as laranjas possuem 200 g cada, determine a energia potencial gravitacional das laranjas 2 e 8, sabendo que estão respectivamente situadas a uma altura de 2,80 m e 2 m em relação ao solo. Determine também, a energia potencial gravitacional de uma laranja denominada zero sabendo que esta está posicionada no próprio solo.

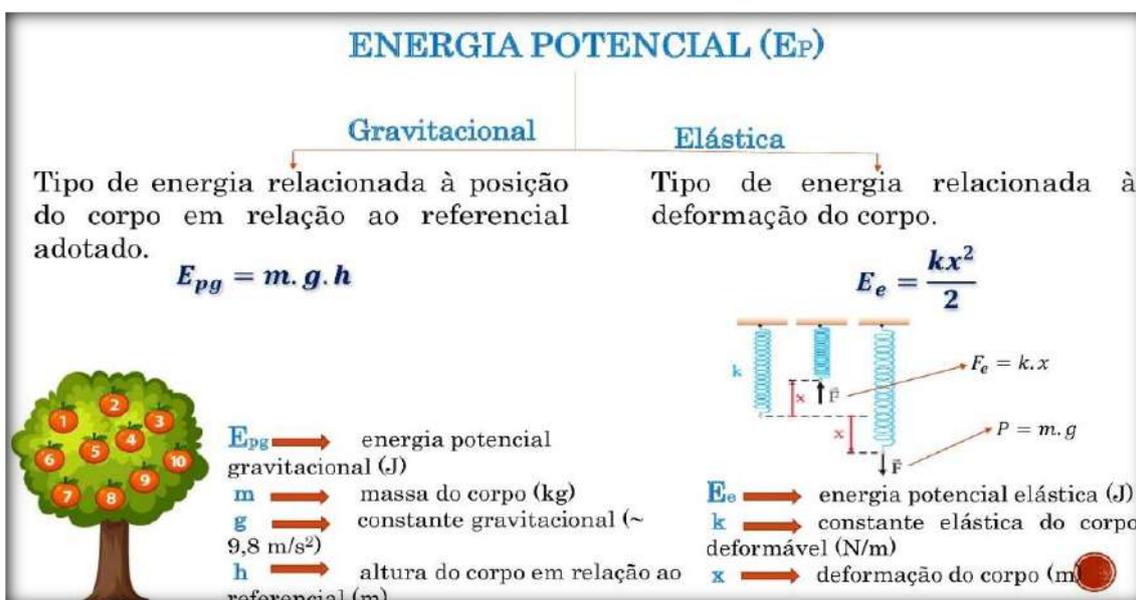


Figura 22: Energia Potencial Gravitacional e Energia Potencial Elástica.

Fonte: Própria autoria, 2021.

Exemplo 3: Seja uma mola de constante elástica k , que sofreu compressão de 2 cm quando aplicada uma força de 1 N. De acordo com as informações, determine:

- a constante elástica da mola;
- a energia potencial elástica armazenada na mola durante essa compressão.

4.4.5 V Etapa – 100 minutos

Logo após descrever e exemplificar a energia cinética, potencial gravitacional e potencial elástica, iniciou-se a resolução de exemplos envolvendo o Princípio da Conservação de Energia Mecânica (figura 23).

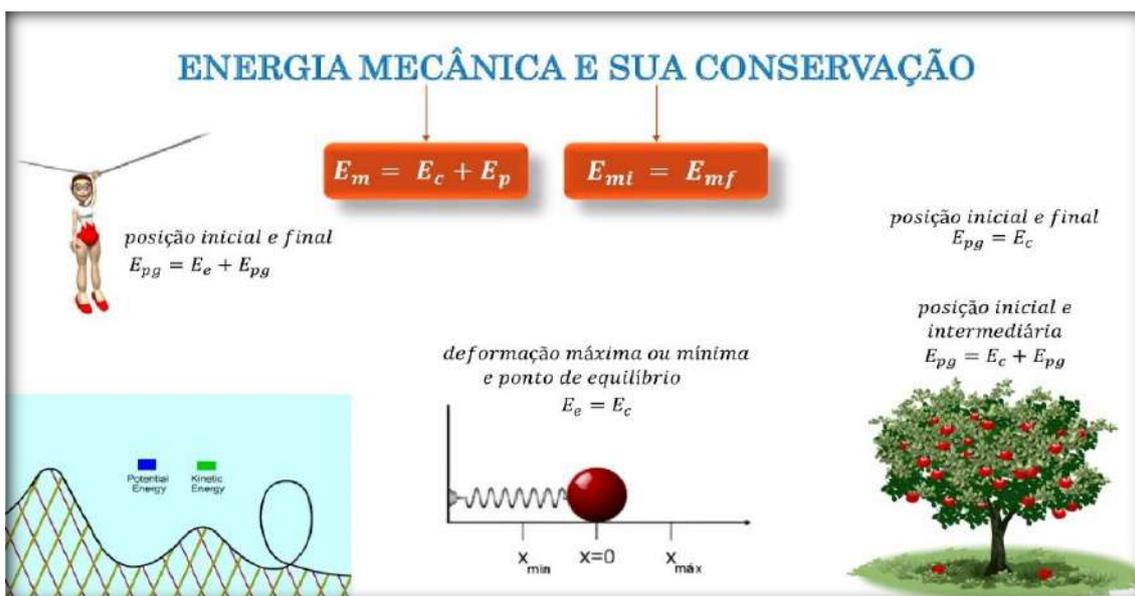


Figura 23: Energia Mecânica e Sua Conservação.

Fonte: Própria autoria, 2021.

Exemplo 4: Um esquiador de massa 60 kg desliza de uma encosta, partindo do repouso, de uma altura de 50 m. Calcule a velocidade com que o esquiador:

- Passa pelo ponto a uma altura de 25 m em relação ao nível de referência;
- Chega ao nível de referência.

Exemplo 5: Um corpo de massa 2 kg e velocidade 5 m/s se choca com uma mola de constante elástica 20000 N/m (figura 24).

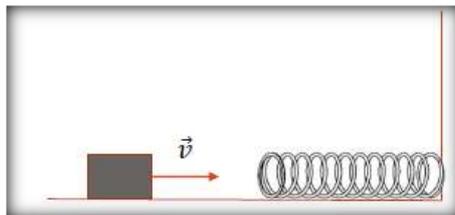


Figura 24: Sistema massa-mola horizontal.

Fonte: Própria autoria, 2021.

O corpo comprime a mola até parar. Despreze o atrito (superfície e ar).

- Qual a energia armazenada na mola?
- Determine a variação de comprimento da mola.

Ao término da resolução dos exemplos, foi mostrado um exemplo de mapa mental envolvendo o Princípio da Conservação de Energia Mecânica (figura 25).

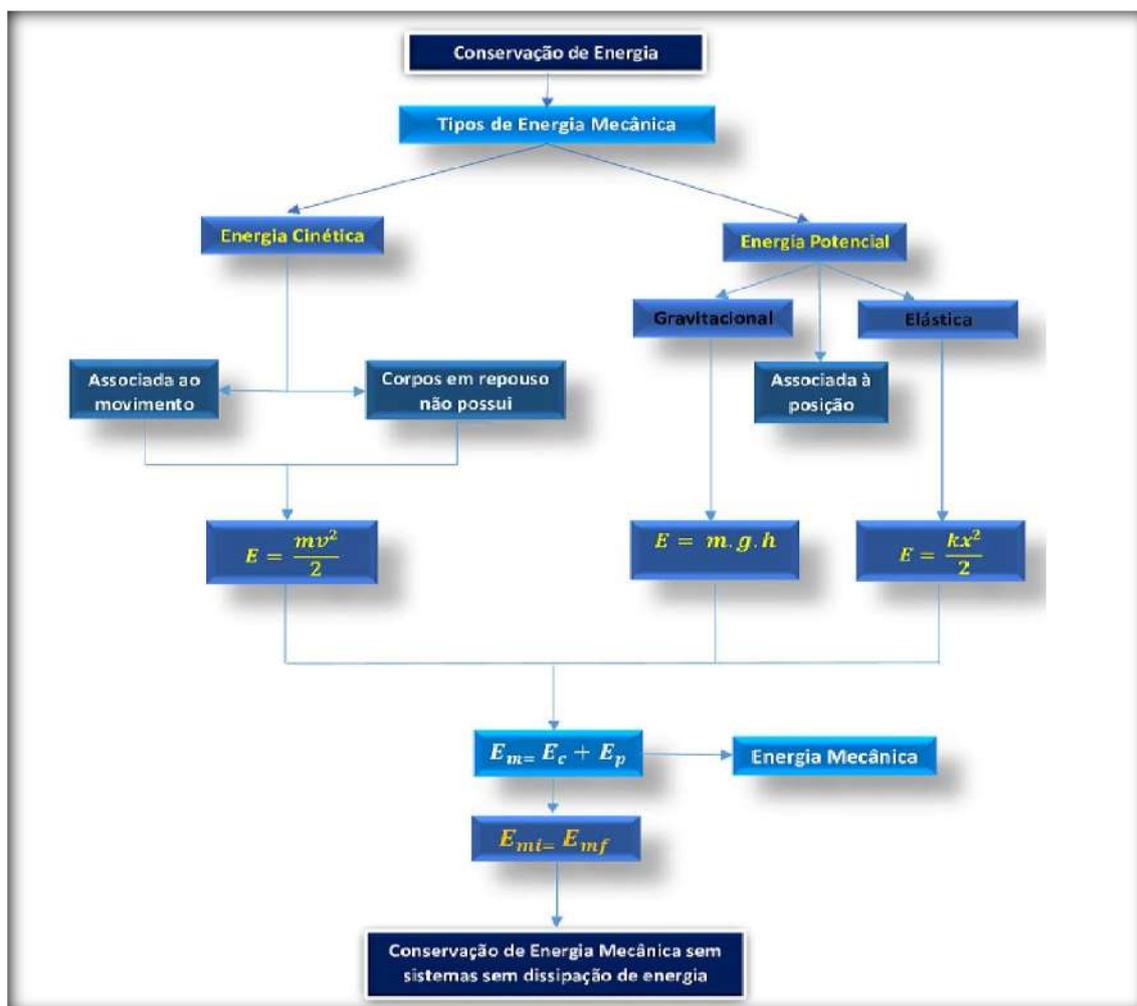


Figura 25: Mapa Mental do Princípio da Conservação da Energia Mecânica.

Fonte: Própria autoria, 2021.

Na sequência, também foi trabalhada a validade do Princípio da Conservação da Energia Mecânica em sistemas com atrito (figura 26).

Inicialmente, os estudantes foram levados a expor suas concepções prévias na seguinte situação:

Exemplo 6: É comum observarmos crianças em parques brincando nos escorregadores. Percebemos que a velocidade da criança varia enquanto escorrega, e na maioria das vezes não há acidentes como capotamento da criança. Mas vamos pensar juntos!

Pelo Princípio da Conservação da Energia Mecânica, vimos que a Energia Potencial Gravitacional que a criança possui no ponto mais alto do brinquedo seria convertida totalmente em Energia Cinética no final do escorregador.

Então, por que quando uma criança de massa igual a 15 kg desliza de uma altura de 1,80 m partindo do repouso não se machuca, visto que a velocidade com que chega ao referencial (solo) é aproximadamente de 21 km/h?

SISTEMAS COM ATRITO

$P = m \cdot g$ (1) → Plano horizontal ou vertical

$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$ (2) → Plano inclinado

De acordo com a 2ª Lei de Newton $F_R = m \cdot a$ (3)

<p>Na direção x, temos:</p> <p>$P_x = F_{at}$ (4)</p> <p>Sendo:</p> <p>$F_{at} = \mu \cdot N$ (5)</p> <p>$P_x = P \cdot \text{sen}\theta$ (6)</p> <p>$P \cdot \text{sen}\theta = \mu \cdot N$ (7)</p>	<p>Na direção y, temos:</p> <p>$P_y = N$ (8)</p> <p>Sendo:</p> <p>$P_y = P \cdot \text{cos}\theta$ (9)</p> <p>$P \cdot \text{cos}\theta = N$ (10)</p>	<p>Substituindo (8) em (5), temos:</p> <p>$F_{at} = \mu \cdot N$</p> <p>$F_{at} = \mu \cdot P_y$ (11)</p> <p>$F_{at} = \mu \cdot P \cdot \text{cos}\theta$ (12)</p>
---	--	--

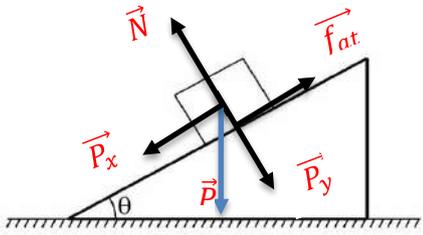


Figura 26: Forças Atuantes em um corpo sobre um plano inclinado com atrito.

Fonte: Própria autoria, 2021.

No entanto, em situações reais, quanto mais atrito houver (com o ar ou com o escorregador), mais energia potencial será convertida em formas de energia dissipativas (energia térmica), e menor será a rapidez com que o corpo chega ao final da descida⁹.

Foi apresentado o diagrama de corpo livre com as forças que agem em um corpo que desliza em um plano inclinado com atrito e a relação da força de atrito entre as superfícies de contato entre dois objetos com a dissipação da energia mecânica (figura 27).

SISTEMAS COM ATRITO

O trabalho (W) de uma força pode ser descrito como:

$$W = F \cdot d \quad (13)$$

No caso da força de atrito (F_{at}), a equação (13) pode ser reescrita por:

$$W = -F_{at} \cdot d \quad (14)$$

Sendo que o trabalho (W) da força de atrito (F_{at}) igual a variação de energia mecânica $W = \Delta E_m$ (15), e substituindo (14) em (15) temos:

$$\Delta E_m = -F_{at} \cdot d \quad (16)$$

Em sistemas com atrito, a energia não se conserva devido a sua dissipação.

$E_{mi} = E_{mf} + E_{dis}$

Figura 27: Dissipação de Energia Mecânica em Sistemas com Atrito.

Fonte: Própria autoria, 2021.

4.4.6 VI Etapa – 100 minutos

Foram apresentados três roteiros experimentais (**Apêndices D, F e H**) e os respectivos vídeos com a gravação da realização dos experimentos, os quais foram respondidos pelos estudantes divididos em grupos de 4 alunos cada. Os vídeos estão disponíveis nos links a seguir:

Atividade Experimental 1: Verificação do Princípio da Conservação de Energia Mecânica Através do Looping https://drive.google.com/file/d/1X8b1Npr71NH-QqdhC7VdACVJ_UZMhEqF/view?usp=sharing

⁹ Fonte: Disponível em: < https://www.if.ufrgs.br/tapf/v17n4_Grala.pdf >

Atividade Experimental 2: Conservação da Energia Mecânica em um Sistema Massa-Mola < <https://drive.google.com/file/d/1DjYv6j5uC-U0UwQjpFFcLi8v14sMJdPw/view?usp=drivesdk>>

Atividade Experimental 3: Verificação do Princípio da Conservação da Energia Mecânica em um Plano Inclinado com Atrito

<<https://drive.google.com/file/d/1Jiln9RF8MW5FX9d8AhnpkYrFBtbZuM/view?usp=sharing>>

4.4.7 VII Etapa – 50 minutos

Para verificação do conhecimento, foi aplicado o pós-teste (**Apêndice B**), composto pelas mesmas perguntas do questionário pré-teste.

4.5 Metodologia de Pesquisa e Contexto da Pesquisa

A sequência didática (Apêndice A) foi aplicada no segundo bimestre de 2021, especificamente nos meses de maio e junho, em cinco turmas de primeiros anos dos cursos técnicos em eletrotécnica, informática e logística, todos integrados ao ensino médio dos turnos matutino e vespertino do IFMT – *Campus Primavera do Leste*.



Figura 28: IFMT – Campus Primavera do Leste¹⁰

A presente pesquisa foi realizada com 116 estudantes (74 meninos e 42 meninas) de classes sociais variadas com faixa etária entre 15 e 16 anos, sendo 51 alunos do técnico em logística, 20 alunos do técnico em informática e 45 alunos do técnico em eletrotécnica durante o horário de aula (2 aulas conjugadas por semana) de forma remota (devido à

¹⁰ Fonte: disponível em < <https://pt-br.facebook.com/ifmtprimaveradolesteoficial/photos/ifmt-campus-primavera-do-leste-cr%C3%A9ditos-para-o-professorfot%C3%B3grafo-cristian-hanse/1688805441407539/>>

pandemia da COVID – 19). Por isso, foi necessário adaptar algumas estratégias para realizar a pesquisa durante essa modalidade de ensino, já que estava prevista para realização de forma presencial, onde os próprios estudantes realizariam as medidas experimentais nos três experimentos. Portanto, foi necessário rever a nova maneira em que os dados seriam coletados pelos estudantes.

Outras adaptações ainda foram necessárias, como a realização das gravações das aulas e dos experimentos e a disponibilização dos *links* no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA). Assim, os estudantes acessavam as gravações, coletavam os dados dispostos e respondiam os roteiros. Essa estratégia foi necessária, já que durante as aulas síncronas havia episódios de oscilação de sinal para acesso à internet em alguns pontos da cidade, e isso, poderia causar diminuição de dados para essa pesquisa. Portanto, foi necessário reelaborar toda sequência didática diante as peculiaridades do ensino remoto.

Esse trabalho propõe-se a analisar a eficácia de atividades por meio de demonstrações experimentais feitas com materiais de baixo custo para verificar o Princípio de Conservação da Energia Mecânica em dois sistemas próximos do ideal e um sistema com atrito. Assim, a demonstração da realização e a resolução dos roteiros foram os instrumentos responsáveis por enfatizar a compreensão do conceito Energia. No entanto, foi necessária uma pesquisa quantitativa para coletar os dados registrados nos questionários pré-teste e pós-teste. Portanto, os resultados levantados neste trabalho são frutos de uma pesquisa de natureza mista.

A coleta de dados iniciou-se com a aplicação de 116 questionários pré-teste, cujo objetivo foi averiguar os conhecimentos prévios dos estudantes a respeito do conceito Energia Mecânica e sua Conservação.

A fim de organizar os conhecimentos precedentes, foi proposta a resolução de três roteiros cuja gravação dos vídeos com a execução dos experimentos foram disponibilizadas na sala de aula virtual da plataforma Moodle, para que os grupos de alunos (em média 4 estudantes cada) observassem e coletassem os dados. O enfoque dessa atividade foi demonstrativo e predominantemente executada pela docente. Mesmo assim, procurou-se além de ressaltar as variáveis envolvidas e a existência de uma relação funcional entre elas, a quantificação das mesmas nos três experimentos.

Os dados do pré-teste e pós-teste foram organizados em planilhas do Excel e analisados de forma quantitativa através de gráficos para comparação dos dados obtidos

antes e depois da realização da atividade experimental em cada turma e, de forma qualitativa com a demonstração da evolução de algumas respostas dos estudantes das cinco turmas. Também foi feita análise da evolução percentual média de todas as turmas, para verificar a eficiência das atividades desenvolvidas de forma mais abrangente.

No IFMT – *Campus* Primavera do Leste, os estudantes possuem salas de aulas amplas, climatizadas e com excelente iluminação. A escola adota livros didáticos para os estudantes, além de possuir laboratório de Ciências equipado com kits experimentais adquiridos por empresas fornecedoras. Outro fato importante, é o apoio da coordenação quanto à execução de atividades diferenciadas tanto no ensino presencial como no ensino remoto, bem como a assiduidade dos estudantes nas aulas síncronas.

Durante o ensino remoto, o *campus* oferece bolsas de pacotes de internet e empréstimo de computadores para os alunos que não possuem em suas residências e, que suas famílias não tenham condições para subsidiar o custo para esse novo meio de comunicação essencial na pandemia da COVID – 19.

5 Resultados e Discussão

Os resultados e análises apresentados a seguir são correspondentes aos dados de 116 estudantes (Turma 1 – 20 alunos; Turma 2 – 29 alunos, Turma 3 – 22 alunos, Turma 4 – 22 alunos e Turma 5 – 23 alunos). A análise do pré-teste e pós-teste será apresentada mais tarde, trazendo a estatística do desempenho dos estudantes em cada questão.

5.1 Transmissão do Vídeo

Após a aplicação do questionário pré-teste, foi transmitido um vídeo com duração de 1 min no qual foi retirado qualquer tipo de som para que os estudantes pudessem prestar atenção somente nas imagens dos tipos de energia e a transformação das mesmas. A figura 28 é uma captura de tela do vídeo apresentado.



Figura 29: Captura de tela do vídeo¹¹

Seguindo a teoria de Ausubel, o vídeo serviu como organizador prévio proporcionando um elo entre o que os discentes já sabiam e o que ainda necessitavam aprender.

Após o término do vídeo, os discentes foram submetidos a perguntas. Houve respostas das cinco turmas. Na maioria das vezes, os estudantes responderam de forma descontraída e com as próprias palavras. A seguir são citadas algumas perguntas e frases na íntegra que foram obtidas com a reprodução da gravação da aula:

- O que é energia?

“Acho que é alguma coisa que dá sustância.”

¹¹ **Fonte:** Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=iFbsv_k2X6M&list=WL&index=16>

“ É uma fonte que permite a capacidade de mover, de ter a eletricidade, de ter vários meios tecnológicos entre outras coisas. ”

- Quais os tipos de energia presentes no vídeo?

“ Eólica, hidrelétrica, solar, nuclear. ”

“ Térmica e solar. ”

- Houve transformação de um tipo de energia em outro?

“ Acho que não. ”

“ Sim. A energia era suja e passou para limpa ”

- As transformações de energia sempre causam poluição e agredem o meio ambiente?

“ Causa muita poluição para o ambiente. Dá até pra ver as queimadas em casa. ”

“ Tem umas que não causa poluição. ”

5.2 Principais Tipos de Energia

Logo após, iniciou-se a aula com apresentação de slides compostos de figuras que demonstravam os principais tipos de energias renováveis e não renováveis. Também foi mostrado que a maior parte da energia elétrica disponibilizada para os brasileiros é proveniente das usinas hidrelétricas (67 % em 2021), devido à vasta quantidade de rios do país. A pesquisa foi realizada pela página da ANEEL como mostra a figura 29.



Figura 30: Quantidade de Usinas Hidrelétricas no Brasil¹²

¹² Fonte: Disponível em < https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/no-dia-mundial-da-agua-aneel-publica-infografico-sobre-hidreletricas-no-brasil/656877?inheritRedirect=false&redirect=http:%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fsala-de-imprensa-exibicao-2%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D3>

Apesar de ser considerada um tipo de energia renovável, os estudantes concluíram que em alguns casos, a instalação da mesma pode causar alteração na fauna e flora brasileira. Foi feita uma breve pesquisa inicialmente exposta pelas figuras 30 e 31 para levantamento prévio da quantidade de usinas nucleares no Brasil e no Japão. Os estudantes das cinco turmas se mostraram surpresos com o número de usinas nucleares em atuação no Brasil (2 usinas em 2021) quando comparados à quantidade desse tipo de usinas ativas no Japão (cerca de 50 usinas em 2021), levando em consideração a população nos dois países. Esses dados foram verificados em sites cujos links estão nas citações 6 e 7.



Figura 31: Quantidade de Usinas Nucleares no Brasil¹³

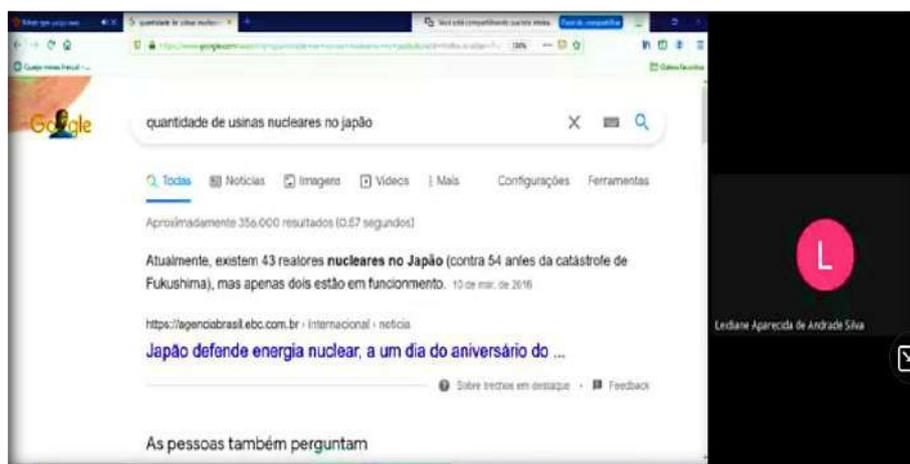


Figura 32: Quantidade de Usinas Nucleares no Japão¹⁴

¹³ Fonte: Disponível em <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral/governo-planeja-investir-us-30-bi-em-reatores-nucleares-em-dez-anos.70003026352>>

¹⁴ Fonte: Disponível em <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2016-03/japao-defende-energia-nuclear-um-dia-do-aniversario-do-acidente-em>>

5.3 Energia Potencial e Cinética

Dando sequência à aula, foram apresentados os conceitos de energias potenciais e cinética, resolvendo exemplos para cada uma delas conforme as capturas de telas representadas pelas figuras 32, 33, 35 e 36.

Para substituir o quadro branco foi utilizado o aplicativo Whiteboard da Microsoft.

O primeiro exemplo resolvido foi sobre a intensidade da energia cinética. Foi feita a seguinte pergunta aos estudantes:

- Se a moça movimentasse mais rápido, o que aconteceria com a intensidade da energia cinética?

“ A energia dela vai ser mais intensa. ”

“ Aumentava. ”

Esse exemplo foi resolvido adotando duas intensidades diferentes de velocidade, bem como a moça em repouso.

Handwritten whiteboard showing calculations for kinetic energy (E_c) for three cases:

- Case 1: $v_1 = 2\text{ m/s}$, $E_{c1} = \frac{50 \cdot (2)^2}{2} = \frac{50 \cdot 4}{2} = \frac{200}{2} = 100\text{ J}$
- Case 2: $v_2 = 4\text{ m/s}$, $E_{c2} = \frac{50 \cdot (4)^2}{2} = \frac{50 \cdot 16}{2} = \frac{800}{2} = 400\text{ J}$
- Case 3: $v_3 = 0$, $E_{c3} = \frac{50 \cdot (0)^2}{2} = 0$

Additional notes: $m = 50\text{ kg}$, $E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$, $E_m = E_c + E_p$, $v_2 = 2 \cdot v_1 \therefore E_{c2} = 4 \cdot E_{c1}$, and $\text{Quando } v=0, \text{ a } E_c \text{ é NULA}$.

Figura 33: Resolução do Exemplo Para Determinação da Intensidade da Energia Cinética. **Fonte:** Arquivo pessoal da autora, 2021

Seguindo o slide mostrado na figura 33, determinou-se a intensidade da energia potencial gravitacional das laranjas 2 e 8. Também foi mostrado que uma suposta laranja 0 quando situada no próprio referencial possui energia potencial gravitacional nula.

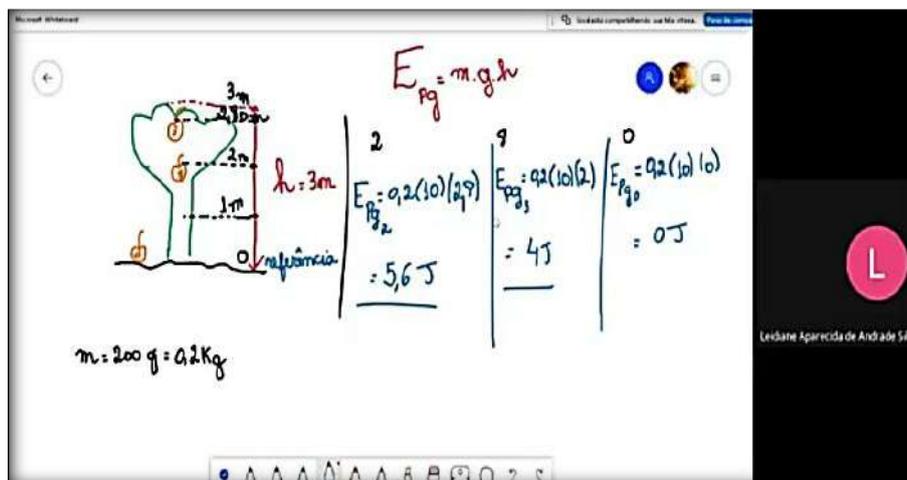


Figura 34: Resolução do Exemplo Para Determinação da Intensidade da Energia Potencial Gravitacional. **Fonte:** Arquivo pessoal da autora, 2021

Com os valores da energia potencial gravitacional das laranjas 0, 2 e 8, os estudantes perceberam que esse tipo de energia está diretamente relacionado à posição de um corpo em relação ao referencial adotado, levando-os à conclusão de que quanto mais alta for a queda d'água em uma cachoeira representada na figura 34, maior será sua energia potencial gravitacional.

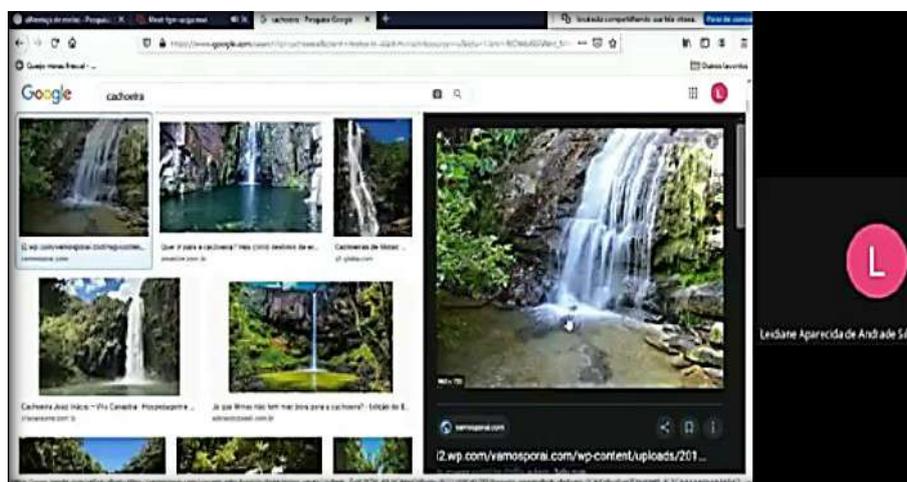


Figura 35: Cachoeiras com Queda d'água de diferentes alturas¹⁵

Ressalta-se que isso foi de extrema importância para mais tarde levá-los a compreender o processo de transformação de energia potencial gravitacional em energia cinética presente em uma usina hidrelétrica.

¹⁵ **Fonte:** Disponível em:

https://www.google.com.br/search?q=cachoeira&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwib057w9Y_yAhWNERkGHXQ6AtUO_AUoAnoECAEQBA&biw=1366&bih=615#imgrc=f8DWbB8IWInt_M

Dando continuidade à aprendizagem do conceito de energia potencial, foi resolvido outro exemplo; agora sobre energia potencial elástica, conforme mostrado na figura 35.

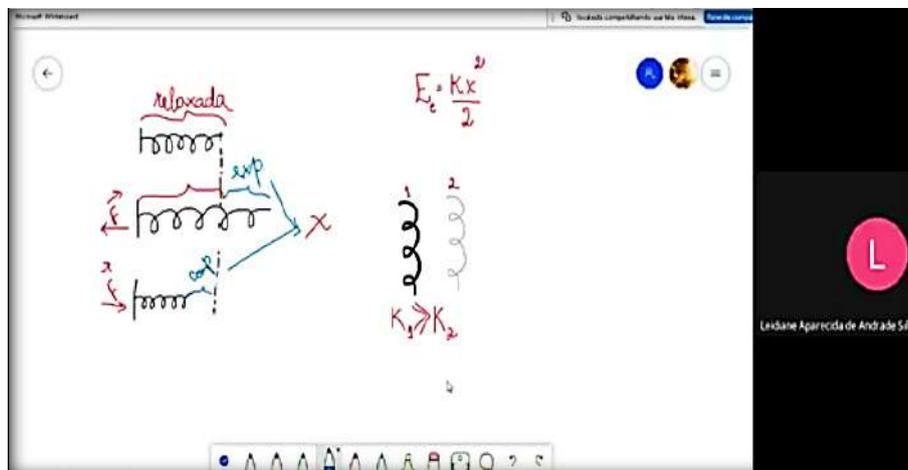


Figura 36: Resolução do Exemplo Para Determinação da Intensidade da Energia Potencial Elástica. **Fonte:** Arquivo pessoal da autora, 2021.

Os estudantes notaram que a constante elástica k da mola é uma propriedade física que está relacionada com a intensidade da força que deve-se aplicar na mola para deformá-la, comprimindo-a ou expandindo-a. O gráfico da força aplicada em uma mola em função da deformação da mesma, obtido pela Lei de Hooke, foi apresentado aos estudantes (figura 36), chegando à conclusão que quanto maior a deformação sofrida pelo corpo, maior será sua energia potencial elástica armazenada.

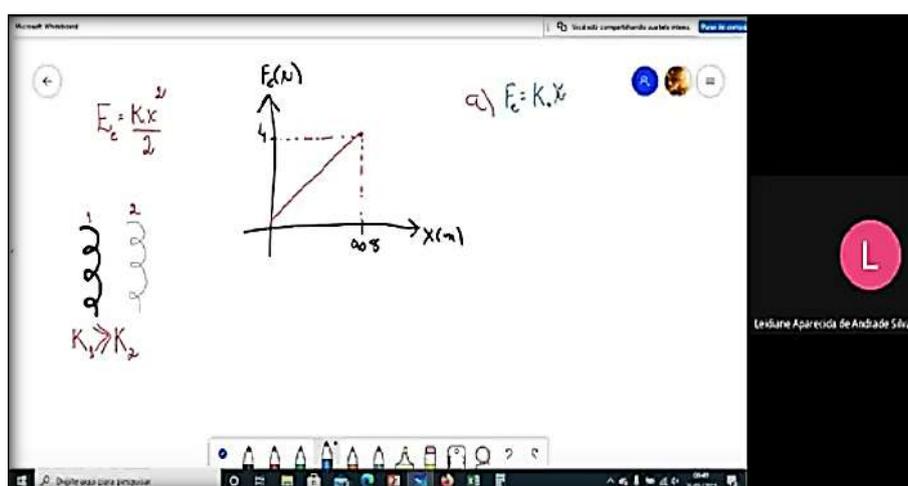


Figura 37: Lei de Hooke e a Energia Potencial Elástica. **Fonte:** Arquivo pessoal da autora, 2021.

Além disso, ressaltou-se que cada tipo de mola deve ser deformada de forma limitada para manter-se com sua propriedade elástica original, pois ao ser submetida à aplicação de uma força de intensidade maior que a suportada, a mola entra na fase de deformação denominada plástica, ou seja, deixa de ser ideal.

Concluindo os exemplos correspondentes às energias potenciais e cinética, o conceito de energia mecânica foi apresentada aos estudantes como o tipo de energia total presente em um sistema.

Na sequência, foi feita a seguinte pergunta:

- “ Para onde foi a energia potencial gravitacional da laranja 2 e 8, quando elas chegaram ao solo? ”

A seguir algumas respostas:

“ Depois de usar sua força, as laranjas diminuíram sua energia até acabar ”

“ As laranjas perderam altura e ganharam velocidade ”

“ A laranja mais alta caiu com mais força ”

Então foi resolvido o primeiro exemplo (figuras 37 e 38) utilizando o Princípio da Conservação da Energia Mecânica para determinação da velocidade que um esquiador de 60 kg chega ao final da pista.

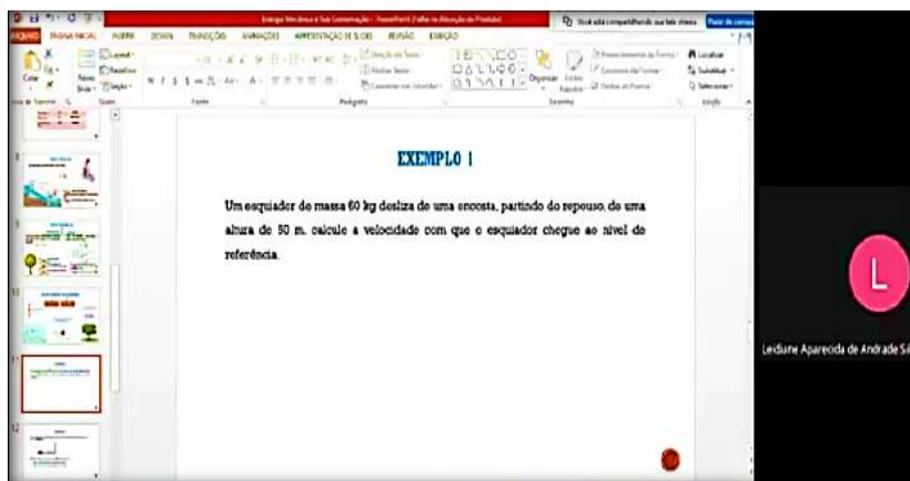


Figura 38: Exemplo Envolvendo Transformação da Energia Potencial Gravitacional em Energia Cinética. **Fonte:** Arquivo pessoal da autora, 2021.

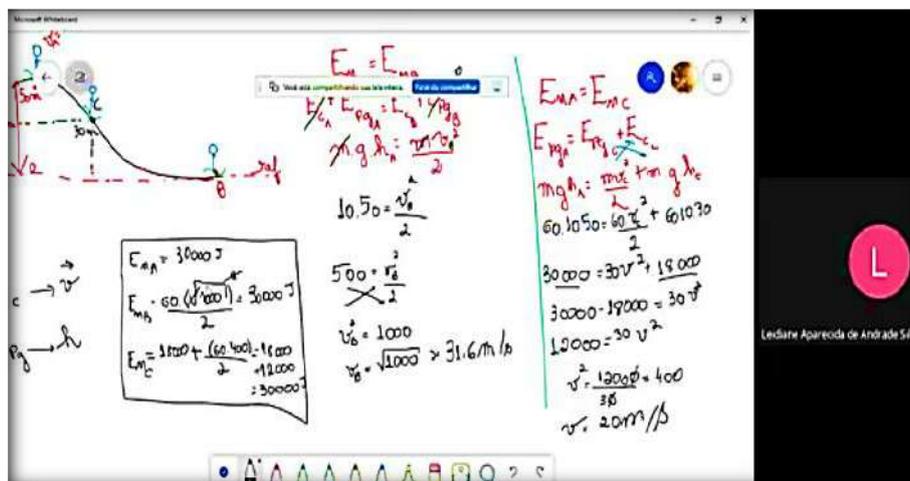


Figura 39: Resolução do Exemplo Envolvendo o Princípio da Conservação da Energia Mecânica. **Fonte:** Arquivo pessoal da autora, 2021.

Os estudantes foram questionados quanto à velocidade do esquiador em relação à posição de partida:

- Se o esquiador partir do ponto C, situado a 30 m de altura em relação ao referencial, o que acontecerá com a intensidade de sua velocidade quando ele chega ao nível de referência? Aumenta, diminuiu ou permanece constante?

“ *Aumenta muito.* ”

“ *Se o esquiador estiver mais alto, ele vai chegar mais rápido.* ”

Os estudantes também foram questionados sobre a massa do esquiador:

- E se o esquiador possuísse 50 kg ou 100 kg, haveria diferença na intensidade da velocidade com que chegaria ao final da pista?

“ *Se ele fosse mais gordo, sim. Porque ele teria mais força* ”

“ *Se o esquiador tivesse só 50 kg acho que deveria chegar mais devagar. A energia dele é menor* ”

No exemplo 2 (figura 39), envolvendo a conservação da energia mecânica, foi tratada a transformação da energia cinética em energia potencial elástica.

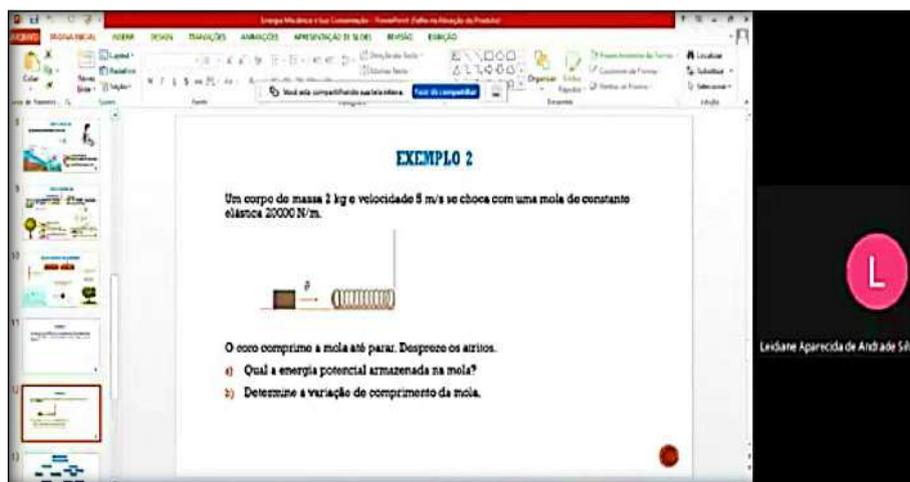


Figura 40: Exemplo Envolvendo Transformação da Energia Cinética em Energia Potencial Elástica. **Fonte:** Arquivo pessoal da autora, 2021.

O exemplo 2 foi resolvido utilizando o Princípio da Conservação da Energia Mecânica (figura 40).

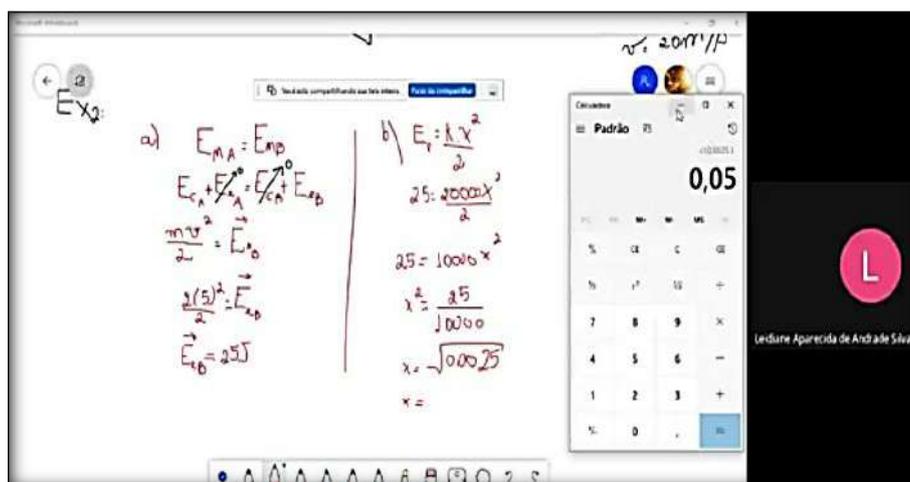


Figura 41: Resolução do Exemplo Envolvendo o Princípio da Conservação da Energia Mecânica. **Fonte:** Arquivo pessoal da autora, 2021.

No final da aula, o vídeo foi novamente passado e os alunos foram submetidos outra vez às mesmas perguntas. A seguir estão as respostas na íntegra de alguns estudantes:

- O que é energia?

“Algo que pode transformar.”

“Um meio que pode ser considerado independente se for na parte elétrica, nos carros ou objetos.”

- Quais os tipos de energia presentes no vídeo?
 “Do petróleo, solar, da cana e corporal.”
 “Solar, eólica e elétrica.”
- Houve transformação de um tipo de energia em outro?
 “Energia cinética em elétrica.”
 “Sim. A solar foi transformado em corrente elétrica.”
- As transformações de energia sempre causam poluição e agredem o meio ambiente?
 “Algumas não. Porque são mais ecológicas.”
 “A energia eólica não polui.”

5.4 Princípio da Conservação da Energia Mecânica

Na sequência os discentes foram questionados sobre a validade do Princípio da Conservação da Energia Mecânica em um sistema com atrito, quando uma criança desliza sobre o escorregador (figura 41)

Alguns alunos disseram que a criança não se machuca no escorregador devido à diminuição na intensidade da velocidade ao chegar ao solo.

“A gente não machuca porque o escorregador é de plástico e é baixo.”

“Eu sinto que a pele⁹esquenta quando chego lá embaixo.”

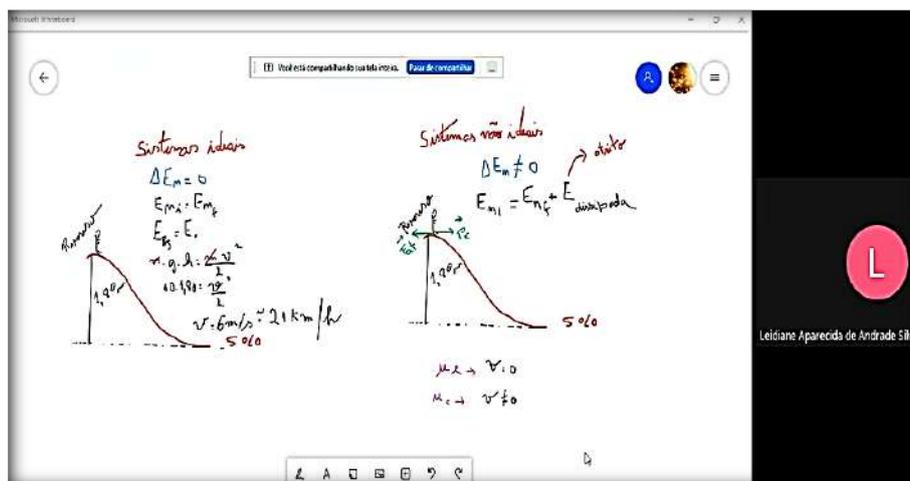


Figura 42: Dissipação da Energia Mecânica em Sistemas com Atrito.

Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2021.¹⁶

¹⁶ A palavra pele foi substituída. Porém, remete o mesmo significado da frase.

Alguns estudantes concluíram que a massa do corpo não causa influência na transformação da energia potencial gravitacional em energia cinética em um sistema ideal. Porém, em um sistema com atrito a grandeza m deve ser considerada.

5.5 Experimentos

O cronograma com a realização da atividade experimental havia sido planejado no final do ano de 2019, onde os alunos reproduziriam os três experimentos de forma presencial em sala de aula para estudo da Energia Mecânica e sua Conservação. Porém, houve mudança na programação e execução das atividades experimentais devido à pandemia do novo Corona vírus.

Com a ameaça da propagação da COVID-19, as atividades presenciais na Instituição encerraram em meados de março/2020. Assim, a alternativa foi produzir vídeos com coleta de dados para cada um dos três experimentos e disponibilizá-los na plataforma Moodle para que os discentes tivessem acesso para visualização quantas vezes fossem necessárias.

Apesar de ter que somente responder/resolver as questões dos roteiros, houve dificuldades quanto à compreensão das teorias envolvidas, como as Leis de Newton. Também foram notadas dificuldades referentes à utilização das equações quando a verificação do Princípio da Conservação da Energia Mecânica era solicitada.

Foi averiguado que a maioria dos grupos (72%) conseguiram responder todas as questões do roteiro da atividade experimental 1 apresentada no apêndice D, que trata da Conservação da energia no *looping*. Ao serem perguntados na questão 4 do pré-teste, muitos alunos disseram nunca ter andado de montanha russa, mas quando foi apresentado o vídeo com o experimento logo alguns alunos já associaram o movimento semelhante ao *looping*.

Nas cinco turmas, tivemos grupos que mostraram aptidão para explicar as forças envolvidas e as transformações de energias responsáveis por manter o carrinho nos trilhos. Mostraram que deveria existir uma velocidade e altura de lançamento mínimo para que o carrinho não desprendesse dos trilhos.

Pelos roteiros analisados da atividade experimental 2 (massa-mola) que pode ser acessado pelo apêndice F, concluiu-se que aproximadamente 50% dos grupos entregaram

este roteiro respondido. Alguns grupos demonstraram dificuldade para fazer o gráfico no Excel, optando pela utilização do papel milimetrado. Porém, observa-se que os dados não foram bem escalonados nos eixos, ficando impossível de traçar a reta para determinar a constante elástica através do coeficiente angular.

A atividade experimental 3 (plano inclinado) disposta no apêndice H, para verificação do Princípio da Conservação da Energia Mecânica em um sistema com atrito, contribuiu pela menor quantidade entregue de roteiros respondidos (41%). Alguns dos fatores que podem ter influenciado foram a falta de tempo e a falta de compreensão das Leis de Newton, pois o conteúdo foi estudado em outro bimestre, dentre outros fatores.

Muitos grupos apresentaram dificuldade na diferenciação de atrito estático e atrito cinético, bem como relacioná-los à conservação da Energia Mecânica através da dissipação da mesma.

5.6 Resultados dos Questionários Pré-Teste e Pós-Teste:

A seguir são apresentados os gráficos necessários para a análise das questões dos questionários pré-teste e pós-teste, trazendo uma estatística aproximada do desempenho dos estudantes em cada questão. Para isso, foi classificado como:

- Resposta esperada (100% da resposta está correta);
- Resposta próxima a esperada (75% da resposta está correta);
- Resposta intermediária a esperada (50% da resposta está correta);
- Resposta quase não esperada (25% da resposta está correta);
- Resposta não esperada (a resposta não possui acertos).

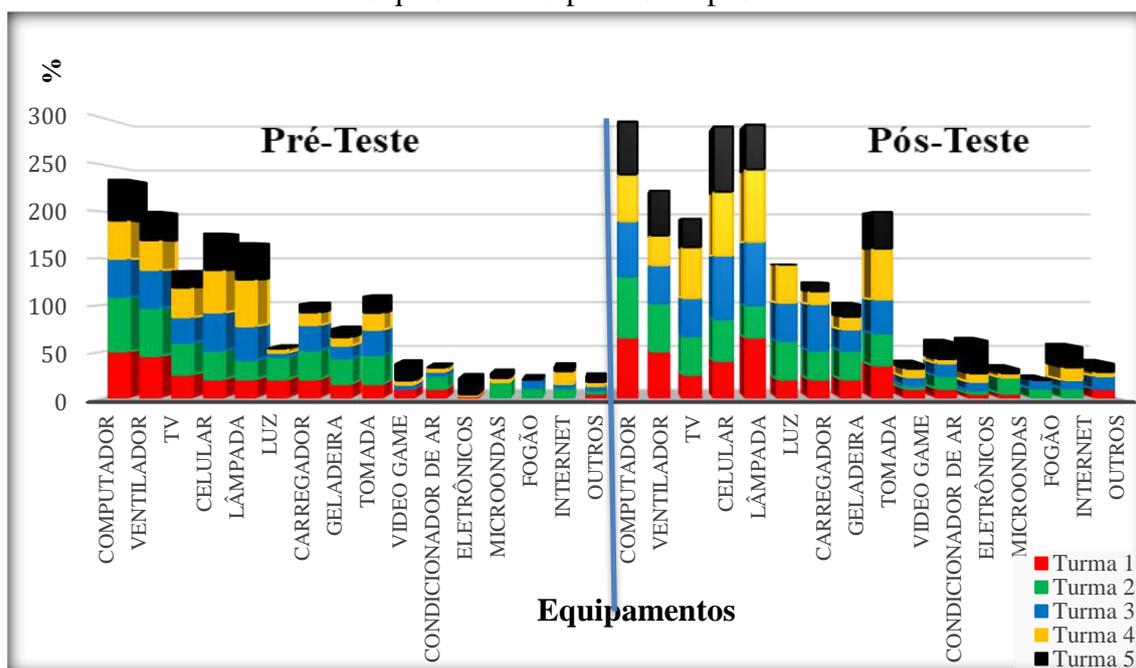
O Gabarito das questões pode ser conferido no Apêndice C.

5.6.1 Análise da 1ª Questão

Das coisas a sua volta, quais, em sua opinião, estão mais diretamente relacionadas com a energia?

Pelos dados expostos no gráfico 1, foi observado que os estudantes da turma 2 foram os que mais associaram o computador como o principal equipamento relacionado à energia tanto no pré-teste quanto no pós-teste.

Gráfico 1: Desempenho dos estudantes de cada turma na 1ª Questão nos questionários pré-teste e pós-teste



Porém, houve grande variação no nível de respostas de todas as turmas. A seguir nas figuras 42 e 43 são apresentadas duas respostas de um aluno da turma 3 registradas nos questionários pré-teste e pós-teste.

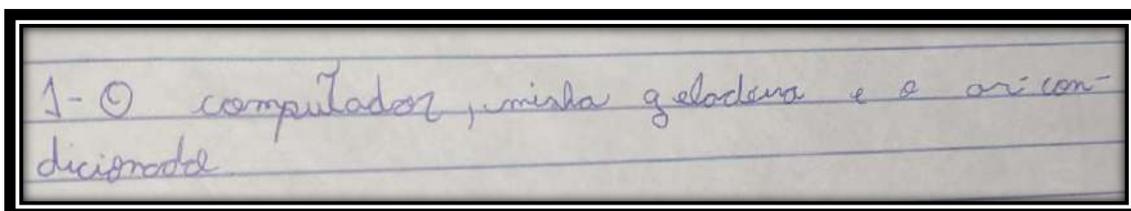


Figura 43: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 3

Fonte: Arquivo Pessoal da Autora, 2021

Como pode ser observado no gráfico 1, o equipamento mais escolhido nas turmas foi o computador tanto no pré-teste como no pós-teste. Essa escolha pode ter sido influenciada pela utilização da ferramenta durante o ensino remoto, uma vez que vários

estudantes enquanto respondiam o questionário utilizavam o equipamento.

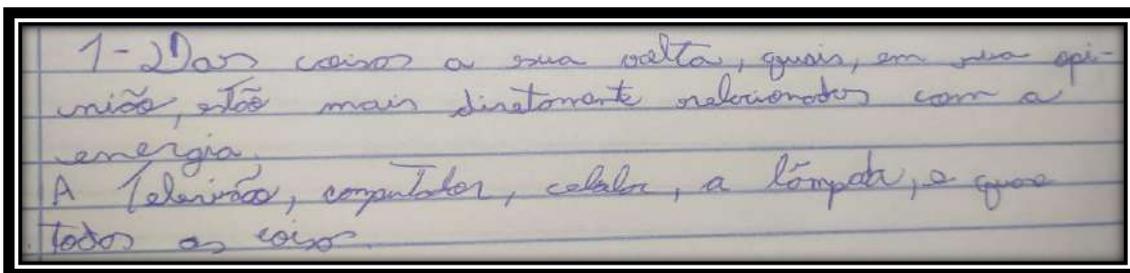
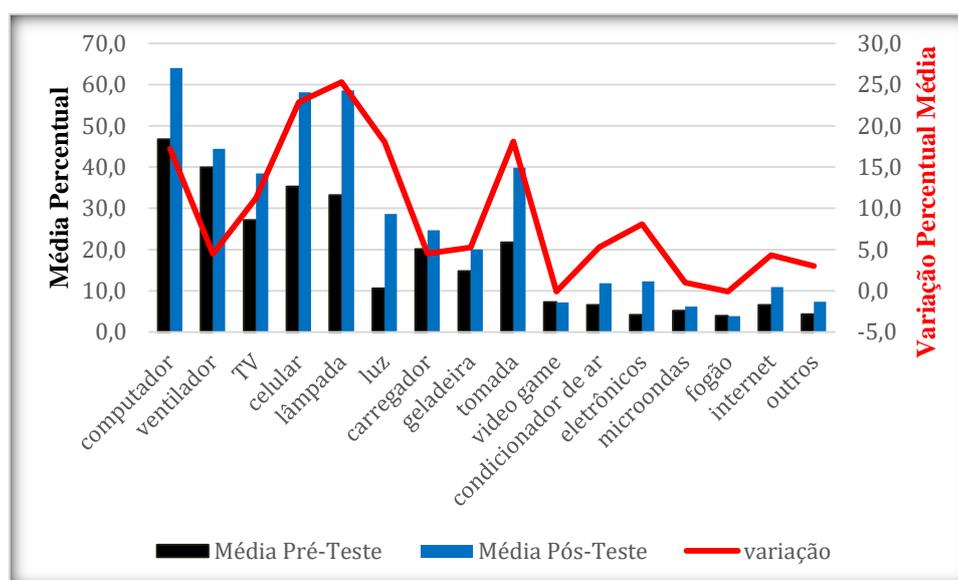


Figura 44: Questionário pós-teste - Resposta de um estudante da turma 3

Fonte: Arquivo Pessoal da Autora, 2021

O gráfico 2 mostra a variação média das respostas obtidas na primeira questão. Para isso, foi considerado a média das respostas de cada equipamento escolhido nas cinco turmas nos questionários pré-teste e pós-teste.

Gráfico 2: Variação Percentual Média do Desempenho dos Estudantes na 1ª Questão



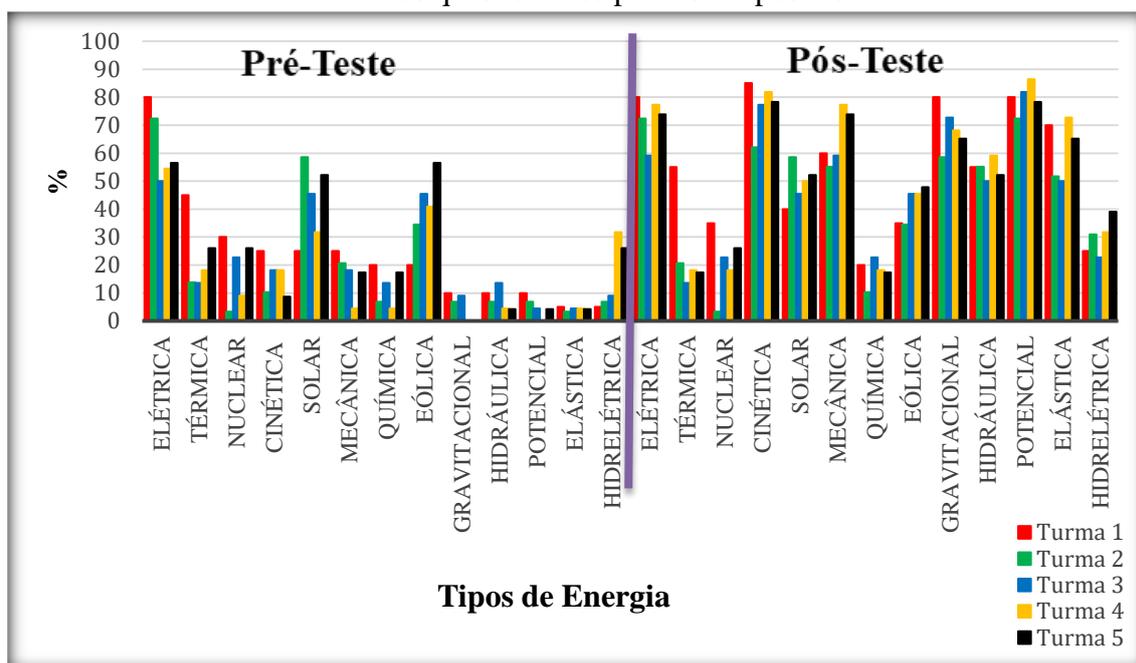
O equipamento que obteve a maior variação percentual média registradas nos questionários foi a lâmpada com cerca de 33,2% contra 58,6%. A turma 1 foi a que menos escolheu a lâmpada no pré-teste (20%) e a turma 4 foi a que mais escolheu este equipamento no pós-teste (77,3 %).

5.6.2 Análise da 2ª Questão

Que formas de energia você conhece ou já ouviu falar?

O tipo de energia mais conhecido no pré-teste foi a elétrica. A turma 1 foi a que registrou o maior número de respostas (80%), seguida pela turma 2 (72,4 %). A turma 3 foi a que menos identificou a energia elétrica como um tipo de energia (50%).

Gráfico 3: Desempenho dos estudantes de cada turma na 2ª Questão nos questionários pré-teste e pós-teste



No pós-teste, as turmas 1 e 2 mantiveram o número de respostas registradas no pré-teste. A turma 3 registrou 59,1%, resultando em uma evolução de 9,1% na identificação dos tipos de energia. As turmas 4 e 5, foram as que tiveram a maior diferença percentual de respostas para energia elétrica quando comparado os números registrados no pré-teste (54,5% e 56,5%) e pós-teste (77,3% e 73,9%), respectivamente.

Os tipos de energia menos citados no pré-teste foram a potencial elástica e nuclear, com cerca de 3,4% cada registrados na turma 2. Na turma 4 não foi registrado nenhuma resposta para a energia Potencial Gravitacional (figura 44). Em contrapartida, a Turma 4 registrou evolução expressiva no número de respostas para o conhecimento da energia Potencial Gravitacional.

Como o principal objetivo da questão era saber se os alunos já tinham conhecimento sobre a energia mecânica através da identificação das energias potenciais e cinética, pôde-se concluir que o instrumento didático utilizado resultou em mudanças nos conhecimentos dos estudantes segundo as respostas analisadas no pós-teste e pré-teste.

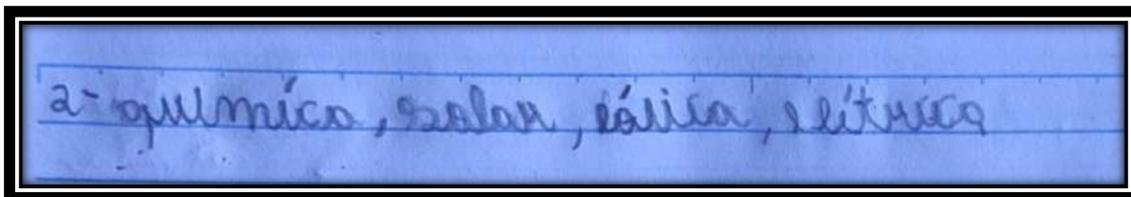


Figura 45: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 4

Fonte: Arquivo Pessoal da Autora, 2021

As energias potencial gravitacional, elástica e a energia cinética foram pouco ressaltadas nas respostas do pré-teste, apesar dos alunos já terem visto as mesmas no 9º ano do ensino fundamental.

Na figura 45, podemos notar que a maior mudança nos números aconteceu com os tipos de energia mecânica. A resolução dos três roteiros pode ter contribuído para com o conhecimento desses tipos de energia.

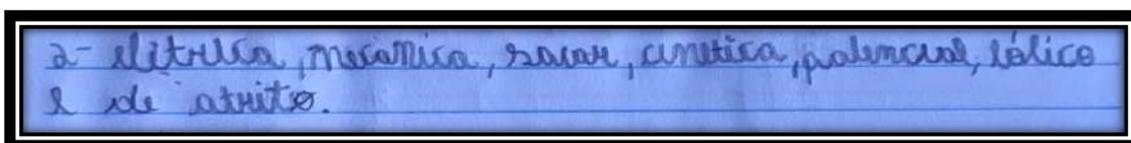


Figura 46: Questionário pós-teste - Resposta de um estudante da turma 4

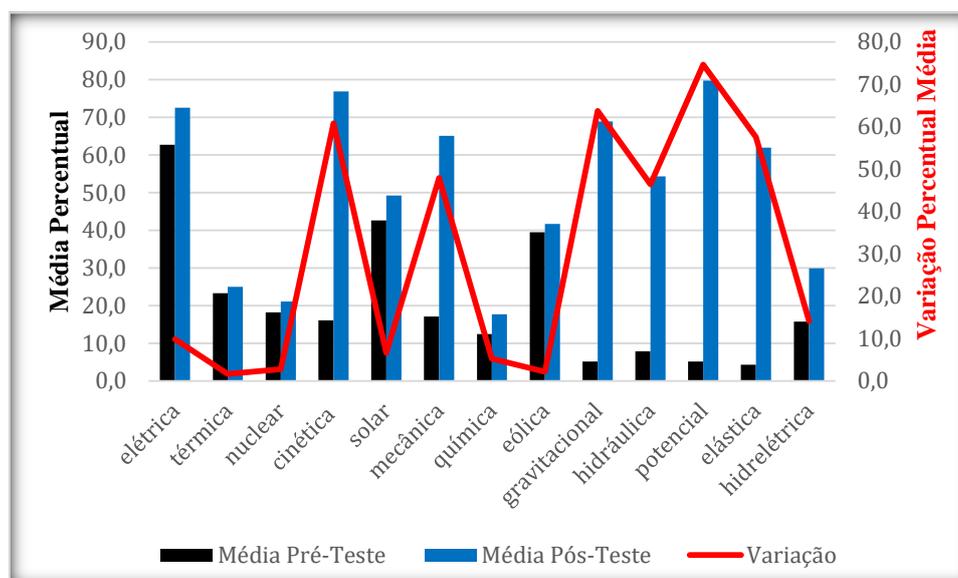
Fonte: Arquivo Pessoal da Autora, 2021

Como já era esperado, a energia elétrica foi o tipo de energia mais destacada na variação média do número de respostas, atingindo aproximadamente 9,9% segundo exposto no gráfico 4, demonstrando que os estudantes já tinham conhecimento expressivo desse tipo de energia.

Outros tipos de energia com menor evolução registradas nos questionários foram: térmica (1,6%), eólica (2,2%) e nuclear (2,8%).

Os tipos de energia que apresentaram maior variação percentual média foram: hidráulica e mecânica (aproximadamente 47% cada), elástica (57,6%), cinética (60,8%), gravitacional (63,7%) e potencial (74,6%).

Gráfico 4: Variação Percentual Média do Desempenho dos Estudantes na 2ª Questão



Um fato interessante é que na questão 2 foi observado ao analisar, as respostas do questionário pós-teste, que mais da metade do total dos estudantes separaram a energia potencial gravitacional e elástica em potencial, gravitacional e elástica. Provavelmente, não houve tempo suficiente para discutir melhor os diferentes tipos de energia e desenvolver as atividades.

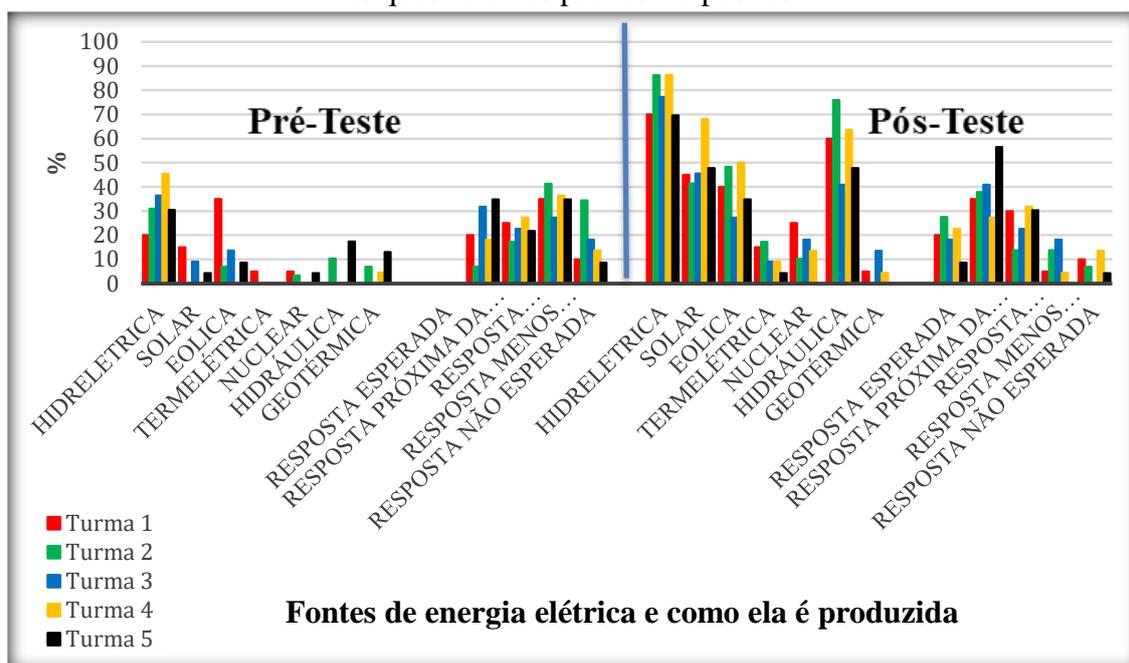
5.6.3 Análise da 3ª Questão

Como a energia elétrica é gerada? Dê algum exemplo e explique como ela é produzida.

A partir do gráfico 5, observa-se que a maioria dos estudantes souberam identificar a energia elétrica proveniente das usinas hidrelétricas e eólicas, bem como o processo de produção das mesmas.

A identificação da geração de energia elétrica pela usina termelétrica não registrou respostas para as turmas 2, 3, 4 e 5, havendo apenas uma resposta (5%) para a turma 1.

Gráfico 5: Desempenho dos estudantes de cada turma na 3ª Questão nos questionários pré-teste e pós-teste



No pré-teste não foram obtidas respostas esperadas para descrição de como a energia elétrica é gerada. Porém, a média das respostas próximas às esperadas alcançaram cerca de 22,3% no pré-teste e 39,5% no pós-teste, como mostra o gráfico 6.

A turma 4 foi a que registrou maior número de respostas para usina hidrelétrica (45,5%) no pré-teste, porém sem muitas explicações de sua produção (figura 46). As usinas nucleares e sua produção não tiveram um número significativo de respostas. Na turma 2, somente um aluno relatou conhecer e explicar a produção da energia nuclear.

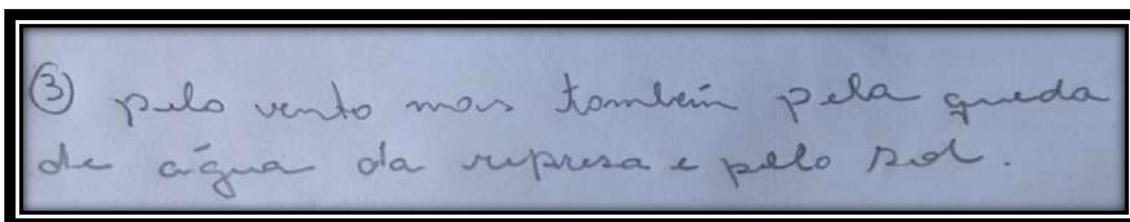


Figura 47: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 4
Fonte: Arquivo Pessoal da Autora, 2021

Na figura abaixo temos a resposta do mesmo aluno representada na figura 46. O estudante continua a ressaltar a energia gerada pelas usinas hidrelétricas, mas desta vez acrescenta a explicação para a produção de energia através das usinas eólicas.

Na resposta apresentada na figura 47, observa-se que o tipo de energia elétrica resultante do represamento de água, ainda continua o mais escolhido. No entanto, essa resposta selecionada no questionário pós-teste entrou para a estatística de respostas esperadas ao detalhar os processos da produção de energia.

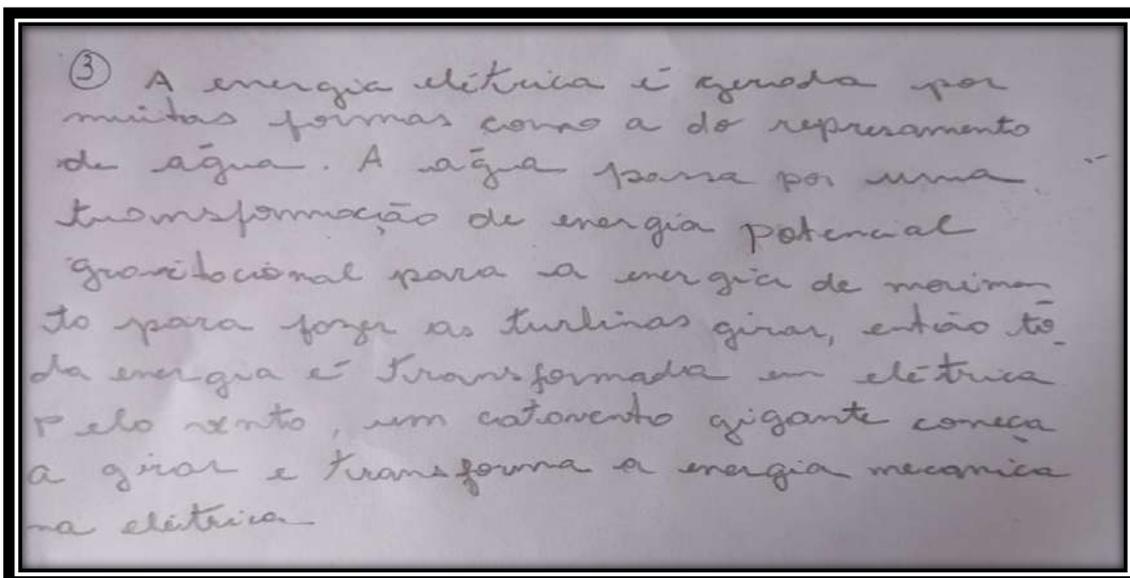
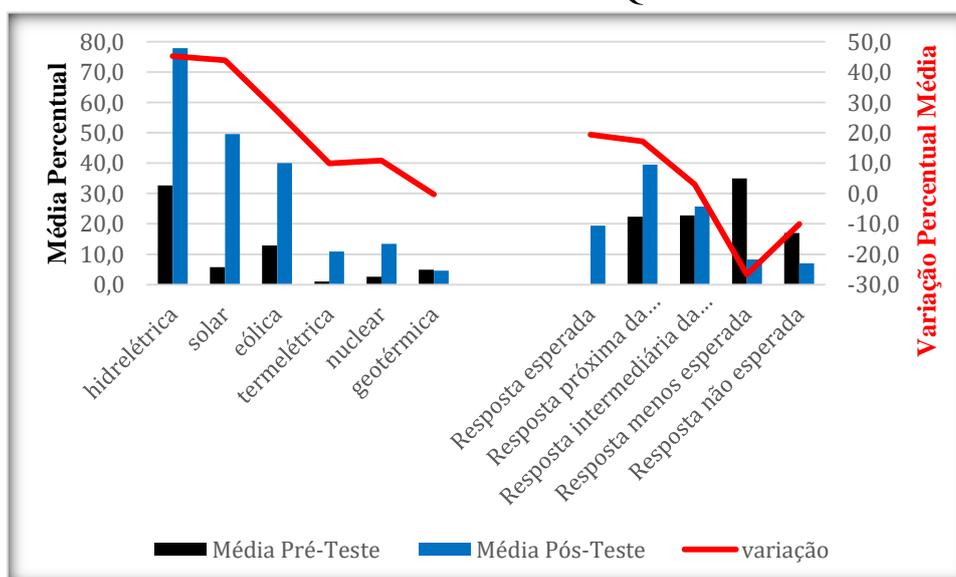


Figura 48: Questionário pós-teste - Resposta de um estudante da turma 4
Fonte: Arquivo Pessoal da Autora, 2021

Através do gráfico 6 é possível concluir que a maior variação média foi registrada na produção de energia elétrica devido ao represamento de água (45,2% e 52,1%). A geração de energia elétrica pelas usinas geotérmicas apresentou um retrocesso na variação média das respostas equivalente a -0,3%.

Gráfico 6: Variação Percentual Média do Desempenho dos Estudantes na 3ª Questão



A produção de energia elétrica a partir de usinas termelétricas foi a que teve a menor variação média positiva (9,9%).

De acordo com o gráfico 6, a curva da variação média sofreu maior inclinação no levantamento das respostas menos esperadas, havendo um decréscimo de aproximadamente 26,7%. As respostas não esperadas diminuíram cerca de 10% na média, quando comparadas às respostas registradas nos questionários pré-teste e pós-teste.

Ressalta-se que, a média das respostas intermediárias registraram variação de apenas 2,9%.

5.6.4 Análise da 4ª Questão

Por que é importante economizar energia?

No pré-teste, quase 50% dos alunos da turma 1 ressaltaram que a importância na economia de energia está diretamente relacionada à situação financeira conforme mostrado na figura 48.

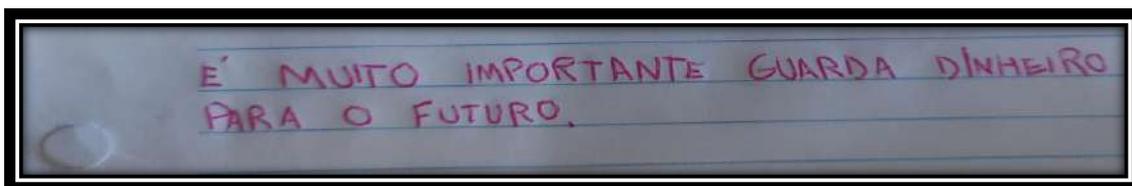


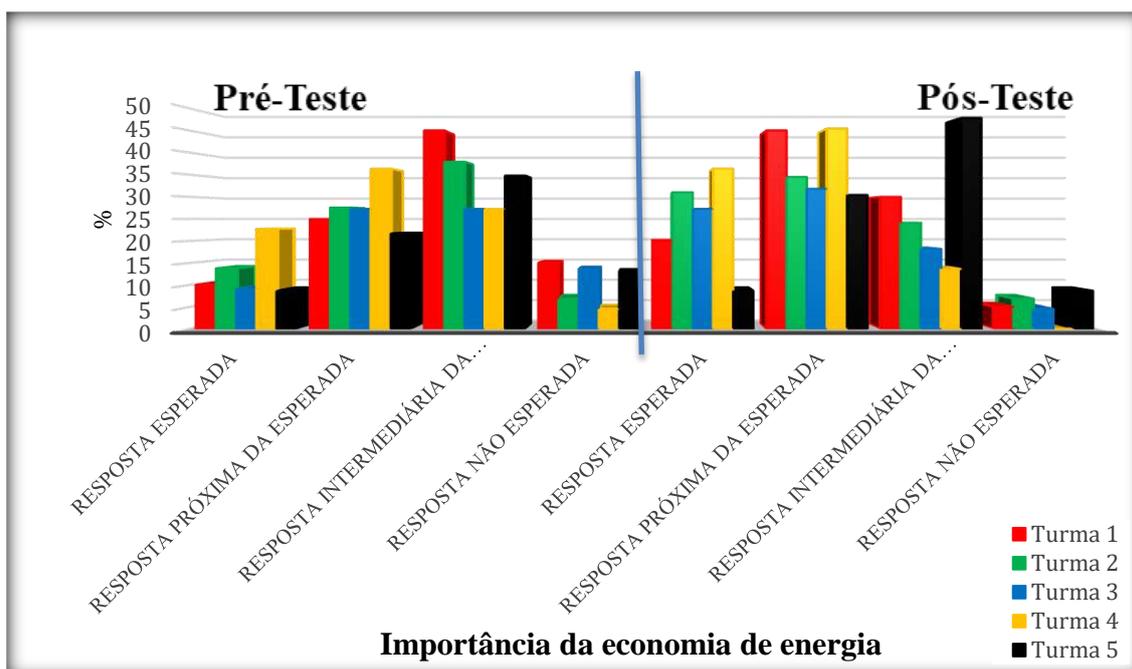
Figura 49: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 1.

Fonte: Arquivo Pessoal da Autora, 2021.

No gráfico 7, observa-se que o maior percentual de respostas esperadas foi de 22,7%, registrado na turma 4. Os estudantes ressaltaram que a economia de energia é importante devido à preservação ambiental e economia financeira.

No pós-teste, as respostas intermediárias saltaram para 47,8%, contra 8,7% de respostas não esperadas na turma 5. As respostas esperadas ficaram no máximo com 36,4% registrados na turma 4.

Gráfico 7: Desempenho dos estudantes de cada turma na 4ª Questão nos questionários pré-teste e pós-teste



Na resposta apresentada na figura 49 podemos notar que além de ressaltar a economia financeira, a estudante da turma 1 cuja resposta foi apresentada na figura 48 passou a considerar a importância da preservação ambiental.

Nas aulas anteriores foi apresentado a classificação dos tipos de energia quanto renováveis e não renováveis. Assim, a mudança nas respostas dessa questão no pré-teste e pós-teste pode ter sido influenciada pelo novo conhecimento.

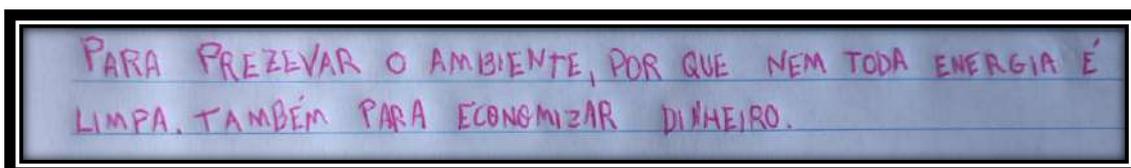
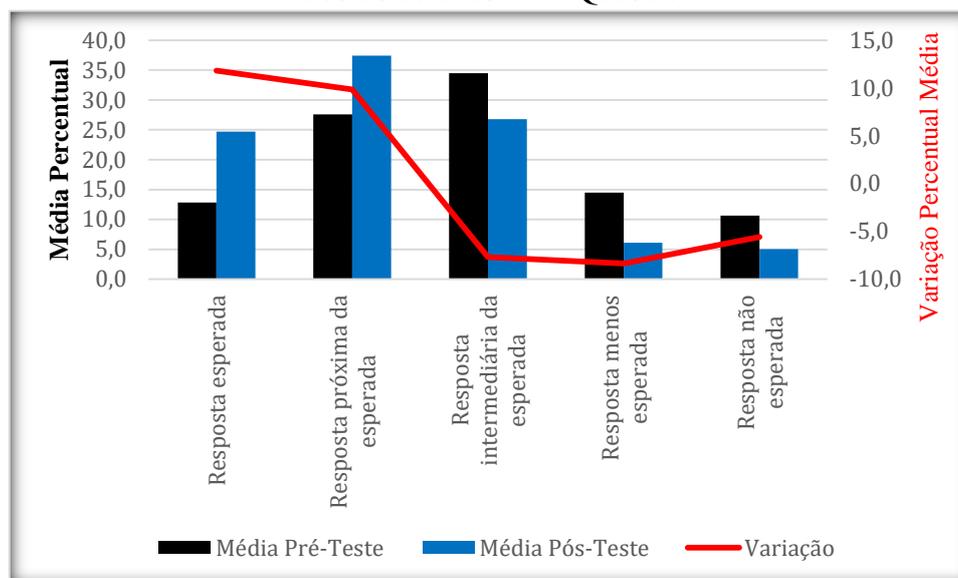


Figura 50: Questionário pós-teste - Resposta de um estudante da turma 4.

Fonte: Arquivo Pessoal da Autora, 2021.

No gráfico 8 é apresentada a variação percentual média das respostas não esperadas às respostas esperadas.

Gráfico 8: Variação Percentual Média do Desempenho dos Estudantes na 4ª Questão



A curva da variação percentual média das respostas obtidas nos questionários pré-teste e pós-teste mostra que houve acréscimo de 11,8% nas respostas esperadas. O maior decréscimo foi registrado para respostas intermediárias (aproximadamente -8%), seguido do valor da variação das respostas não esperadas, com cerca de -5%.

5.6.5 Análise da 5ª Questão

Você já andou de montanha russa? Por que o carrinho não cai quando faz o Looping?

No gráfico 9, observa-se que a quantidade de estudantes que mais andaram de montanha russa pertence à turma 3. Os estudantes que menos andaram foram os da turma 4.

No pré-teste, a turma 4 forneceu as melhores respostas esperadas para explicar o motivo pelo o qual o carrinho não cai dos trilhos, enquanto a turma 5 não forneceu um do porquê (figura 50).

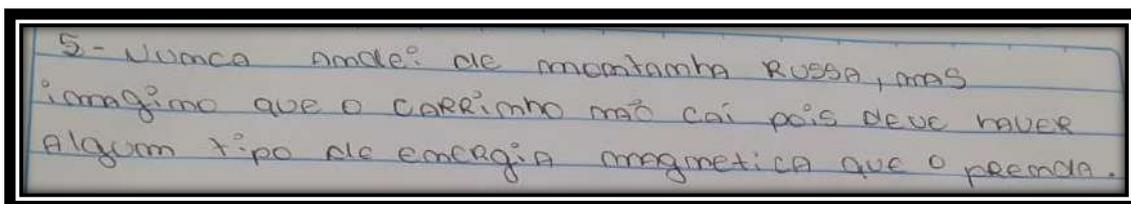
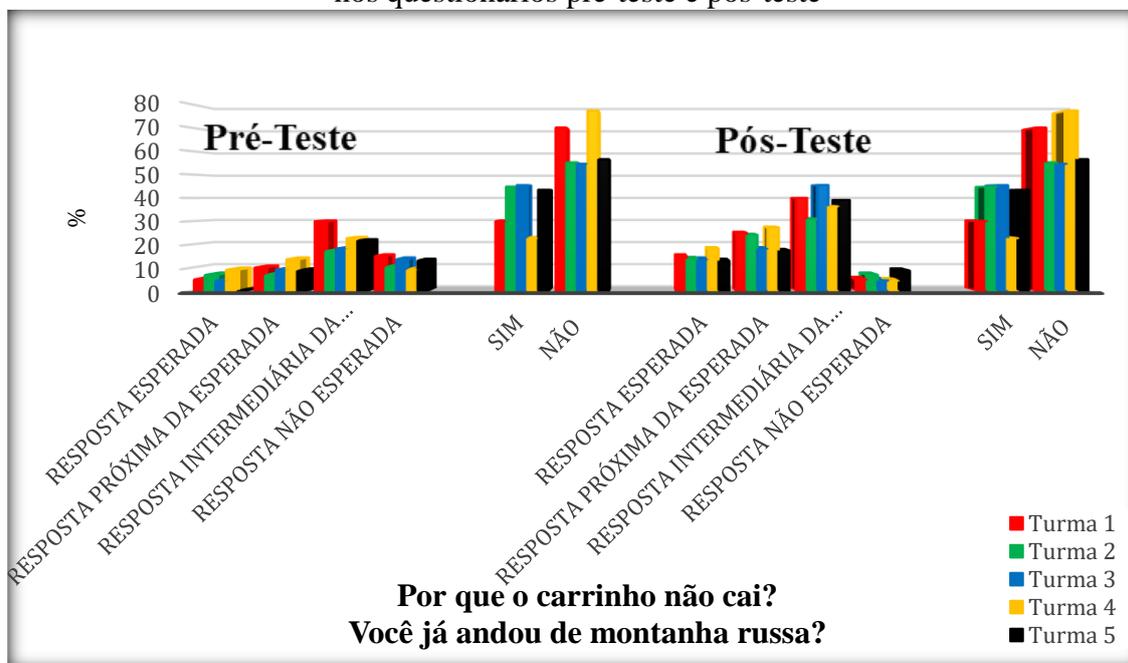


Figura 51: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 5
Fonte: Arquivo Pessoal da Autora, 2021.

Foi possível perceber que a maioria dos estudantes não assimilaram a atuação da força centrípeta, a velocidade e a altura mínima de lançamento do carrinho em relação ao referencial como causa essencial para completar o *looping*.

Gráfico 9: Desempenho dos estudantes de cada turma na 5ª Questão nos questionários pré-teste e pós-teste



No pós-teste, a turma 4 foi a responsável pela maior quantidade de respostas esperadas tanto no pré-teste quanto no pós-teste. No entanto a turma 5 obteve 13 pontos percentuais, valor ainda considerado baixo. As respostas não foram escritas detalhadamente especificando a atuação das respectivas forças e transformações da energia mecânica responsáveis por manter o carrinho no trilho (figura 51).

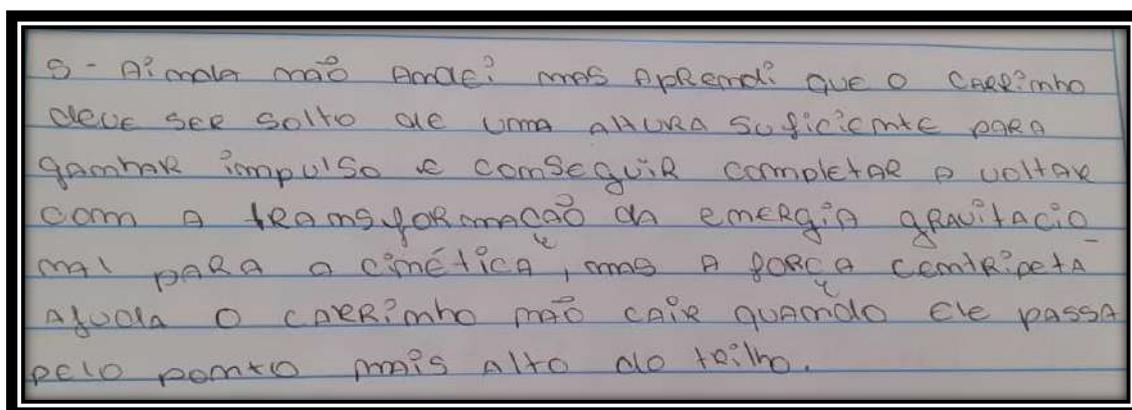
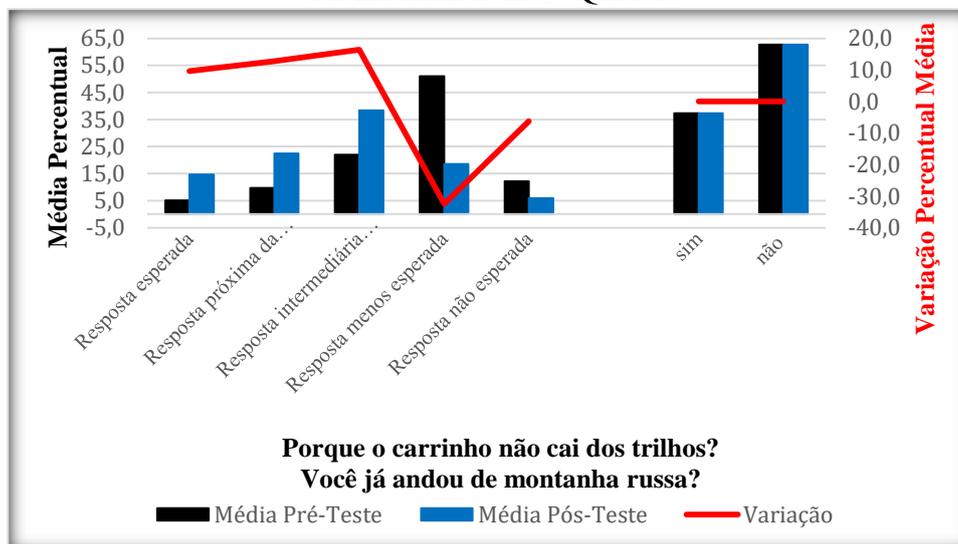


Figura 52: Questionário pós-teste - Resposta de estudante da turma 5.

Fonte: Arquivo Pessoal da Autora, 2021.

As turmas que tiveram o menor decréscimo percentual de respostas não esperadas após a reaplicação do questionário foram as turmas 2 e 5.

Gráfico 10: Variação Percentual Média do Desempenho dos Estudantes na 5ª Questão



É possível ver no gráfico 10 que não houve alteração das respostas dos alunos que andaram ou não de montanha russa. Em relação à explicação do porquê o carrinho não cai dos trilhos, a variação das respostas intermediárias teve evolução de 16,4%. As respostas não esperadas e menos esperadas registraram, respectivamente, queda de 6,3 e 32,5 pontos percentuais.

5.6.6 Análise da 6ª Questão

Em um parque, uma menina deseja escolher um dos escorregadores (sem atrito), mostrados na figura abaixo, de modo que consiga atingir a maior velocidade possível ao chegar na parte inferior do escorregador. Qual dos escorregadores ela deve escolher e por quê?

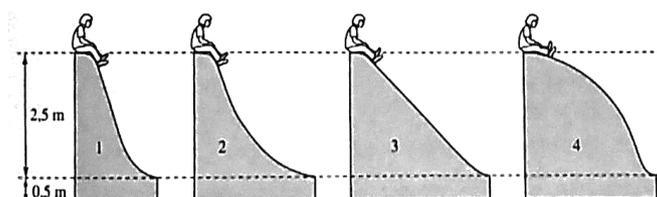


Figura 53: Menina descendo o escorregador¹⁷

¹⁷ Fonte: Peer Instruction - A Revolução da Aprendizagem Ativa, 2015

Conforme mostrado no gráfico 11, no pré-teste a maioria dos estudantes das cinco turmas registraram respostas não esperadas para a escolha dos escorregadores. Na turma 1, foram registradas 19 respostas não esperadas, resultando em 95%. A turma 4, foi a que obteve maior percentual de respostas próximas às esperadas (9,1%). Não foram encontradas respostas esperadas em nenhuma das turmas.

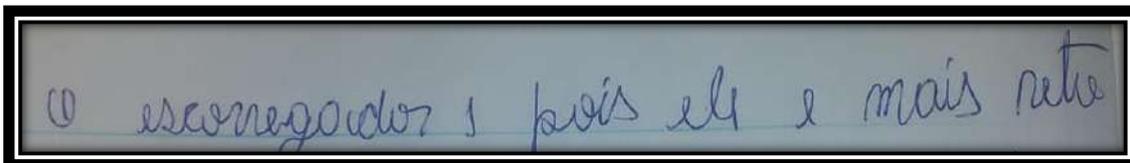
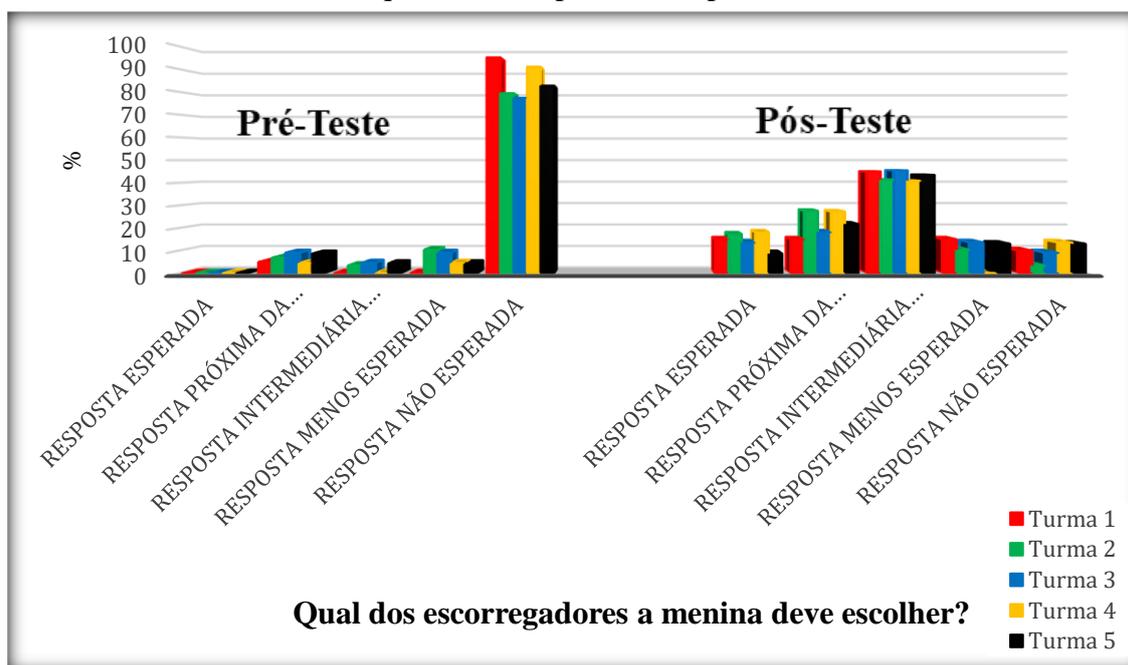


Figura 54: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 1
Fonte: Arquivo Pessoal da Autora, 2021.

Na figura 53, uma das respostas dos estudantes da turma 1 ressalta a consideração do tipo de escorregador para atingir a maior velocidade. A maior parte das escolhas foram baseadas pela ausência de curva que a menina deveria percorrer.

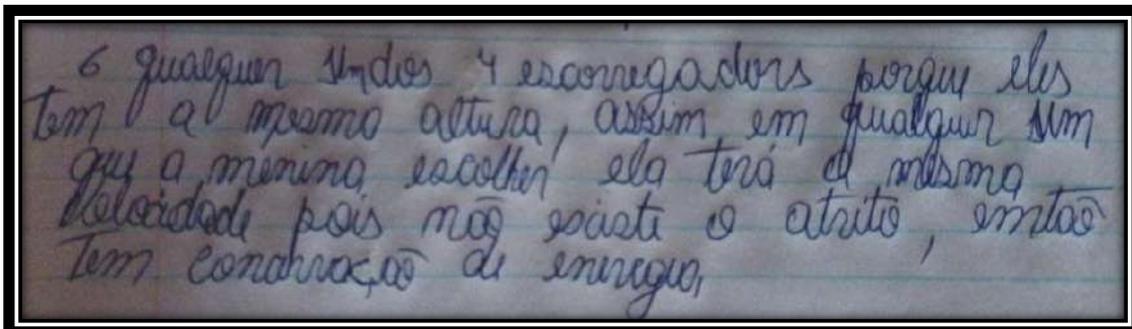
Gráfico 11: Desempenho dos estudantes de cada turma na 6ª Questão nos questionários pré-Teste e pós-Teste



No pós-teste, as respostas esperadas saíram do patamar zero e atingiram 18,2% na turma 4. As respostas intermediárias atingiram o maior índice de respostas, cerca de 45% nas turmas 1 e 3.

Na figura 54, pode ser observado uma resposta na íntegra do mesmo aluno cuja resposta foi apresentada na figura 53.

Figura 55: Questionário pós-teste - Resposta de um estudante da turma 1.
Fonte: Arquivo Pessoal da Autora, 2021.

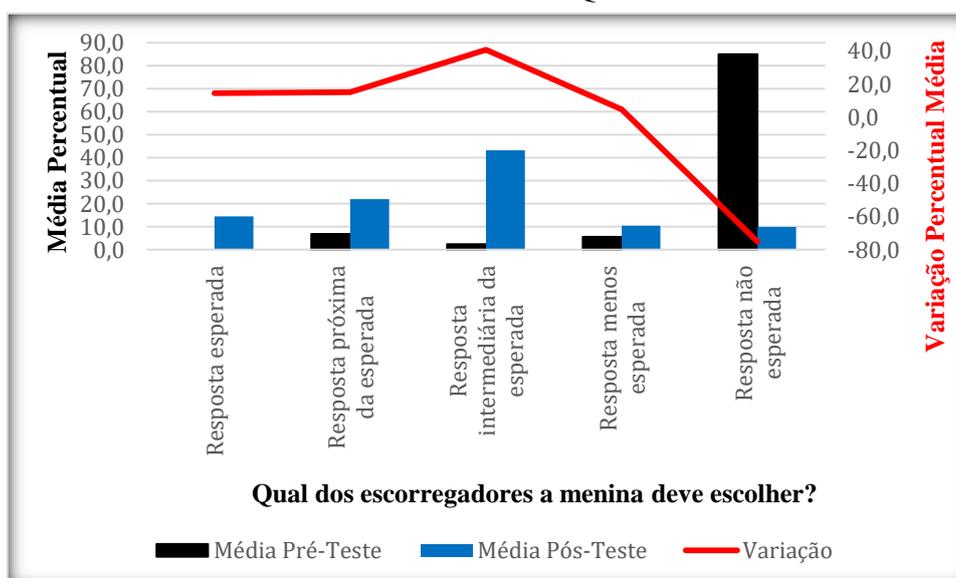


O estudante deixa claro a compreensão do Princípio da Transformação da Energia Mecânica ao ressaltar que a velocidade da menina seria a mesma no final de todos os escorregadores devido ao fato da altura ser a mesma em relação ao referencial.

As respostas não esperadas apresentaram queda nas cinco turmas, chegando ao maior decréscimo na turma 2 (aproximadamente 75%).

A seguir, a variação média percentual da evolução do desempenho dos estudantes na questão 6 é mostrada.

Gráfico 12: Variação Percentual Média do Desempenho dos Estudantes na 6ª Questão



No gráfico 12, podemos observar que a maior evolução média ocorreu para as respostas não esperadas, pois houve um decréscimo de aproximadamente 80% no levantamento médio das respostas erradas registradas nas cinco turmas.

As respostas esperadas e próximas da esperada foram as que menos variaram positivamente, ficando com cerca de 15% cada.

5.6.7 Análise da 7ª Questão

Um skatista executa movimentos de subida e descida em uma pista de skate circular. Para iniciar seu movimento ele precisa descer a pista do ponto A ou C. Com base nisso, responda o que se pede.

a) Em que ponto (A, B ou C) a velocidade do skatista é máxima? Explique.

b) Em algum ponto da pista (A, B ou C) a velocidade do skatista é nula? Explique.

c) Quais tipos de energia estão presentes no movimento deste skatista?

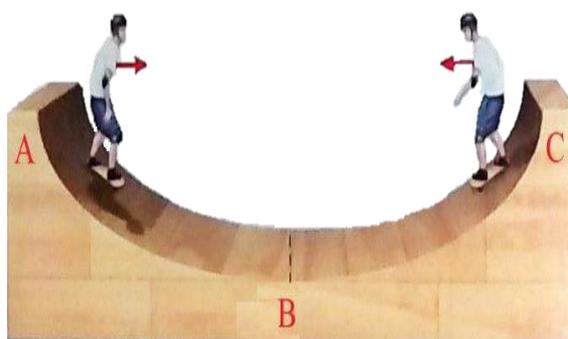


Figura 56: Movimento em uma pista de skate¹⁸

A partir dos dados expostos no gráfico 13 e analisando a questão 7 (a) do pré-teste, verificou-se que as turmas 3 e 4 foram as que conseguiram maior número de respostas próximas da esperada (4,5%). Não foram registradas respostas esperadas em nenhuma das cinco turmas, o que traz a hipótese da falta de compreensão a respeito dos tipos de energia e suas transformações.

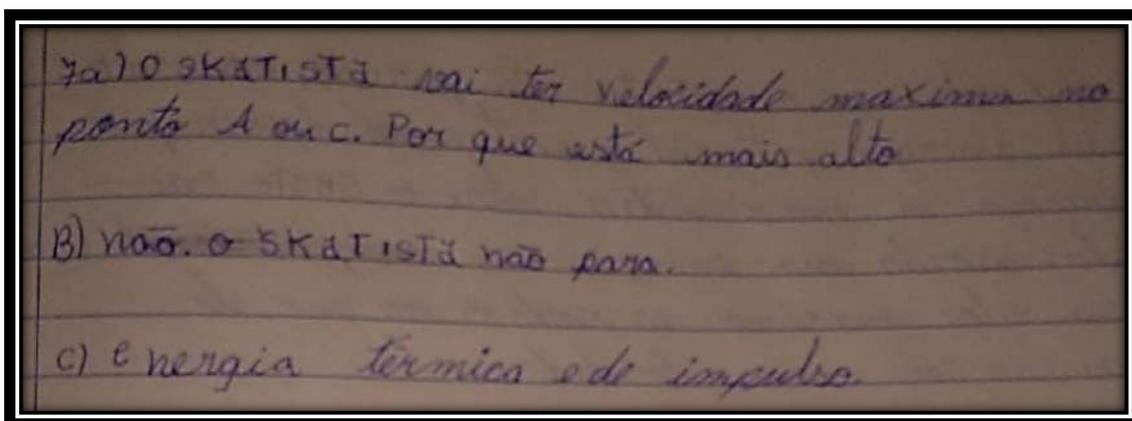


Figura 57: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 2.

Fonte: Arquivo Próprio da Autora, 2021.

¹⁸ **Fonte:** Física Para Universitários – Mecânica, 2012

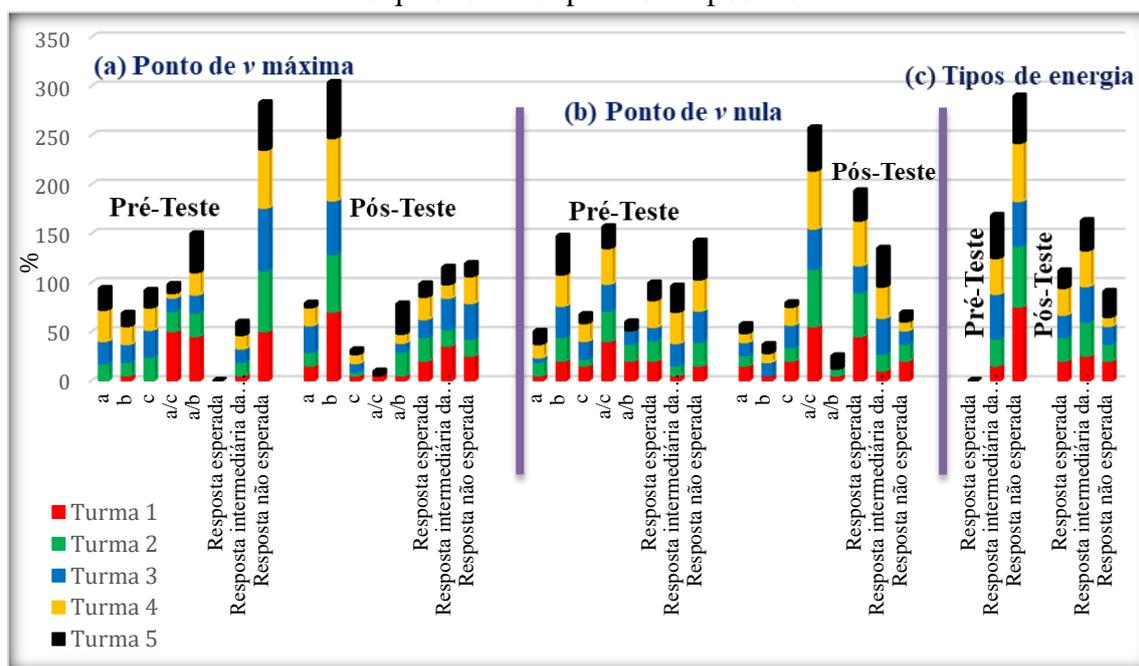
As turmas que tiveram maior quantidade de respostas não esperadas, foram as turmas 3 e 2, com cerca de 63,6% e 62,1% respectivamente, conforme a resposta de um estudante mostrada na figura 56.

Ainda analisando o questionário pré-teste, foi observado que a metade do número de alunos pertencentes à turma 1, escolheram os pontos a e c como os locais onde o skatista atingisse a velocidade máxima. Somente um estudante desta turma escolheu o ponto b e 45% restantes preferiram optar pelo conjunto de pontos a e b.

No pós-teste, as turmas 2 e 4 foram as responsáveis pelo maior número de respostas esperadas (24,1% e 22,75%).

A maior variação ocorreu nas turmas 1 e 3, com decréscimo de 50% e aproximadamente 27% para respostas não esperadas, respectivamente.

Gráfico 13: Desempenho dos estudantes de cada turma na 7ª Questão nos questionários pré-teste e pós-teste



Na letra (b) no pré-teste e pós-teste, verificou-se que a turma 4 foi a responsável pelo maior percentual de respostas esperadas (27,3% e 45,5%) nos questionários e as respostas próximas a esperada permaneceram constante (31,8%). Foi constatado ainda que a turma 3 ficou com a menor média 13,6% para respostas esperadas. A turma 5 ficou com o maior percentual de respostas não esperadas (39,1%) registrados na letra (b) da questão 7 do pré-teste.

Também foi verificado a ausência de respostas esperadas na letra (c) do pré-teste, sendo que no pós-teste a turma 5 forneceu o maior número de respostas intermediárias. Na figura 57 é apresentada a resposta do mesmo estudante da figura 56 em que expõe seu conhecimento sobre a presença dos tipos de energia presentes no movimento do skatista. No entanto, de certa forma o aluno cita os tipos de energia nos pontos A, B e C no pós-teste.

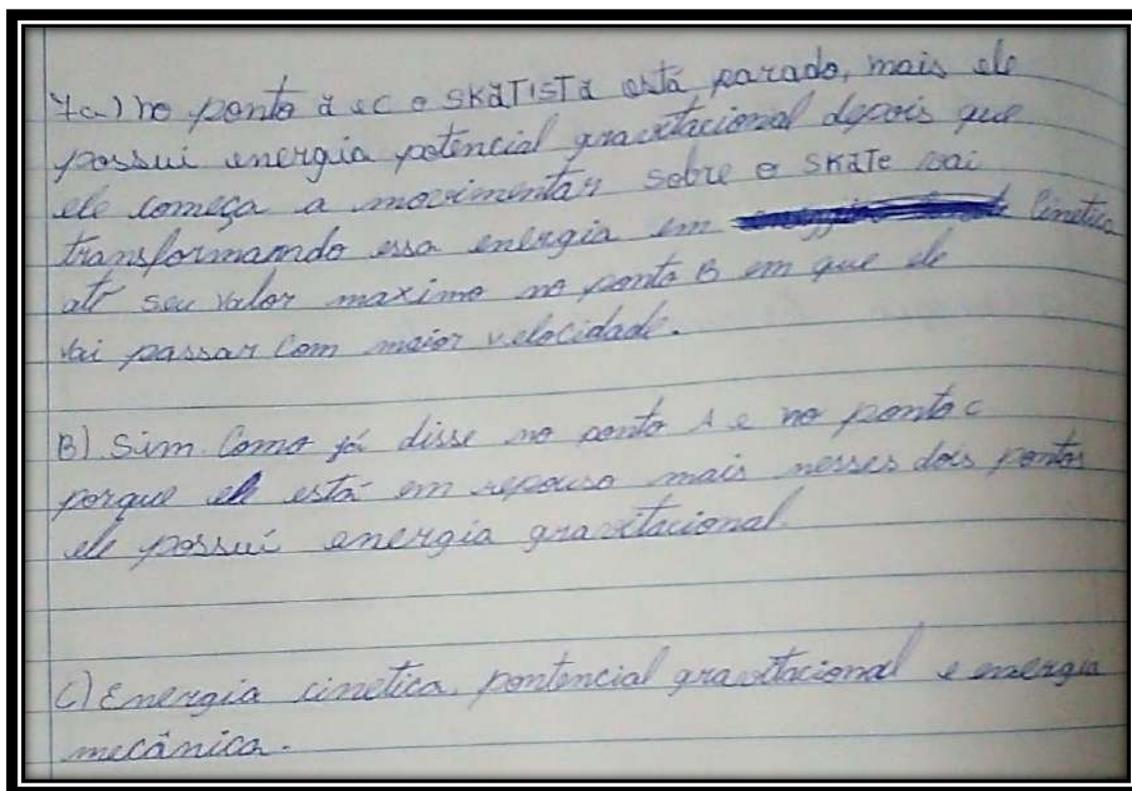
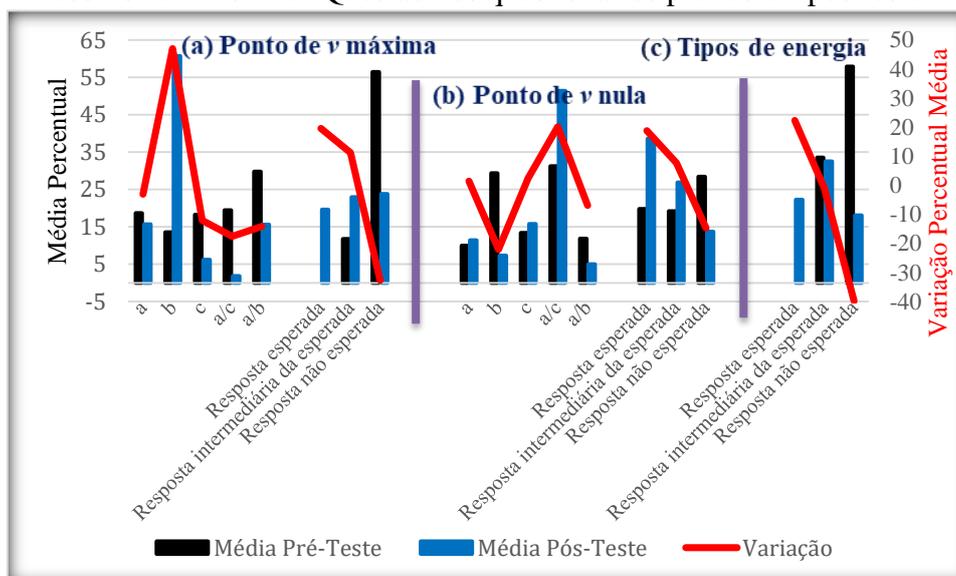


Figura 58: Questionário pós-teste - Resposta de um estudante da turma 2.
Fonte: Arquivo Próprio da Autora, 2021.

Pelos dados representados pela curva da variação percentual média traçada no gráfico 14, nota-se que a variação do ponto b escolhido aumentou significativamente. As escolhas para os pontos a, c e os conjuntos de pontos a/c e a/b sofreram decréscimo no percentual médio.

Também é possível observar que o acréscimo na variação das respostas esperadas nas letras (a) e (b) da questão 7 foram próximas, com cerca de 20%. As respostas intermediárias também resultaram em um aumento de 11,2 % na letra (a) e 7,7% na letra (b). Porém, na letra (c) houve decréscimo de 1,1%. Em relação às respostas não esperadas, as letras (a), (b) e (c) registram queda na variação média percentual.

Gráfico 14: Variação Percentual Média do Desempenho dos Estudantes na 7ª Questão nos questionários pré-teste e pós-teste.



Idealização × Cotidiano

Nesta questão idealizamos o movimento do sistema skate-skatista, isto é, desconsideramos qualquer tipo de atrito, inclusive a resistência do ar e o movimento de rotação das rodas do skate. Se levássemos em conta a rotação das rodas do skate, a energia cinética do skatista seria maior porque além da energia cinética de translação das rodas do skate teríamos uma contribuição de uma energia cinética de rotação.

5.6.8 Análise da 8ª Questão

Duas bolas de sinuca idênticas (A e B) são soltas da mesma altura e ao mesmo tempo. Elas deslizam sobre pistas distintas sem atrito, conforme mostra a figura abaixo. Qual bola tem maior velocidade no fim da pista? Explique sua resposta.

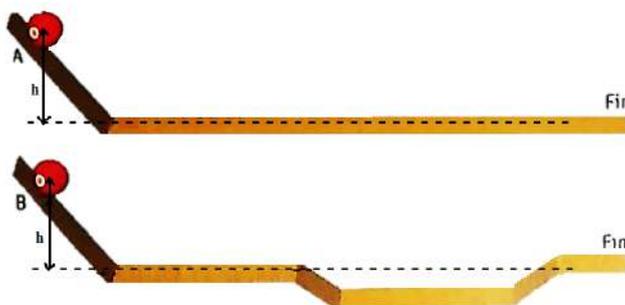


Figura 59: Bola de sinuca deslizando em pistas diferentes¹⁹

¹⁹ **Fonte:** Física para Universitários – Mecânica, 2012

Na oitava e última questão foi solicitado aos estudantes que escolhessem qual bola chegaria com maior velocidade ao final da pista e qual chegaria primeiro.

O objetivo dessa questão era levantar os conceitos sobre a conservação da energia mecânica em um sistema sem atrito.

No pré-teste, a maioria dos estudantes das cinco turmas responderam que a bola A chegaria primeiro e com maior velocidade no final da pista, conforme resposta mostrada na figura 59.

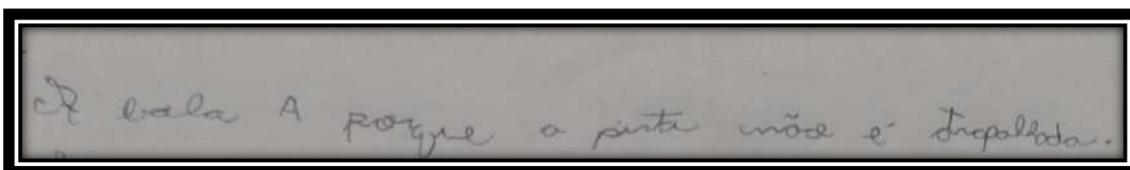
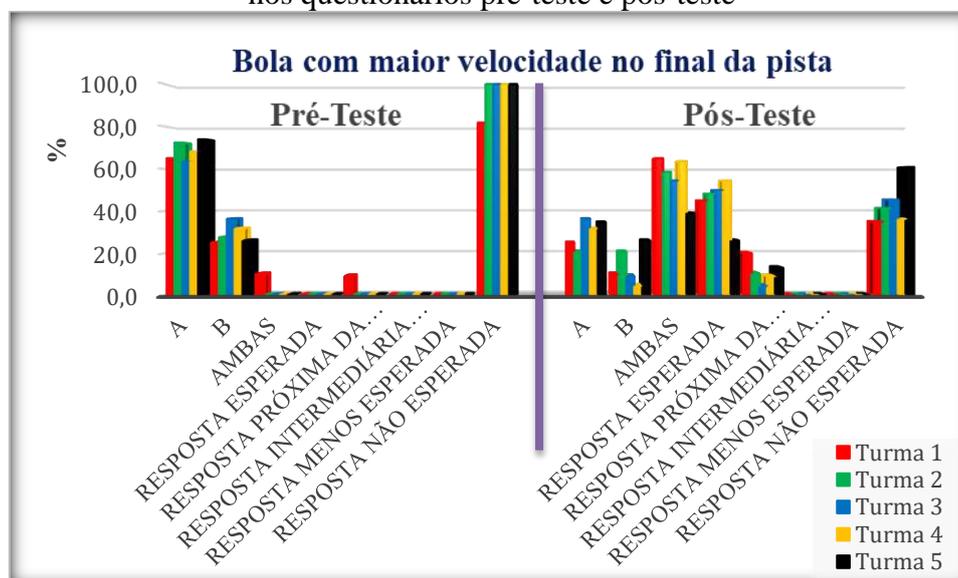


Figura 60: Questionário pré-teste - Resposta de um estudante da turma 5.

Fonte: Arquivo Próprio da Autora, 2021.

Foi percebido, que os alunos levaram em consideração apenas o formato da pista onde a bola B deslizava, desconsiderando a altura em relação ao ponto de chegada das mesmas. Apenas a turma 1 registrou cerca de 9,1% para resposta próxima a esperada.

Gráfico 15: Desempenho dos estudantes de cada turma na 8ª Questão nos questionários pré-teste e pós-teste



Verificando as respostas levantadas no questionário pós-teste, nota-se que apesar de pouco mais de 50% dos estudantes de cada turma optaram pela escolha de ambas as bolas.

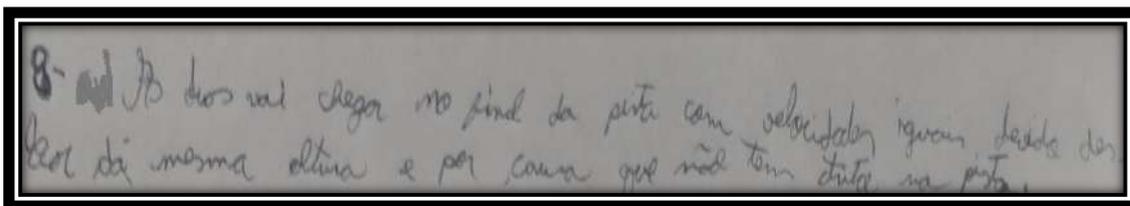
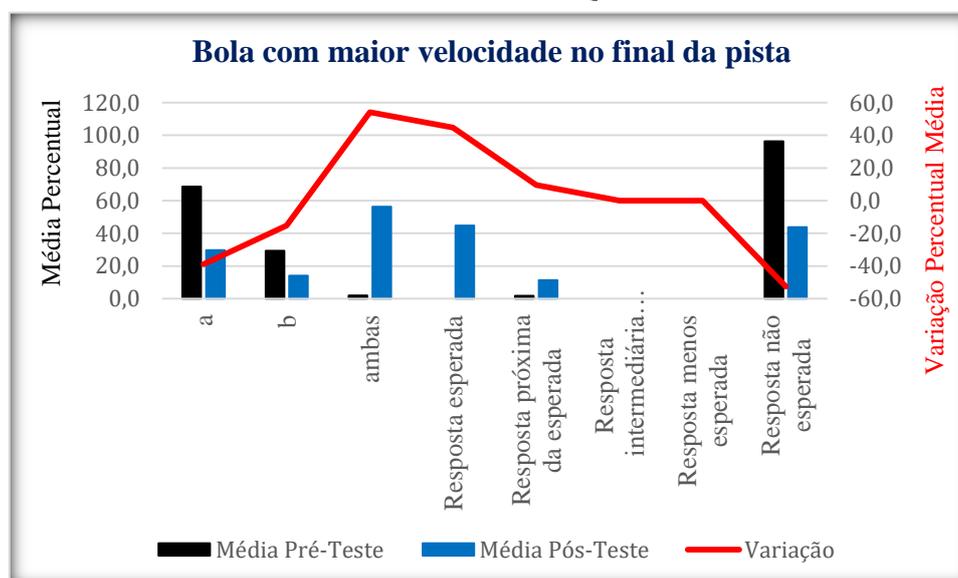


Figura 61: Questionário pós-teste - Resposta de um estudante da turma 5.
Fonte: Arquivo Próprio da Autora, 2021.

A resposta apresentada na figura 60 mostra que houve mudança no conhecimento do estudante que antes havia associado o formato da pista com a velocidade da bola.

Pelo gráfico 16, analisando a variação percentual média da resposta da questão 8 dos questionários pré-teste e pós-teste obtidas nas cinco turmas, podemos observar que a maior mudança foi para escolha de ambas as bolas. As respostas menos esperadas permaneceram com o mesmo número de respostas. Já, as respostas não esperadas sofreram queda de aproximadamente 52%.

Gráfico 16: Variação Percentual Média do Desempenho dos Estudantes na 8ª Questão



Se a questão informar que a esfera também possui movimento de rolamento é necessário incluir a energia cinética de rotação em torno do centro de massa da esfera.

Pelos gráficos apresentados, verificou-se que no pós-teste grande parte dos estudantes conseguiram relacionar os conceitos de energia com situações vivenciadas no dia-a-dia, o que pode resultar em um maior incentivo quanto ao conhecer e aprender o conteúdo no decorrer das aulas. Entretanto, foram observados aspectos desfavoráveis, tais

como a falta de tempo para a realização das aulas e a ausência do espaço escolar onde ocorriam as mesmas. No entanto, as estratégias utilizadas responderam de forma relativamente positiva ao processo de ensino-aprendizagem. As comparações feitas no início, durante e ao final desta investigação, indicaram as estratégias como sendo ferramentas facilitadoras do processo realizado.

6 Conclusão

Por meio desta pesquisa foi analisado o desenvolvimento e aplicação de uma sequência didática elaborada a partir da teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel juntamente com a metodologia baseada nos 3MP de Delizoicov e Angotti, a fim de instigar alunos de cinco turmas de primeiro ano do IFMT – *Campus Primavera do Leste*, fazendo-os a expor e reformular seus conceitos sobre energia. O foco deste trabalho foi a aprendizagem significativa dos conceitos sobre a energia mecânica e sua conservação através da identificação e compreensão das energias potencial gravitacional, elástica e cinética, bem como suas transformações. Além disso, considerou-se a dissipação da energia mecânica na forma de calor presente em um plano inclinado com atrito.

Apesar da complexidade encontrada ao fazer o levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes devido às incoerências nas respostas e a quase inexistência de modelos mentais sólidos para identificar e elucidar os casos contidos nas questões do questionário pré-teste, acredita-se que este permitiu estabelecer estratégias necessárias para uma aprendizagem a partir do desenvolvimento de um material potencialmente significativo, nas quais as atividades, discussões e reflexões permitiram aos estudantes a oportunidade de expressar seus conhecimentos já existentes sobre o conteúdo Energia Mecânica e sua Conservação. Assim, utilizou-se de algumas ferramentas que se mostraram facilitadoras do complexo processo ensino aprendizagem quando comparadas as análises no início, durante e no final da pesquisa.

Uma das estratégias utilizadas foi a busca pela melhora na disposição e motivação dos estudantes. Para isso, o assunto foi relacionado com situações vivenciadas no cotidiano dos estudantes, tais como identificação dos tipos de energia, conservação da energia mecânica quando uma criança brinca em um escorregador ou em uma pista de skate ou ainda, quando anda de montanha russa.

No decorrer das aulas nas quais eram apresentados os tipos de energia e realizadas resoluções de exemplos envolvendo as mesmas, além dos diversos significados do conceito tais como: “recarregar as energias e pagar a conta de luz”, grande parte dos estudantes das cinco turmas apresentaram dificuldades ao realizar os cálculos para determinação de sua intensidade.

Após o desenvolvimento das aulas e levantamento de questões apontadas durante a discussão, foi apresentado o mapa conceitual para revisão do Princípio da Conservação

da Energia Mecânica. Este material também serviu como ponte para a compreensão do conceito de energia em sistemas com atrito, especificamente em um plano inclinado.

Os dados do pré-teste mostraram que a maioria dos estudantes não conheciam a energia elástica. O tipo de energia que os estudantes mais citaram foi a energia elétrica, o que era esperado. Porém, foi constatado no pós-teste que a maioria dos alunos conseguiu relacionar os conceitos que aprenderam com as situações que se encontram no cotidiano, tendo assim maior motivação para compreender e aprender o conteúdo da sala de aula.

Acredita-se que diferentes métodos podem contribuir para o aluno desmistificar que a Física é um assunto complexo que eles não entendem, levando-os à consideração de sua inutilidade em situações do dia a dia.

Considerando alguns aspectos tais como: se tratar de um instrumento didático produzido com materiais de baixo custo e que pode ser reproduzido com facilidade; a estrutura das escolas públicas; o baixo número de aulas semanais; a alta quantidade de estudantes por turma; as dificuldades encontradas durante o ensino remoto (tais como manipulação de ferramentas tecnológicas, variação do sinal da internet) entre outros, os resultados obtidos pelos estudantes no pós-teste mostraram evolução na compreensão dos conceitos de aproximadamente 60% dos 116 alunos, evidenciando a progressão na alfabetização científica desses discentes. Portanto, parece que na coleta dessas ações, a motivação de aprendizagem necessária foi obtida, pois apesar das aulas terem ocorrido à distância, os alunos tiveram participação ativa atingindo um nível satisfatório de compreensão dos conceitos durante esse estudo.

Acredito que os resultados obtidos me fizeram refletir sobre o modo com que eu trabalhava há mais de uma década, no qual os estudantes não se adaptaram, resultando notas abaixo da média para grande parte das turmas. Penso agora, que uma das possíveis causas da deficiência no aprendizado deve-se pela impossibilidade de associar os fenômenos estudados com situações vivenciadas no dia a dia e pela ausência de uma boa relação professor-aluno. Assim, espero que o desenvolvimento dessa sequência didática de forma dinâmica e dialógica possa também vir a contribuir com o complexo processo de ensino aprendizagem em outras realidades escolares, levando os estudantes à oportunidade da reconstrução do conhecimento.

7 Referências

AGÊNCIA BRASIL. **Japão defende energia nuclear, a um dia do aniversário do acidente em Fukushima**. Disponível em:

<<https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2016-03/japao-defende-energia-nuclear-um-dia-do-aniversario-do-acidente-em>> Primeiro acesso em: 01 jun. 2021

ANELL: Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/no-dia-mundial-da-agua-aneel-publica-infografico-sobre-hidreletricas-no-brasil/656877?inheritRedirect=false&redirect=http:%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fsala-de-imprensa-exibicao-2%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D3> Primeiro acesso em: 01 jun. 2021.

AUSUBEL, D. P. **The Acquisition and Retention of Knowledge: A Cognitive View**. 1. Ed. New York: Springer Science + Business Media Dordrecht, 2000.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia Educacional*. Trad. Eva Nick e outros. 2. Ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

AXT, R; ALVES, V. M. **FÍSICA PARA SECUNDARISTAS: FENÔMENOS MECÂNICOS E TÉRMICOS**. Porto Alegre: Instituto de Física - UFRGS, n.5, 1994. Disponível: <https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/n5_axt_alves.pdf>. Acesso em: 02 de fev.2021

BARBOSA, J. P. V; BORGES, A. T. **O ENTENDIMENTO DOS ESTUDANTES SOBRE ENERGIA NO INÍCIO DO ENSINO MÉDIO**. Cad. Bras. Ens. Fís. UFSC, v. 23, n. 2: p. 182-217, ago. 2006. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6275/12765>>. Acesso em: 25 de jan. 2021.

BAUER, Wolfgang; WESTFALL, Gary D.; DIAS, Helio. **Física Para Universitários: Mecânica**. Tradução de Iuri Duquia Abreu e Manuel Almeida Andrade Neto. São Paulo: AMGH, 2012

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**, Lei no 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Brasília: MEC/Semtec, 1996.

_____. **PCN+ ensino médio:** orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Vol. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2002.

_____. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais:** ensino médio. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 1999. 364 p.

_____. **Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.** Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006. 135 p. (Orientações curriculares para o ensino médio; volume 2).

Brasil Escola. **Energia Potencial Gravitacional e Elástica.** Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/energia-potencial-gravitacional-elastica.htm>>. Acesso em: 07 dez. 2020.

CARVALHO, A.M.P. **Ensino de ciências:** unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Ed. Pioneira Thomson Learning Ltda. 2004.

COIMBRA,D.,GODÓI,N. e MASCARENHAS, Y.P. **Educação de jovens e adultos:** uma abordagem transdisciplinar para o conceito de energia, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias. v.8. n. 2, 2009. Disponível em: <http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen8/ART14_Vol8_N2.pdf>. Acesso em: 15 de jan. 2021.

CURRÍCULO BÁSICO COMUM. **Eixo Temático II** – Transferência, Transformação e Conservação da Energia, Física - Ensino Médio - SEE-MG/2008, disponível em: <<https://curriculoreferencia.educacao.mg.gov.br/index.php/cbc>>. Acesso em: 15 de dez. 2020.

DELIZOICOV, D. “**O Ensino de Física e a Concepção Freiriana da Educação.**” In: Revista de Ensino de Física, São Paulo, vol.5, nº2, dez. 1983.

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A. P. **Física.** São Paulo: Cortez, 1992.

_____. **Metodologia do Ensino de Ciência.** São Paulo: Cortez, 1994.

Depositphotos. Disponível em: <<https://br.depositphotos.com/stock-photos/cabe%C3%A7a-engrenagens.html?qview=10534579>>. Acesso em: 10 dez. 2020.

DRIVER, R; WARRINGTON, L. **Students' use of the principle of energy conservation in problem situations.** *Physics Education*, v. 20. ju, 1985. Disponível em: < <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/20/4/308>>. Acesso em 05 dez. 2020.

EPEduc. **A PRODUÇÃO DE MATERIAIS DIDÁTICOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES PEDAGÓGICAS NÃO PRESENCIAIS DURANTE A PANDEMIA DO CORONAVÍRUS**, Revista Epistemologia e Práxis Educativa. Teresina. v. 3. n. 3, 2020. Disponível em: <<https://revistas.ufpi.br/index.php/epeduc/article/view/12148>>. Acesso em: 29 set. 2021.

Estadão. **Brasil terá mais seis usinas nucleares a partir de 2030.** Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,governo-planeja-investir-us-30-bi-em-reatores-nucleares-em-dez-anos,70003026352>> Primeiro acesso em: 01 jun. 2021.

FERREIRA, A, B, H. **Mini Aurélio Século XXI: O minidicionário da língua portuguesa.** 4 Ed. totalmente rev. e ampl. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa.** 25 Ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

_____. **Pedagogia do Oprimido.** 17ª Ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

Google: Disponível em:

<https://www.google.com.br/search?q=cachoeira&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwib057w9Y_yAhWNErkGHXQ6AtUQ_AUoAnoECAEQBA&biw=1366&bih=615#imgrc=f8DWBb8IWInt_M> Primeiro acesso em: 25 maio de 2020.

GRALA, R. M. **Roteiros para atividades experimentais de física para crianças de seis anos de idade.** Porto Alegre: IF/UFRGS. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2007. Disponível em: < https://www.if.ufrgs.br/tapf/v17n4_Grala.pdf> Acesso em 04 de nov. de 2021.

GRAF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física) - **Leituras de física.** São Paulo: IF/USP, 1998. Disponível em: <<http://www.if.usp.br/gref/mec/mec3.pdf>> Acesso em: 13 de maio de 2021.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física.** 7. Ed. Rio de Janeiro: LTC. 2006. Vol. 1.

LENZ, J. A; FLORCZAK, M. A. **Atividades experimentais sobre conservação da energia mecânica**. 2012. 2 f. Física na Escola. V. 13, n. 1. Curitiba, 2012. Disponível em: < <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol13-Num1/a061.pdf>>. Acesso em: 20 de set. 2021.

MAZUR, Eric. **Peer Instruction: A Revolução da Aprendizagem Ativa**. Tradução de Anatólio Laschuk. Porto Alegre: Penso, 2015.

MENDES, M. C; OLIVEIRA, S. S. **ENSINO REMOTO EM TEMPOS DE PANDEMIA: O PERFIL E AS DEMANDAS EDUCACIONAIS E SOCIAIS DOS PROFESSORES**. VII Congresso Nacional de Educação. Edição online. Disponível em: < <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/68530>>. Acesso em: 22 de set. 2021.

MOREIRA, M.A; MASINI, E. F. S. **APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: A TEORIA DE DAVID AUSUBEL**. São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA, M.A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

_____. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: UNB, 2006. 186 p.

_____. **MAPAS CONCEITUAIS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**. Título original: Concept maps and meaningful learning. Adaptado e atualizado, em 1997, de um trabalho com o mesmo título publicado em O ENSINO, Revista Galáico Portuguesa de Sócio-Pedagogia e Sócio-Linguística, Pontevedra/Galícia/Espanha e Braga/Portugal, n. 23 a 28, p. 87-95, 1988.

_____. **Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS**. Aprendizagem Significativa em Revista. Porto Alegre: v.1, n.2, p. 43-63, Maio/Agos. 2011. Disponível em: < http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf>. Acesso em: 05 de jan. 2021.

NUSSENSVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. 4. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. Vol. 1.

OLIVEIRA, C. M; ALMEIDA, M. P. **ENSINO DE CIÊNCIAS EM TEMPOS DE PANDEMIA E ENSINO REMOTO: REFLEXÕES DE PROFESSORES EM FORMAÇÃO**. Coletânea Profissão Docente na Educação Básica: profissão docente e ensino remoto emergencial. Curitiba: v. 6, 1. Ed, p. 212-229, 2021. Disponível em: < <http://gpdiverso.uneb.br/novo/wp-content/uploads/2021/07/Livro-6-Profiss%C3%A3o-docente-e-ensino-remoto-emergencial-forweb.pdf>>. Acesso em: 28 de set. 2021.

PARMA, M; BRUGNAGO, E. L; BELLUCCO, A. **REPLANEJANDO UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA SOBRE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA**. Joinville, 2018. 23 fl. Experiências em Ensino de Ciências. v. 13. n. 5. Cuiabá. 2018. Disponível em: <<https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/92/75>>. Acesso em: 18 de set. 2021.

PELIZZARI, A; KRIEGL, M. L; BARON, M. P; FINCK, N. T. L; DOROCINSKI, S. I. **Teoria da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel**. Disponível em: <portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf>. Acesso em: 28 de jan. 2021.

Rosalvo Miranda. **Gráfico de uma função Linear no excel**. Youtube. 02 abr. 2018. Disponível em: <<https://youtu.be/H9gSk7cMLCw>>. Acesso em: 29 set. 2021.

_____. **Gráfico de uma função Quadrática no Excel**. 02 abr. 2018. Disponível em: <<https://youtu.be/SwWruTTjsJw>>. Acesso em: 29 set. 2021.

SOUZA, C. R.R. **Uma Sequência Didática Para Ensino da Transformação e Conservação da Energia sob a Perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa**. 2019. 160 f. Dissertação (Mestrado em Educação para Ciências e Matemática) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Jataí, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/738>>. Acesso em: 20 de set. 2021.

SOUZA, L.S; CARVALHO, A.M.P. **Ensino de Ciências e Formação da Autonomia Moral**. Anais do IX EPEF- Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2004. Jaboticatubas - MG. São Paulo: SBF 2004.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. v. 1.

[Tradutor] **Cambridge Dictionary**. Disponível em: <<https://dictionary.cambridge.org/pt/translate/>>. Acesso em: 25 jun. 2021.

VILLANI, A; PACCA, J.L.A; KISHINAMI, R.I; HOSOUME, Y. **Analisando o Ensino de Física: Contribuições de pesquisas com enfoques diferentes**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 4, nº1, 1982.

WWF-Brasil. **Pense de Novo - Energia e novas tecnologias**. Youtube, 06 nov. 2008. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=iFbsv_k2X6M&list=WL&index=16>. Primeiro acesso em: 01 jun. 2021.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física I: Mecânica**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2008. Tradução de: Sonia Midori Yamamoto; Revisão técnica de: Adir Moysés Luiz. Título Original: Sears and Zemansky's university physics.

APÊNDICE A: Cronograma da Sequência Didática

Antes da realização das atividades experimentais, será aplicado um pré-teste aos estudantes a fim de verificar seus conhecimentos prévios sobre o tema energia. Serão abordados conceitos físicos relacionados ao cotidiano²⁰, facilitando, assim, o processo de ensino-aprendizagem e, conseqüentemente, potencializando as interações professor-aluno. Os resultados obtidos serão averiguados durante o desenvolvimento da atividade prática bem como no questionário pós-teste.

Quadro: Cronograma do Desenvolvimento da Sequência Didática

Etapas	Atividade	Descrição	Produção	Finalidade	Duração	Aulas
I	Pré-teste e vídeo	Aplicação do pré-teste		Verificação dos conhecimentos prévios	50 min.	2
II	Aula Expositiva dialogada	Apresentar as principais fontes de energia		Averiguar o senso comum na utilização da palavra energia	20 min.	
III	Aula Expositiva dialogada	Apresentar os tipos mais comuns de energia	Os alunos citarão exemplos dos tipos de energia	Instigar os alunos a expor seus conhecimentos prévios	30 min.	
IV	Aula Expositiva dialogada	Apresentar o Princípio da Conservação de Energia Mecânica		Instigar os alunos a expor seus conhecimentos prévios	100 min.	2
V	Aula expositiva dialogada	Energia Mecânica em sistemas com atrito	Discussão sobre a validade do Princípio	Reorganizar o conceito energia	100 min	2
VI	Aula prática	Vídeo com demonstração e coleta de dados dos três experimentos	Resolução dos roteiros	Comprovar o Princípio da conservação de energia mecânica	100 min.	2
VII	Pós teste	Reaplicação do Pré-teste		Verificação da metodologia	50 min.	1

²⁰ Desprezando os efeitos do atrito viscoso.

APÊNDICE B: Questionário Pré-Teste e Pós-teste

1. Das coisas a sua volta, quais, em sua opinião, estão mais diretamente relacionadas com a energia?

2. Que formas de energia você conhece ou já ouviu falar?

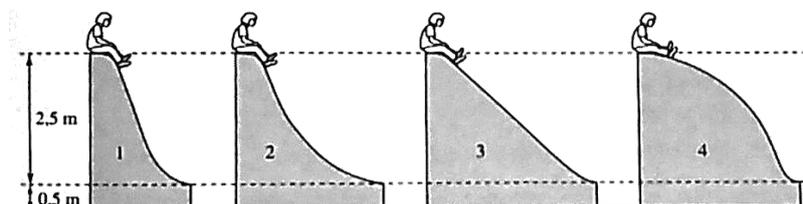
3. Como a energia elétrica é gerada? Dê algum exemplo e explique como ela é produzida.

4. Por que é importante economizar energia?

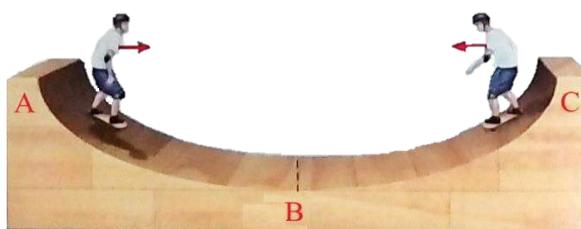
5. Você já andou de montanha russa? Por que o carrinho não cai quando faz o *Looping*?



6. Em um parque, uma menina deseja escolher um dos escorregadores (sem atrito), mostrados na figura abaixo, de modo que consiga atingir a maior velocidade possível ao chegar na parte inferior do escorregador. Qual dos escorregadores ela deve escolher e por quê?



7. Um skatista executa movimentos de subida e descida em uma pista de skate circular. Para iniciar seu movimento ele precisa descer a pista do ponto A ou C. Com base nisso, responda o que se pede.



- a) Em que ponto (A, B ou C) a velocidade do skatista é máxima? Explique.

- b) Em algum ponto da pista (A, B ou C) a velocidade do skatista é nula? Explique.

- c) Que tipos de energia estão presentes no movimento deste skatista?

8. Duas bolas de sinuca idênticas (A e B) são soltas da mesma altura e ao mesmo tempo. Elas deslizam sobre pistas distintas sem atrito, conforme mostra a figura abaixo. Qual bola tem maior velocidade no fim da pista? Explique sua resposta.

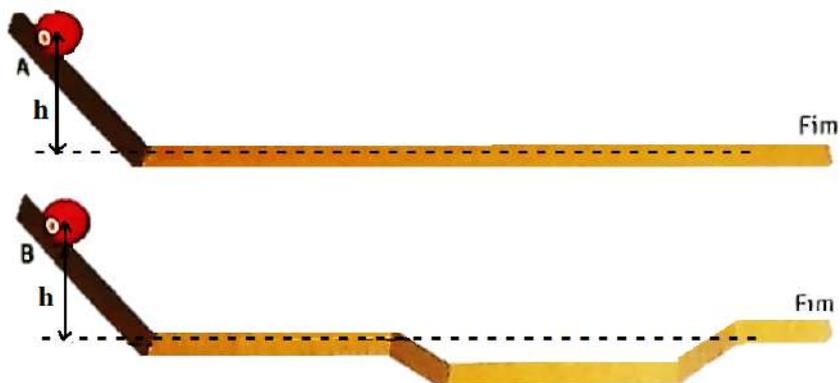


Figura 4: Bola de sinuca deslizando em pistas diferentes.
Fonte: Física para Universitários – Mecânica, 2012

Link A: Após a aplicação do questionário pré-teste, passar o vídeo Pense de Novo – Energia e Novas Tecnologias (com áudio desligado) que pode ser acessado pelo link:

https://www.youtube.com/watch?v=iFbsv_k2X6M

APÊNDICE C: Sugestão de Gabarito dos Questionários Pré-teste e Pós-teste

1. Das coisas a sua volta, quais, em sua opinião, estão mais diretamente relacionadas com a energia?

Gabarito: Funcionamento de aparelhos eletrodomésticos e eletrônicos, pilha, luz solar e das lâmpadas, alimentos.

2. Que formas de energia você conhece ou já ouviu falar?

Gabarito: Eólica, magnética, elétrica, hidráulica, nuclear, térmica, luminosa, química, térmica, cinética, potencial, mecânica.

3. Como a energia elétrica é gerada? Dê algum exemplo e explique como ela é produzida.

Gabarito: A energia elétrica pode ser gerada proveniente de diversas fontes. Alguns exemplos são:

- Usina eólica: o vento provoca movimento das pás do aerogerador. A energia mecânica devido ao movimento das pás é transportada para o gerador, que a transforma em energia elétrica.
- Usina solar: as placas semicondutoras se aquecem devido à luz solar. Então os elétrons presentes na placa entram em movimento, produzindo energia elétrica.
- Usina termelétrica: é proveniente da queima de carvão que aquece certa quantidade de água em uma caldeira. Ao aquecer, a água sofre aumento de pressão e muda de fase. Este vapor faz com que as pás das turbinas se movem. Neste tipo de produção de energia elétrica também existe o gerador, que transforma a energia mecânica em energia elétrica.
- Usina hidrelétrica: esse tipo de usina é a mais comum no Brasil. Ela é gerada a partir da queda d'água represada em um rio. O deslocamento da água sofre diminuição na intensidade de energia potencial gravitacional ao aumentar sua velocidade durante a queda. Então, a água chega com grande velocidade nas turbinas, fazendo-as girar. Por fim, o gerador que é um equipamento interligado às turbinas, transforma a energia mecânica em energia elétrica.
- Usina nuclear: sua produção é devido à fissão nuclear do urânio. Nesse processo, o núcleo dos átomos do elemento urânio sofrem divisão, liberando energia. Essa energia é utilizada para aquecer a água contida em uma caldeira que será transformada em vapor para movimentar a turbina e gerar energia elétrica.

4. Por que é importante economizar energia?

Gabarito: Economizar financeiramente e preservar o meio ambiente.

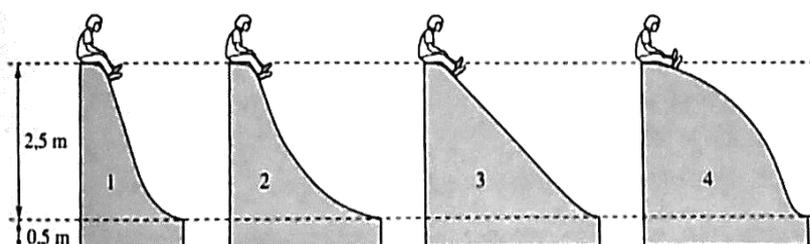
5. Você já andou de montanha russa? Por que o carrinho não cai quando faz o *Looping*?

Gabarito: Sim ou Não.

Porque o carrinho possui a velocidade mínima ou maior do que a velocidade necessária para executar o movimento circular completo. Neste caso, a força peso e a força normal atuam como uma força centrípeta no *looping* garantindo que o carrinho percorra o *looping* sem cair.

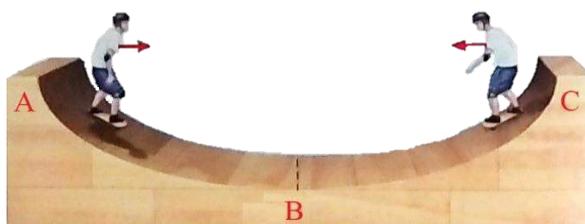


6. Em um parque, uma menina deseja escolher um dos escorregadores (sem atrito), mostrados na figura abaixo, de modo que consiga atingir a maior velocidade possível ao chegar na parte inferior do escorregador. Qual dos escorregadores ela deve escolher e por quê?



Como não existe atrito, qualquer escorregador que a menina escolher ela vai conseguir chegar na parte inferior com a mesma velocidade, pois todos possuem a mesma altura em relação ao ponto de referência.

7. Um skatista executa movimentos de subida e descida em uma pista de skate circular. Para iniciar seu movimento ele precisa descer a pista do ponto A ou C. Com base nisso, responda o que se pede.



a) Em que ponto (A, B ou C) a velocidade do skatista é máxima? Explique.

O skatista terá maior velocidade no ponto B porque toda energia potencial gravitacional será convertida em energia cinética neste ponto.

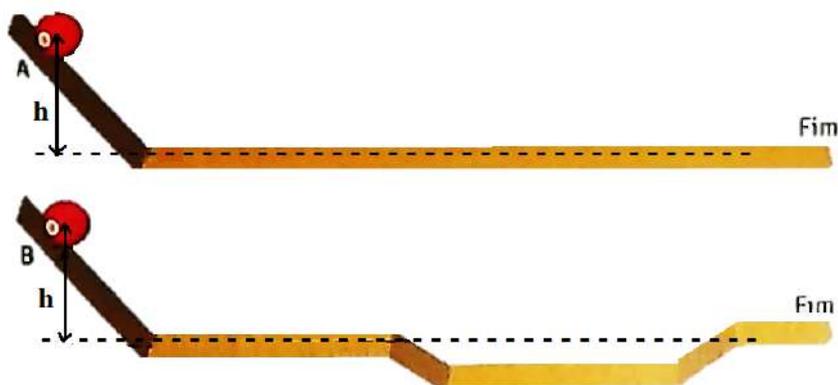
b) Em algum ponto da pista (A, B ou C) a velocidade do skatista é nula? Explique.

Nos pontos A ou C. Considerando que o skatista saiu do ponto A, sua velocidade será nula nesse ponto porque inicia seu movimento a partir do repouso e também será nula em C porque ele precisa instantaneamente parar seu movimento para inverter o sentido.

c) Que tipos de energia estão presentes no movimento deste skatista?

Nos pontos A e B está presente somente a energia potencial gravitacional. Já no ponto B o skatista atinge a máxima energia cinética. Entre os pontos AB e BC ele possui energia potencial gravitacional e energia cinética.

8. Duas bolas de sinuca idênticas (A e B) são soltas da mesma altura e ao mesmo tempo. Elas deslizam sobre pistas distintas sem atrito, conforme mostra a figura abaixo. Qual bola tem maior velocidade no fim da pista? Explique sua resposta.



As duas bolas chegam no fim da pista com a mesma velocidade porque elas são soltas da mesma altura e a energia mecânica se conserva pois não há atrito. No início da pista, as bolas A e B possuem apenas energia potencial gravitacional e no final da pista, elas possuem apenas energia cinética. Toda energia potencial gravitacional será transformada em energia cinética e, portanto, as bolas A e B chegam com a mesma velocidade no final da pista.

Link B: Aula com apresentação em Power point sobre os principais tipos de energia, energia mecânica e sua conservação

https://drive.google.com/file/d/1TUIXqTf40D0riuH_4IcOmV2E3heBbBGE/view?usp=sharing

APÊNDICE D: Atividade Experimental Sobre a Verificação do Princípio da Conservação de Energia Mecânica Através do *Looping*

Introdução

Este experimento tem como objetivo conceituar a energia mecânica, tendo como tema gerador o *Looping*. A palavra *Looping* é de origem inglesa e significa movimentos circulares em forma de laço, realizados em plano vertical. Neste roteiro é proposto a verificação do Princípio da Conservação de Energia através do movimento de uma bola de gude no *Looping*.

Talvez já tenha ouvido a palavra energia em diversos fenômenos e tipos de linguagem do cotidiano. Mas será que isso está correto? Emerge, assim, a necessidade de abordar a energia em seus significados físicos, como o princípio de conservação, suas formas e os processos de transformação da mesma.

Para desenvolver esse experimento, vamos considerar a seguinte situação: Num parque de diversões é comum a presença de filas de espera para dar uma volta nas montanhas russas. Mas por que esse movimento que parece desafiar as leis da natureza chama tanto nossa atenção?

Neste experimento, você vai descobrir por que não caímos do carrinho no momento em que percorremos o *looping* (volta de 360°), já que ele não é motorizado. Também vai descobrir se existe uma velocidade mínima que o carrinho deve ter para mantê-lo no trilho e sua relação quanto à altura da montanha russa.

Considere a figura a seguir:

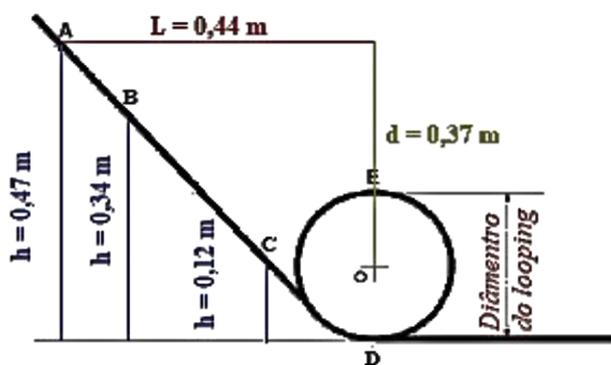


Fig. 1: *Looping*. Fonte: Própria autoria, 2021.

No ponto mais alto (A) da trajetória da montanha russa, a energia mecânica do carrinho se resume somente à energia potencial gravitacional, pois ainda está em repouso.

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Após o lançamento, o carrinho ganha velocidade e passa pelos pontos B e C, prestes a percorrer o *looping*; transformando totalmente sua energia potencial gravitacional em energia cinética no ponto D.

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (2)$$

Ao passar por um ponto entre D e E, o carrinho diminui sua velocidade, transformando parte da energia cinética em energia potencial gravitacional.

$$E_m = E_{pg} + E_c \quad (3)$$

No ponto E os passageiros ficam de cabeça para baixo. A força resultante que age sobre o carrinho é uma força centrípeta que aponta para o centro em uma trajetória circular:

$$F_c = N + P \quad (4)$$

A força Peso e a força Normal atuam como força centrípeta que age sobre o carrinho.

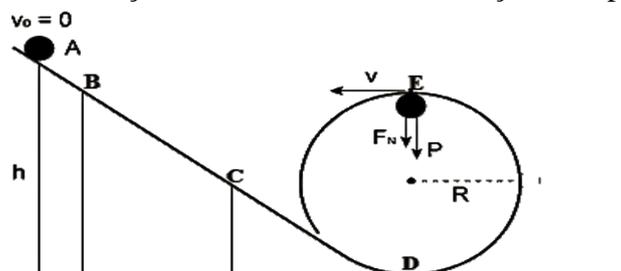


Fig. 2: Forças que agem no movimento do *looping*

Fonte: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2016/10/enem-2016.html> (Adaptada)

Após o carrinho passar por um ponto entre D e E, sua velocidade começa a diminuir. A redução da velocidade no decorrer do percurso causa uma diminuição na intensidade da força normal devido à menor compressão que o carrinho faz sobre os trilhos. A força normal deve diminuir ao mínimo no ponto E, só para manter o carrinho sobre os trilhos, impedindo-o de ser atraído para o centro da trajetória circular, fazendo-o despencar.

$$F_c \geq P \quad (5)$$

Substituímos as forças P e a força centrípeta na equação (5):

$$P = m \cdot g \quad F_c = \frac{mv^2}{R}$$

A velocidade mínima para que o carrinho complete a volta completa no looping sem cair é dada pela equação (6):

$$v \geq \sqrt{g \cdot R} \quad (6)$$

Para uma velocidade mínima de volta completa em uma trajetória circular, temos também uma altura mínima de lançamento do carrinho nos trilhos da montanha russa, que é definida a partir do Princípio da Conservação da Energia Mecânica, onde:

$$E_{m,f} = E_{m,i} \quad (7)$$

Em todos os pontos da trajetória a Energia Mecânica será a mesma:

$$E_{m,A} = E_{m,B} = E_{m,C} = E_{m,D} = E_{m,E}$$

Logo, podemos adotar dois pontos quaisquer. Neste caso, foram adotados os pontos A e E.

$$E_{m,A} = E_{m,E} \quad (8)$$

Sendo: $E_m = E_{pg} + E_c$

E substituindo na equação (8) fica:

$$E_{c,A} + E_{pg,A} = E_{c,E} + E_{pg,E} \quad (9)$$

Como o carrinho está em repouso no ponto A, sua energia cinética é nula. Então a equação (9) fica:

$$E_{pg,A} = E_{c,E} + E_{pg,E} \quad (10)$$

Segundo as equações das energias potencial gravitacional e cinética, podemos reescrever a equação (10):

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h \quad E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$(m \cdot g \cdot h)_A = \left(\frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot h\right)_E \quad (11)$$

Simplificando as massas e reescrevendo a equação (11), fica:

$$(g \cdot h)_A = \left(\frac{v^2}{2} + g \cdot h\right)_E \quad (12)$$

Podemos observar que a altura h_E é o próprio diâmetro do looping, dado por duas vezes o raio da trajetória circular:

$$h_E = 2R$$

Substituindo na equação (12) a velocidade no ponto E (v_{\min} para uma volta completa), a altura h_E e simplificando a gravidade g , fica:

$$h_A = \frac{R}{2} + 2R \quad (13)$$

A altura mínima que o carrinho deve ser lançado da montanha russa é dada por:

$$h_A = \frac{5R}{2} \quad (14)$$

A compreensão do Princípio da Conservação de Energia Mecânica é fundamental na resolução de problemas do cotidiano.

Objetivo Geral

Verificar o Princípio da Conservação de Energia Mecânica através do movimento de uma esfera em trajetória circular.

Objetivos Específicos

- Determinar a velocidade mínima para realização do *looping*.
- Determinar a altura mínima para realização do *looping*.
- Calcular a energia potencial gravitacional nos pontos A, D e E do *looping*.
- Calcular a energia cinética nos pontos A, D e E do *looping*.
- Verificar o princípio da Conservação de Energia tomando os pontos A e D e A e E como referência.

Materiais Utilizados

- 01 Mangueira flexível e transparente de 1,2 m de comprimento por 2 mm de diâmetro
- 01 Base de madeira de 100 cm x 10 cm x 2 cm
- 01 Haste milimetrada de madeira (470 mm)
- 01 Esfera tipo rolamento de moto, carro ou bicicleta (corpo deslizante)²¹
- 02 Parafusos

Procedimento Experimental

Para montar o experimento, você deve fixar a haste de 47 cm, conectando-a com a base de madeira através dos parafusos. Depois fixe a trajetória espiral na parte superior da haste, apoiando-a na base de madeira.



Fig. 3: *Looping* Didático.
Fonte: Própria autoria, 2021

Faça um pequeno furo na mangueira em duas alturas distintas, sendo uma mais próxima ao topo da haste e outra próxima ao *looping*.

Determinando a velocidade mínima de lançamento da esfera para realização do *Looping*

- a) Meça o diâmetro do laço do *looping*. A partir do diâmetro determine o raio em metros.

$$D = \text{_____} m$$

$$R = \text{_____} m$$

- b) A partir do valor encontrado no item (a) determine a velocidade mínima de lançamento da esfera para realização do *looping*.

$$v_{\text{mín}} = \text{_____} m/s$$

Determinando a altura mínima de lançamento da esfera para realização do *Looping*

²¹ Para que a esfera seja considerada como um ponto material, seu raio deverá ser muito menor que o raio do *looping*. Caso contrário, os conceitos de centro de massa e movimento rotacional da esfera deverão ser considerados.

- c) Pelo Princípio da Conservação de Energia, determine a altura mínima de lançamento da esfera para realização do *looping*.

$$h_{\min} = \text{_____} m$$

- d) Solte a esfera do ponto B do *looping* (tome como ponto B uma altura 13 cm menor que h). O que você observou? A esfera consegue completar a volta completa no *looping*? Por que?

- e) Preencha a tabela a seguir, determinando as intensidades das energias potencial gravitacional, cinética e mecânica da esfera nos pontos A, D e E da trajetória.

Tabela: Energia Mecânica em Função da posição da esfera

Ponto da Trajetória	Energia Potencial Gravitacional $E_{pg}(J)$	Energia Cinética $E_c(J)$	Energia Mecânica $E_m(J)$
A			
D			
E			

Obs: Faça os cálculos utilizando $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Verificando o Princípio da Conservação da Energia Mecânica nos pontos AD e AE

- f) A partir dos valores registrados na tabela, houve conservação da energia mecânica nos pontos A e D? Por que?

$$E_{m,A} = E_{m,D}$$

- g) E de A para E, a energia mecânica se conservou? Por que?

$$E_{m,A} = E_{m,E}$$

h) Você acha que o Princípio da Conservação da Energia Mecânica é válido para quaisquer dois ou mais pontos que tomarmos como referência? Por que?

Conclusão

Link C: Vídeo com demonstração da realização da Atividade Experimental 1:
https://drive.google.com/file/d/1XghwHyhjvzOrG-HdOH_BAEr1EUMm_m5h/view?usp=sharing

APÊNDICE E: Sugestão de Gabarito da Atividade Experimental Sobre a Verificação do Princípio da Conservação de Energia Mecânica Através do *Looping*

Introdução

Este experimento tem como objetivo conceituar a energia mecânica, tendo como tema gerador o *Looping*. A palavra *Looping* é de origem inglesa e significa movimentos circulares em forma de laço, realizados em plano vertical.

Neste roteiro é proposto a verificação do Princípio da Conservação de Energia através do movimento de uma bola de gude no *Looping*.

Talvez já tenha ouvido a palavra energia em diversos fenômenos e tipos de linguagem do cotidiano. Mas será que isso está correto? Emerge, assim, a necessidade de abordar a energia em seus significados físicos, como o princípio de conservação, suas formas e os processos de transformação da mesma.

Para desenvolver esse experimento, vamos considerar a seguinte situação:

Num parque de diversões é comum a presença de filas de espera para dar uma volta nas montanhas russas. Mas por que esse movimento que parece desafiar as leis da natureza chama tanto nossa atenção?

Neste experimento, você vai descobrir por que não caímos do carrinho no momento em que percorremos o *looping* (volta de 360°), já que ele não é motorizado. Também vai descobrir se existe uma velocidade mínima que o carrinho deve ter para mantê-lo no trilho e sua relação quanto à altura da montanha russa. Considere a figura a seguir:

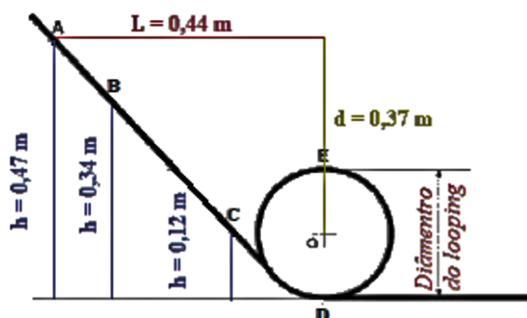


Fig. 1: *Looping*. Fonte: Própria autoria, 2021.

No ponto mais alto (A) da trajetória da montanha russa, a energia mecânica do carrinho se resume somente à energia potencial gravitacional, pois ainda está em repouso.

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Após o lançamento, o carrinho ganha velocidade e passa pelos pontos B e C, prestes a percorrer o *looping*; transformando totalmente sua energia potencial gravitacional em energia cinética no ponto D.

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (2)$$

Ao passar por um ponto entre D e E, o carrinho diminui sua velocidade, transformando parte da energia cinética em energia potencial gravitacional.

$$E_m = E_{pg} + E_c \quad (3)$$

No ponto E os passageiros ficam de cabeça para baixo. A força resultante que age sobre o carrinho é uma força centrípeta que aponta para o centro em uma trajetória circular:

$$F_c = N + P \quad (4)$$

A força Peso e a força Normal atuam como força centrípeta que age sobre o carrinho.

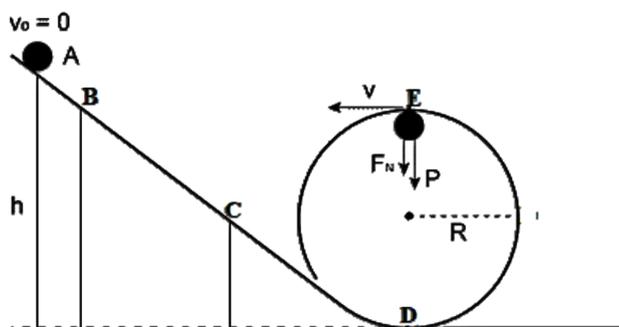


Fig. 2: Forças que agem no movimento do *looping*

Fonte: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2016/10/enem-2016.html> (Adaptada)

Após o carrinho passar por um ponto entre D e E, sua velocidade começa a diminuir. A redução da velocidade no decorrer do percurso causa uma diminuição na intensidade da força normal devido à menor compressão que o carrinho faz sobre os trilhos. A força normal deve diminuir ao mínimo no ponto E, só para manter o carrinho sobre os trilhos, impedindo-o de ser atraído para o centro da trajetória circular, fazendo-o despencar.

$$F_c \geq P \quad (5)$$

Substituímos as forças P e a força centrípeta na equação (5):

$$P = m \cdot g \quad F_c = \frac{mv^2}{R}$$

A velocidade mínima para que o carrinho complete a volta completa no looping sem cair é dada pela equação (6):

$$v \geq \sqrt{g \cdot R} \quad (6)$$

Para uma velocidade mínima de volta completa em uma trajetória circular, temos também uma altura mínima de lançamento do carrinho nos trilhos da montanha russa, que é definida a partir do Princípio da Conservação da Energia Mecânica, onde:

$$E_{m,f} = E_{m,i} \quad (7)$$

Em todos os pontos da trajetória a Energia Mecânica será a mesma:

$$E_{m,A} = E_{m,B} = E_{m,C} = E_{m,D} = E_{m,E}$$

Logo, podemos adotar dois pontos quaisquer. Neste caso, foram adotados os pontos A e E.

$$E_{m,A} = E_{m,E} \quad (8)$$

Sendo:

$$E_m = E_{pg} + E_c$$

E substituindo na equação (8) fica:

$$E_{c,A} + E_{pg,A} = E_{c,E} + E_{pg,E} \quad (9)$$

Como o carrinho está em repouso no ponto A, sua energia cinética é nula. Então a equação (9) fica:

$$E_{pg,A} = E_{c,E} + E_{pg,E} \quad (10)$$

Segundo as equações das energias potencial gravitacional e cinética, podemos reescrever a equação (10):

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h \qquad E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$(m \cdot g \cdot h)_A = \left(\frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot h\right)_E \qquad (11)$$

Simplificando as massas e reescrevendo a equação (11), fica:

$$(g \cdot h)_A = \left(\frac{v^2}{2} + g \cdot h\right)_E \qquad (12)$$

Podemos observar que a altura h_E é o próprio diâmetro do looping, dado por duas vezes o raio da trajetória circular:

$$h_E = 2R$$

Substituindo na equação (12) a velocidade no ponto E (v_{\min} para uma volta completa), a altura h_E e simplificando a gravidade g , fica:

$$h_A = \frac{R}{2} + 2R \qquad (13)$$

A altura mínima que o carrinho deve ser lançado da montanha russa é dada por:

$$h_A = \frac{5R}{2} \qquad (14)$$

A compreensão do Princípio da Conservação de Energia Mecânica é fundamental na resolução de problemas do cotidiano.

Objetivo Geral

Verificar o Princípio da Conservação de Energia Mecânica através do movimento de uma esfera em trajetória circular.

Objetivos Específicos

- Determinar a velocidade mínima para realização do *looping*.
- Determinar a altura mínima para realização do *looping*.
- Calcular a energia potencial gravitacional nos pontos A, D e E do *looping*.
- Calcular a energia cinética nos pontos A, D e E do *looping*.
- Verificar o princípio da Conservação de Energia tomando os pontos A e D e A e E como referência.

Materiais Utilizados

- 01 Mangueira flexível e transparente de 1,2 m de comprimento por 2 mm de diâmetro
- 01 Base de madeira de 100 cm x 10 cm x 2 cm
- 01 Haste milimetrada de madeira (470 mm)
- 01 Esfera tipo rolamento de moto, carro ou bicicleta (corpo deslizante)
- 02 Parafusos

Procedimento Experimental

Para montar o experimento, você deve fixar a haste de 47 cm, conectando-a com a base de madeira através dos parafusos. Depois fixe a trajetória espiral na parte superior da haste, apoiando-a na base de madeira.



Fig. 3: *Looping* Didático.
Fonte: Própria autoria, 2021.

Faça um pequeno furo na mangueira em duas alturas distintas, sendo uma mais próxima ao topo da haste e outra próxima ao *looping*.

Determinando a velocidade mínima de lançamento da esfera para realização do *Looping*

- a) Meça o diâmetro do laço do *looping*. A partir do diâmetro determine o raio em metros.

$$D = 0,20 \text{ m} \qquad R = 0,10 \text{ m}$$

- b) A partir do valor encontrado no item (a) determine a velocidade mínima de lançamento da esfera para realização do *looping*.

$$v_{\min} \geq \sqrt{gR}$$

$$v_{\min} \geq \sqrt{9,8 \cdot 0,1} \geq 0,99 \text{ m/s}$$

Determinando a altura mínima de lançamento da esfera para realização do *Looping*

- c) Pelo Princípio da Conservação de Energia, determine a altura mínima de lançamento da esfera para realização do *looping*.

$$h_{\min} = \frac{5R}{2}$$

$$h_{\min} = \frac{5(0,1)}{2} = 0,25 \text{ m}$$

- d) Solte a esfera do ponto B do *looping* (tome como ponto B uma altura 13 cm menor que h). O que você observou? A esfera consegue completar a volta completa no *looping*? Por que?

Mesmo soltando a bola de gude (rolamento) de um ponto situado a 13 cm do ponto mais alto da trajetória, verificou-se que a bola conseguiu completar a volta no *looping*. Porém, observou-se que sua velocidade foi inferior quando comparada à sua soltura no ponto inicial A.

- e) Preencha a tabela a seguir, determinando as intensidades das energias potencial gravitacional, cinética e mecânica da esfera nos pontos A, D e E da trajetória.

Tabela: Energia Mecânica em Função da posição da esfera

Ponto da Trajetória	Energia Potencial Gravitacional $E_{pg}(J)$	Energia Cinética $E_c(J)$	Energia Mecânica $E_m(J)$
A	0,0230	0,000	0,0230
D	0,0000	0,0230	0,0230
E	0,0098	0,0147	0,0245

Obs: Faça os cálculos utilizando $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Verificando o Princípio da Conservação da Energia Mecânica nos pontos AD e AE do *looping*

- f) A partir dos valores registrados na tabela, houve conservação da energia mecânica nos pontos A e D? Por que?

$$E_{m,A} = E_{m,D}$$

$$0,0230 \text{ J} = 0,0230 \text{ J}$$

Como podemos perceber no decorrer da realização do experimento, toda energia armazenada na forma de potencial gravitacional no ponto A, onde a esfera ainda estava em repouso, foi totalmente convertida em energia cinética no ponto D, onde sua velocidade atingiu valor máximo. Isso se deve a alguns fatores imprescindíveis, como a quase inexistência da força de atrito com o ar e a superfície.

g) E de A para E, a energia mecânica se conservou? Por que?

$$E_{m,A} = E_{m,E}$$

$$0,0230 J \cong 0,0245 J$$

Da mesma forma, a energia praticamente se conservou no trajeto da esfera do ponto A para o ponto E. A variação nos valores obtidos se deve a alguns fatores como: erros de manipulação experimental para coleta de dados, atrito, dentre outros.

h) Você acha que o Princípio da Conservação da Energia Mecânica é válido para quaisquer dois ou mais pontos que tomarmos como referência? Por quê?

Sim, na ausência de atrito. Porém, quando se trata de sistemas reais, podemos adquirir valores bem próximos decorrentes da transformação de energia mecânica, o que não viola o Princípio da Conservação de Energia.

Discussão

Foi percebido que o movimento da esfera no *looping* pode ser descrito pelo princípio da conservação de energia mecânica, mesmo não dependendo da massa do corpo em deslocamento. Porém, como se trata de um procedimento experimental utilizando materiais de baixo custo para coleta de dados, observou-se que houve uma pequena dissipação de energia devido a fatores externos quando os valores obtidos experimentalmente foram comparados nos pontos A, D e E da trajetória.

Conclusão

A partir desse experimento foi possível introduzir conceitos de energia cinética e potencial gravitacional, bem como sua conservação presente no movimento do *looping*. Além de poder levantar dados referentes às grandezas envolvidas no fenômeno, tais como: velocidade mínima necessária para o corpo completar a volta e altura mínima de lançamento desse corpo. Também foi observado que a massa da esfera não influencia os resultados encontrados.

APÊNDICE F: Atividade Experimental Sobre a Conservação de Energia Mecânica em Um Sistema Massa-mola

Introdução

O Princípio da Conservação de Energia Mecânica nos diz que a soma das energias cinética e potencial é sempre constante em qualquer posição de um sistema conservativo. O que ocorre é apenas a transformação de um tipo de energia em outro.

Neste experimento, vamos utilizar um sistema descrito como massa-mola onde um conjunto de massas tem a função de estender/deformar a mola em relação à posição de equilíbrio.

Neste roteiro, consideramos um exemplo simples no qual vamos utilizar algumas massas com variações de aproximadamente 9 g para verificação da constante elástica de uma mola ideal que obedeça à Lei de Hooke.

Inicialmente, vamos medir o comprimento da mola em repouso na posição vertical. Logo após, iremos acrescentar ao gancho/suporte diferentes massas com pequenas variações. Vamos considerar a deformação da mola (x) como a variação do comprimento desta após colocar a massa no suporte.

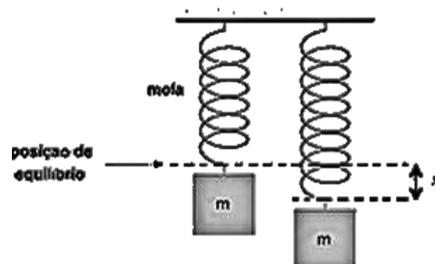


Fig. 1: Sistema massa-mola.

Fonte: <https://www.preparaenem.com/fisica/energia-elastica.htm> (Adaptada)

A força restauradora F (em módulo) que a mola exerce pode ser calculada pela Lei de Hooke, descrita a seguir:

$$F = k \cdot x \quad (1)$$

Onde:

k é a constante elástica da mola (N/m).

x é o alongamento da mola (m).

Desconsiderando a resistência do ar, temos que a força resultante que age sobre o sistema é nula, sendo que a força elástica é igual em módulo à força peso, tal que:

$$F = P - F_e \quad (2)$$

$$0 = m \cdot g - kx$$

$$P = F_e \quad (3)$$

Em um sistema conservativo a Energia Mecânica permanece constante, tal que o Princípio da Conservação de Energia Mecânica é satisfeito:

$$E_{m,i} = E_{m,f} \quad (4)$$

Sendo:

$$E_m = E_{pg} + E_c$$

A compreensão do Princípio da Conservação de Energia Mecânica é fundamental na resolução de problemas do cotidiano.

Objetivo Geral

Determinar a constante de elasticidade de uma mola helicoidal e verificar o Princípio da Conservação de Energia Mecânica através da deformação sofrida pela mola.

Objetivos Específicos

- Medir a deformação sofrida pela mola com o acréscimo de massas.
- Plotar as medidas de força elástica e deformação no gráfico $y \times t$.
- Calcular a constante elástica da mola helicoidal.
- Calcular a energia potencial gravitacional e a energia potencial elástica no ponto de equilíbrio.
- Verificar se o Princípio da Conservação de Energia é satisfeito.

Materiais Utilizados

- 01 Base de madeira de 25 cm x 25 cm x 2,5 cm
- 01 Haste de madeira de 53 cm x 7 cm x 2,5 cm
- 01 Haste de madeira de 15 cm x 7 cm x 2,5 cm
- 02 Parafusos
- 02 ganchos para acoplamento de massa 10 g cada
- Molas helicoidal de constante elástica pequena
- Régua impressa de 470 mm

- Cola para madeira
- 13 Massas de 9 g cada (rolamento de motocicleta)
- 01 Bloco de madeira de massa 75 g
- Papel milimetrado

Procedimento Experimental

Para montar o experimento, você deve fixar o parafuso na parte superior da haste de 40 cm, conectando-a com a outra haste de 20 cm. Depois fixe com outro parafuso a parte inferior da haste de 40 cm na base de madeira. Fixe com um pouco de cola a régua verticalmente na haste de 40 cm. Envolve o gancho na haste de 20 cm e acople a mola por uma das extremidades. A figura 2 mostra o equipamento montado e a figura 3 mostra o equipamento construído.

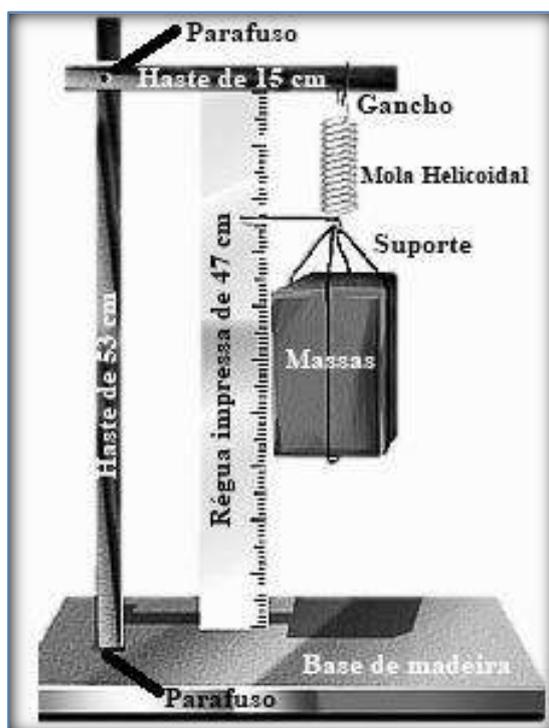


Fig. 2: Esquema Experimental para determinação da constante elástica k da mola.

Fonte: http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/mecanica/basico/cap18/cap18_05.htm
(Adaptada)



Fig. 3: Instrumento Didático para determinação da constante elástica k da mola.

Fonte: Própria Autoria, 2021.

Determinando a constante elástica da mola helicoidal

- a) Na extremidade livre, pendura-se um suporte de massas e sobre ele coloque sucessivamente treze massas de 9 g cada, registrando na tabela a seguir os valores obtidos para deformação e constante elástica da mola.

Tabela: Deformação da mola (m) em função da Força aplicada (N)

Medida	Massa m ($\pm 0,001$ kg)	Força Peso (N)	Força Elástica (N)	Deformação da mola x ($\pm 0,0005$ m)	Constante Elástica k (N/m)
1	0	0	0	0	-
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					

Obs: Faça as leituras na régua olhando por baixo do suporte de massas e utilize $g = 9,8$ m/s².

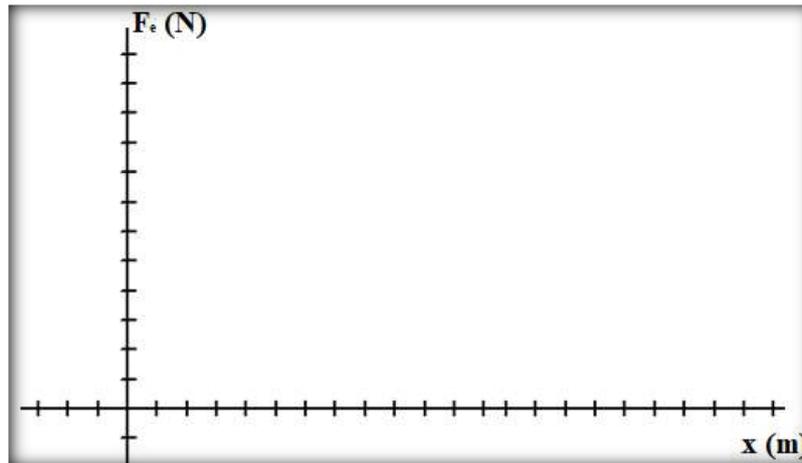
- b) Utilizando os dados da atividade experimental registrados na tabela 1, calcule a constante elástica média da mola.

$$k = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N/m}$$

- c) Retire as massas do suporte interligado ao sistema. O que aconteceu com a mola?

- d) De acordo com sua resposta no item (c), o que você acha que iria acontecer com a mola se acoplássemos ao suporte uma massa muito maior?

- e) Com os valores da tabela 1, plote o gráfico da Força \times Deformação no Excel ou utilize o modelo ao lado.



- f) Calcule a inclinação da reta e compare com o valor médio calculado da constante elástica da mola.

- g) Qual é o significado físico da inclinação da reta do gráfico da Força \times Deformação?

Verificando o Princípio da Conservação da Energia Mecânica

- h) Pendure a mola e faça a medida na base superior do gancho, conforme mostrado na figura 3.

$$x_0 = \text{_____ } m$$

- i) Acople na extremidade inferior da mola um gancho de massa 10 g e pendure neste gancho, o bloco de massa 65 g. Meça a deformação x_i sofrida pela mola e sua posição y_i em relação a base inferior do suporte, conforme mostrado na figura 3.

$$x_i = \text{_____ } m$$

$$y_i = \text{_____ } m$$

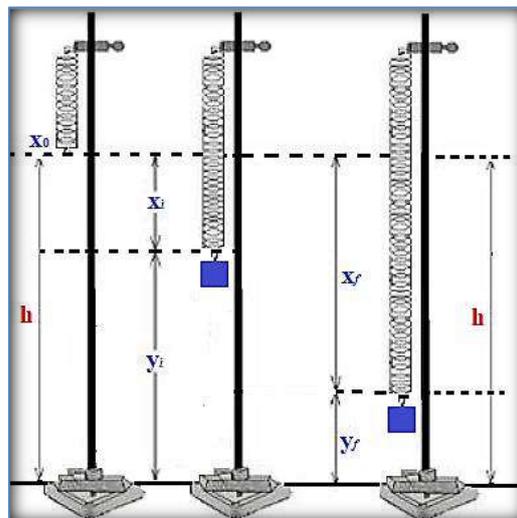


Fig. 3: Esquema Experimental para determinação da Energia Mecânica.

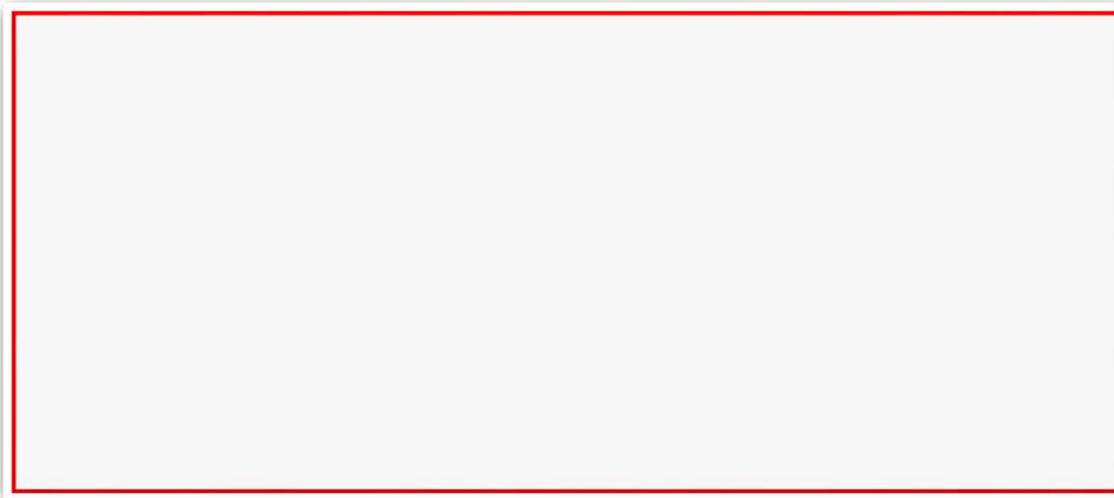
Fonte: <http://docplayer.es/14654139-Laboratorio-no-2-ley-de-hooke-y-cambios-de-energia-potencial.html>
(Adaptada)

- j) Quais são as formas de energia presentes nesta configuração inicial? Calcule a energia mecânica inicial.

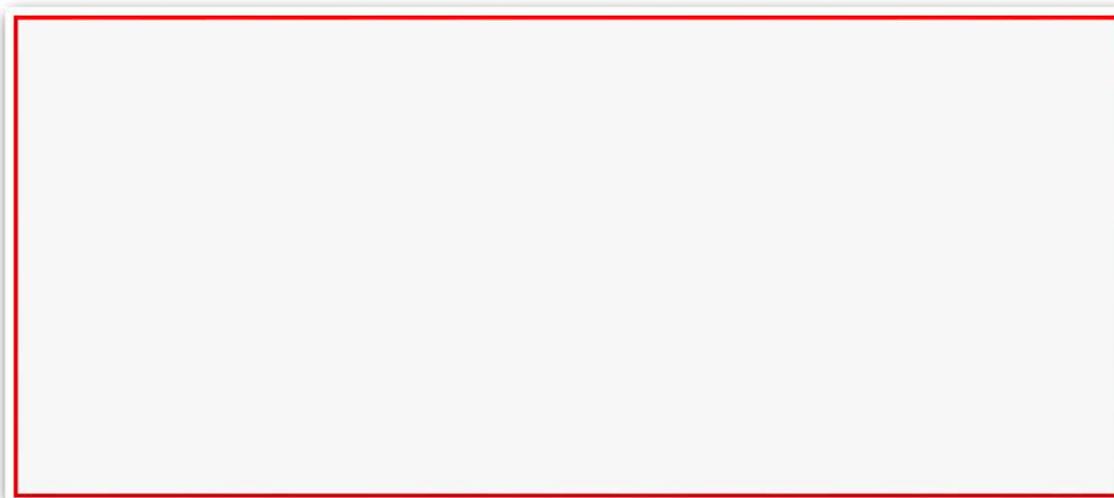
- k) Provoque uma distensão de 2 cm na mola. Meça a nova deformação x_f e sua posição y_f em relação a base inferior do suporte, conforme mostrado na figura 3.

$$x_f = \text{_____ } m \quad y_f = \text{_____ } m$$

- l) Quais são as formas de energia presentes nesta configuração final? Calcule a energia mecânica final.



m) Determine a variação de energia mecânica do sistema massa mola.



n) O Princípio da Conservação de Energia foi satisfeito.

Discussão

Conclusão

Link D: Vídeo com demonstração da realização da Atividade Experimental 2

<https://drive.google.com/file/d/1XaYCNEV2L3w2Zvx3fZsFJo9W8IdpwAcQ/view?usp=sharing>

APÊNDICE G: Sugestão de Gabarito da Atividade Experimental Sobre a Conservação de Energia Mecânica em Um Sistema Massa-mola

Introdução

O Princípio da Conservação de Energia Mecânica nos diz que a soma das energias cinética e potencial é sempre constante em qualquer posição de um sistema conservativo. O que ocorre é apenas a transformação de um tipo de energia em outro.

Neste experimento, vamos utilizar um sistema descrito como massa-mola onde um conjunto de massas tem a função de estender/deformar a mola em relação à posição de equilíbrio.

Neste roteiro, consideramos um exemplo simples no qual vamos utilizar algumas massas com variações de aproximadamente 9 g para verificação da constante elástica de uma mola ideal que obedeça à Lei de Hooke.

Inicialmente, vamos medir o comprimento da mola em repouso na posição vertical. Logo após, iremos acrescentar ao gancho/suporte diferentes massas com pequenas variações. Vamos considerar a deformação da mola (x) como a variação do comprimento desta após colocar a massa no suporte.

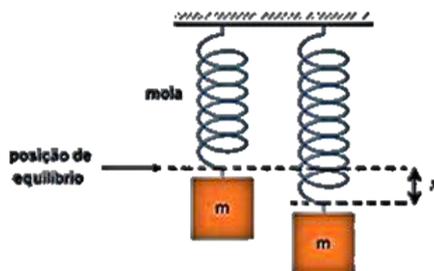


Fig. 1: Sistema massa-mola.

A força restauradora F (em módulo) que a mola exerce pode ser calculada pela Lei de Hooke, descrita a seguir:

$$F = k \cdot x \quad (1)$$

Onde:

k é a constante elástica da mola (N/m).

x é o alongamento da mola (m).

Desconsiderando a resistência do ar, temos que a força resultante que age sobre o sistema é nula, sendo que a força elástica é igual em módulo à força peso, tal que:

$$\begin{aligned} F &= P - F_e \\ 0 &= m \cdot g - kx \end{aligned} \quad (2)$$

$$P = F_e \quad (3)$$

Em um sistema conservativo a Energia Mecânica permanece constante, tal que o Princípio da Conservação de Energia Mecânica é satisfeito:

$$E_{m,i} = E_{m,f} \quad (4)$$

Sendo:

$$E_m = E_{pg} + E_c$$

A compreensão do Princípio da Conservação de Energia Mecânica é fundamental na resolução de problemas do cotidiano.

Objetivo Geral

Determinar a constante de elasticidade de uma mola helicoidal e verificar o Princípio da Conservação de Energia Mecânica através da deformação sofrida pela mola.

Objetivos Específicos

- Medir a deformação sofrida pela mola com o acréscimo de massas.
- Plotar as medidas de força elástica e deformação no gráfico $y \times t$.
- Calcular a constante elástica da mola helicoidal.
- Calcular a energia potencial gravitacional e a energia potencial elástica no ponto de equilíbrio.
- Verificar se o Princípio da Conservação de Energia é satisfeito.

Materiais Utilizados

- 01 Base de madeira de 25 cm x 25 cm x 2,5 cm
- 01 Haste de madeira de 53 cm x 7 cm x 2,5 cm
- 01 Haste de madeira de 15 cm x 7 cm x 2,5 cm
- 02 Parafusos
- 02 ganchos para acoplamento de massa 10 g cada
- Molas helicoidal de constante elástica pequena
- Régua impressa de 470 mm
- Cola para madeira

- 13 Massas de 9 g cada (rolamento de motocicleta)
- 01 Bloco de madeira de massa 75 g
- Papel milimetrado

Procedimento Experimental

Para montar o experimento, você deve fixar o parafuso na parte superior da haste de 40 cm, conectando-a com a outra haste de 20 cm. Depois fixe com outro parafuso a parte inferior da haste de 40 cm na base de madeira. Fixe com um pouco de cola a régua verticalmente na haste de 40 cm. Envolve o gancho na haste de 20 cm e acople a mola por uma das extremidades.

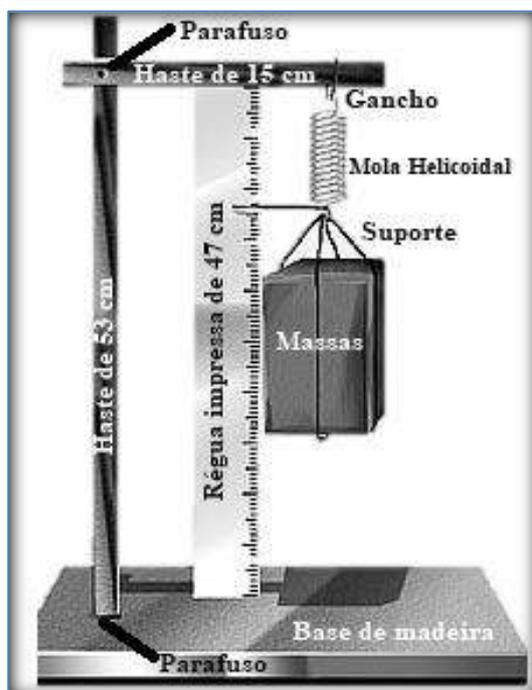


Fig. 2: Esquema Experimental para determinação da constante elástica k da mola.

Fonte: http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/mecanica/basico/cap18/cap18_05.htm.

(Adaptada)



Fig. 3: Instrumento Didático para determinação da constante elástica k da mola.

Fonte: Própria Autoria, 2021.

Determinando a constante elástica da mola helicoidal

- a) Na extremidade livre, pendura-se um suporte de massas e sobre ele coloque sucessivamente treze massas de 9 g cada, registrando na tabela a seguir os valores obtidos para deformação e constante elástica da mola.

Tabela: Deformação da mola (m) em função da Força aplicada (N)

Medida	Massa m ($\pm 0,0001$ kg)	Força Peso (N)	Força Elástica (N)	Deformação da mola x ($\pm 0,0005$ m)	Constante Elástica k (N/m)
1	0	0	0	0	-
2	0,009	0,0882	0,0882	0,020	4,41
3	0,018	0,1764	0,1764	0,043	4,10
4	0,027	0,2646	0,2646	0,061	4,34
5	0,036	0,3528	0,3528	0,080	4,41
6	0,045	0,4410	0,4410	0,096	4,59
7	0,054	0,5292	0,5292	0,110	4,81
8	0,063	0,6174	0,6174	0,129	4,76
9	0,072	0,7056	0,7056	0,145	4,87
10	0,081	0,7938	0,7938	0,163	4,87
11	0,090	0,8820	0,8820	0,180	4,90
12	0,099	0,9702	0,9702	0,194	5,00
13	0,108	1,0584	1,0584	0,211	5,02
14	0,117	1,1466	1,1466	0,232	4,94

Obs: Faça as leituras na régua olhando por baixo do suporte de massas e utilize $g = 9,8$ m/s².

- b) Utilizando os dados da atividade experimental registrados na tabela 1, calcule a constante elástica média da mola.

$$k = 4,69 \text{ N/m}$$

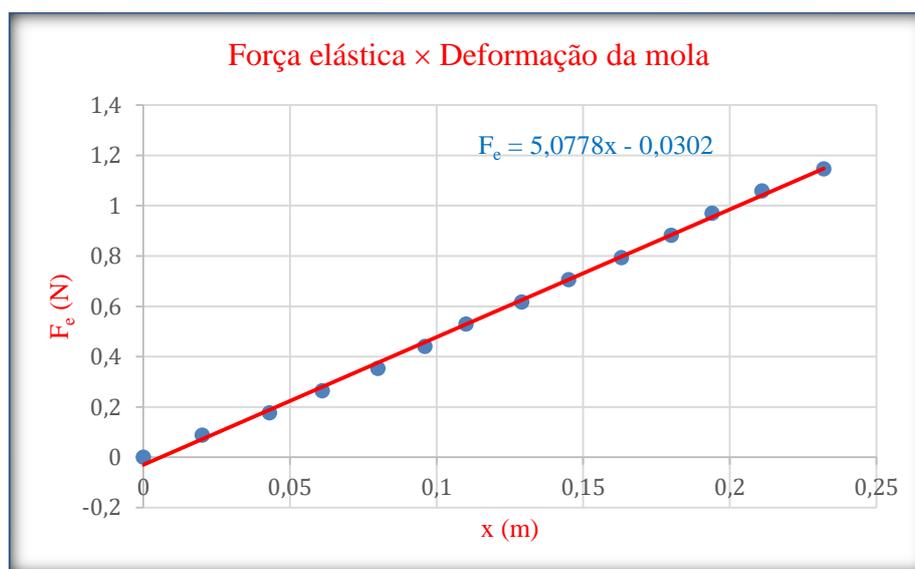
- c) Retire as massas do suporte interligado ao sistema. O que aconteceu com a mola?

Foi observado que mola retornou ao seu estado natural. Porém, após realizar a medição foi averiguado que a mola sofreu deformação de aproximadamente 2 mm, apresentado comprimento de 13,7 cm.

- d) De acordo com sua resposta no item (c), o que você acha que iria acontecer com a mola se acoplássemos ao suporte uma massa muito maior?

A partir dos dados representados na tabela, podemos perceber que a mola deixa de obedecer à Lei de Hooke a partir da décima primeira esfera inserida no suporte. Diante do fato, se acoplássemos muitas outras esferas de mesma massa, a mola continuaria a deformar de forma irreversível, tendendo ao rompimento.

- e) Com os valores da tabela 1, plote o gráfico da Força \times Deformação no Excel ou utilize o modelo a seguir.



Obs: Sugestão de tutorial no qual é demonstrado como criar um gráfico e encontrar a equação da reta. O vídeo pode ser acessado pelo link: <https://youtu.be/H9gSk7cMLCw>

- f) Calcule a inclinação da reta e compare com o valor médio calculado da constante elástica da mola.

O coeficiente angular da reta obtido através da equação da reta foi de aproximadamente 5,08 N/m. O valor médio da constante elástica da mola é igual a aproximadamente 4,69 N/m.

- g) Qual é o significado físico da inclinação da reta do gráfico da Força \times Deformação?

A inclinação da reta representa a constante elástica da mola que quantifica a capacidade da mola de sofrer deformação. Quanto maior o valor da constante elástica k , mais difícil será distender ou comprimir a mola e quanto menor o valor de k mais fácil será distender ou comprimir a mola.

Verificando o Princípio da Conservação da Energia Mecânica

- h) Pendure a mola e faça a medida na base superior do gancho, conforme mostrado na figura 3.

$$x_0 = 0,172 \text{ m}$$

- i) Acople na extremidade inferior da mola um gancho de massa 10 g e pendure neste gancho, o bloco de massa 65 g. Meça a deformação x_i sofrida pela mola e sua posição y_i em relação a base inferior do suporte, conforme mostrado na figura 3.

$$x_i = 0,151 \text{ m}$$

$$y_i = 0,147 \text{ m}$$

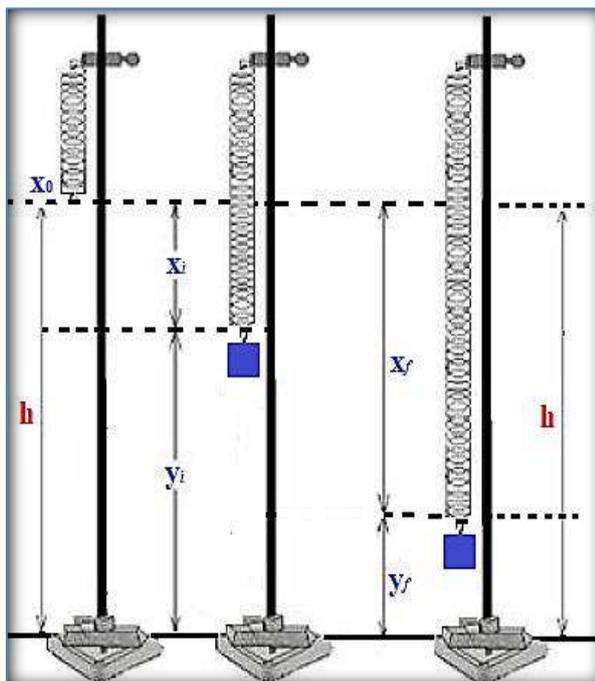


Fig. 3: Esquema Experimental para determinação da Energia Mecânica. **Fonte:** <http://docplayer.es/14654139-Laboratorio-no-2-ley-de-hooke-y-cambios-de-energia-potencial.html> (Adaptada)

- j) Quais são as formas de energia presentes nesta configuração inicial? Calcule a energia mecânica inicial.

Energia Potencial Gravitacional e Energia Potencial Elástica.

$$E_{m,i} = E_{pg,i} + E_{e,i}$$

$$E_{m,i} = mgy_i + \frac{1}{2} \cdot kx_i^2$$

$$E_{m,i} = 0,075 \cdot 9,8 \cdot 0,147 + \frac{1}{2} \cdot 5,08(0,151)^2 = 0,162 \text{ J}$$

- k) Provoque uma distensão de 2 cm na mola. Meça a nova deformação x e sua posição em relação a base inferior do suporte, conforme mostrado na figura 3.

$$x_f = 0,171 \text{ m} \quad y_f = 0,127 \text{ m}$$

- l) Quais são as formas de energia presentes nesta configuração final? Calcule a energia mecânica final.

Energia Potencial Gravitacional e Energia Potencial Elástica.

$$E_{m,f} = E_{pg,f} + E_{e,f}$$

$$E_{m,f} = mgy_f + \frac{1}{2} \cdot kx_f^2$$

$$E_{m,f} = 0,075 \cdot 9,8 \cdot 0,127 + \frac{1}{2} \cdot 5,08(0,171)^2 = 0,167 \text{ J}$$

m) Determine a variação de energia mecânica do sistema massa mola.

$$\Delta E_m = 0$$

$$E_{mf} - E_{mi} = 0$$

$$0,167 - 0,162 = 0$$

$$0,005 = 0$$

n) O Princípio da Conservação de Energia foi satisfeito.

Apesar do resultado anterior apresentar uma pequena diferença em relação ao esperado, pode-se considerar que o Princípio da Conservação de Energia foi satisfeito.

Discussão

Considerando que se trata de um instrumento didático produzido com materiais de baixo custo, a diferença dos valores obtidos para a constante elástica da mola é muito pequena quando consideramos o procedimento e sua execução. Os erros podem ser devido a paralaxe e ao aferimento das massas em balança analítica de pequena precisão (0,1 g) bem como as medidas realizadas através de régua milimetrada.

Conclusão

Pode-se observar no gráfico da força elástica em função da deformação da mola a equação de uma reta com coeficiente angular (inclinação) de aproximadamente 5,08 N/m. Quando comparado com a constante elástica da mola obtida pela média das medições realizadas (4,69 N/m), observa-se que a diferença entre os valores obtidos foi de aproximadamente 7,68 %. Referente ao Princípio da Conservação da Energia Mecânica, foi verificado sua validade para pequenas deformações sofridas pela mola.

APÊNDICE H: Experimento Sobre a Verificação do Princípio da Conservação de Energia Mecânica em um Plano Inclinado com Atrito

Introdução

O Princípio da Conservação de Energia Mecânica nos diz que a soma das energias cinética e potencial é sempre constante em qualquer posição de um sistema conservativo. O que ocorre é apenas a transformação de um tipo de energia em outro.

Neste experimento, vamos investigar a influência da força de atrito sobre o Princípio da Conservação de Energia Mecânica atuante em um corpo que desliza num plano inclinado. Mas, antes de fazer a atividade prática, vamos lembrar as forças atuantes.

Forças no plano inclinado

A Força Peso (P) de um corpo é a força exercida pelo campo gravitacional terrestre em todos os corpos que possuem massa. A direção de atração dessa força é radial, ou seja, está apontada para o centro da Terra. Como a velocidade do corpo sofre variações surge o que chamamos de aceleração gravitacional g .

$$P = m \cdot g \quad (1)$$

Além da Força Peso, existe a Força Normal (N). Ela é exercida pela superfície sobre o corpo, podendo ser interpretada como a sua resistência em sofrer deformação devido ao peso do corpo. Seu sentido de atuação será sempre perpendicular à superfície, diferentemente da Força Peso que atua sempre no sentido vertical.

Em um sistema real também existem outras forças envolvidas no plano inclinado. Uma dessas forças é a de atrito (F_{at}):

$$F_{at} = \mu \cdot N \quad (2)$$

Como se trata de um plano inclinado, devemos decompor a Força Peso nas componentes x e y . Sendo a Força Normal perpendicular ao deslocamento do carrinho, podemos reescrevê-la como:

$$N = P_y \quad (3)$$

Sendo:
$$P_y = P \cdot \cos\theta \quad (4)$$

Substituindo (3) em (2) temos que:

$$F_{at} = \mu P \cos \theta \quad (5)$$

Determinação do atrito estático (μ_e)

Na iminência de deslizamento do carrinho sobre o plano inclinado, o objeto ainda permanece em repouso não havendo aceleração. Portanto, pela Segunda Lei de Newton podemos escrever:

$$F_R = 0 \quad (6)$$

Considerando as forças que agem na direção x do plano inclinado, temos:

$$P_x - F_{at} = 0 \quad (7)$$

Sendo:

$$P_x = P \sin \theta \quad (8)$$

E substituindo (5) em (7), podemos reescrever a equação (7) como:

$$P \sin \theta = \mu P \cos \theta \quad (9)$$

Isolando o coeficiente de atrito μ e simplificando P , a equação (9) fica:

$$\mu_e = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \operatorname{tg} \theta \quad (10)$$

Neste caso, a equação (10) pode ser utilizada para determinar o coeficiente de atrito estático exercido pela superfície sobre o corpo que tende a se movimentar.

Determinação do atrito cinético (μ_c)

Para determinação do coeficiente de atrito cinético, ou seja, quando o objeto está em movimento, podemos utilizar a Segunda Lei de Newton ou Princípio da Conservação de Energia, como veremos na sequência.

Quando há variação de energia num sistema, dizemos que ele realizou trabalho (W). Observe que a realização de trabalho é devida somente à força P_x que possui a mesma direção do deslocamento do carrinho. Já a força P_y é perpendicular ao deslocamento por isso não influencia diretamente no movimento.

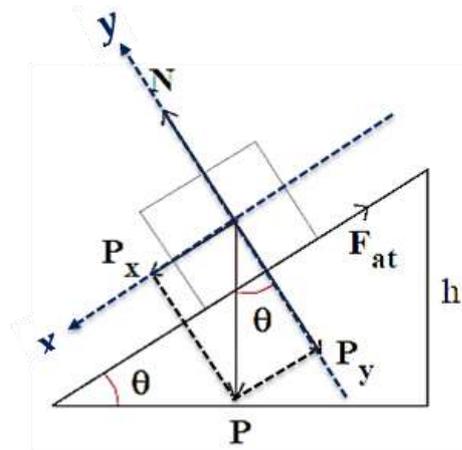


Fig. 1: Forças atuantes em um plano inclinado. **Fonte:** Própria autoria.

A expressão do trabalho de uma força (F) pode ser descrita pela equação a seguir:

$$W = F \cdot d \quad (11)$$

No caso do trabalho da força de atrito F_{at} a equação (6) pode ser reescrita na seguinte forma:

$$W = -F_{at} \cdot d \quad (12)$$

O sinal negativo, indica que a força de atrito age em sentido oposto ao sentido do deslocamento do carrinho.

O trabalho da força de atrito é igual a variação de energia mecânica (ΔE_m) em um sistema que também podemos denominar por energia dissipada.

$$W = \Delta E_m \quad (13)$$

Substituindo (13) em (12) temos:

$$\Delta E_m = -F_{at} \cdot d \quad (14)$$

Para determinar o coeficiente de atrito cinético, podemos substituir (2) e (4) em (14):

$$\mu_c = -\frac{\Delta E_m}{P_y \cos \theta d} \quad (15)$$

Como já sabemos, o valor de μ_c também pode ser obtido pela Segunda Lei de Newton:

$$F_R = m \cdot a \quad (16)$$

Substituindo (5) e (8) em (16) temos:

$$P \sin \theta - \mu P \cos \theta = m \cdot a \quad (17)$$

Substituindo (1) em (17) e simplificando m , podemos determinar o coeficiente de atrito cinético através da equação (18):

$$\mu_c = \frac{g \sin \theta - a}{g \cos \theta} \quad (18)$$

Neste experimento, o carrinho será posicionado na altura h da trajetória. Nesse momento, a energia mecânica que atua sobre o carrinho é somente a energia relacionada à posição, ou seja, a energia potencial gravitacional.

Devido o carrinho ainda estar em repouso, a energia cinética relacionada ao movimento será nula no ponto inicial de deslizamento.

$$E_m = E_c + E_{pg} \quad (19)$$

$$E_m = E_{pg} = m \cdot g \cdot h \quad (20)$$

No decorrer do processo de deslizamento do carrinho, a energia potencial gravitacional vai diminuindo com a altura, sendo transformada em energia cinética.

Quando o carrinho chegar ao ponto final de referência do plano inclinado ele terá velocidade máxima. Neste momento, a força peso não precisa ser decomposta, pois age somente na direção vertical.

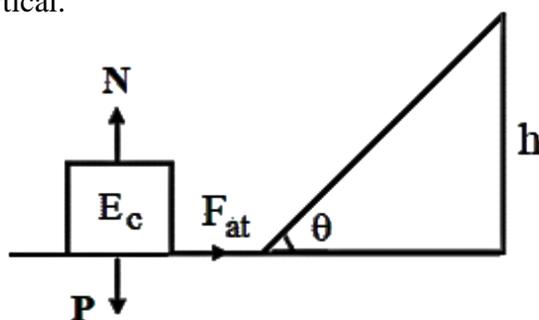


Fig. 2: Energia Mecânica de um corpo em movimento no final do ponto referencial de um plano inclinado. **Fonte:** Própria autoria.

Objetivo Geral

Verificar a validade do Princípio da Conservação de Energia Mecânica através das transformações de energias em um plano inclinado com atrito.

Objetivos Específicos

- Calcular a aceleração através do gráfico $x \times t$.
- Calcular a velocidade instantânea em pontos específicos do plano inclinado.
- Calcular a energia cinética e potencial gravitacional em pontos específicos.
- Determinar a energia mecânica em pontos específicos.
- Determinar a energia dissipada pelo atrito entre o carrinho e a superfície do plano inclinado.
- Plotar o gráfico das energias cinética, potencial gravitacional e mecânica em função da distância percorrida pelo corpo.
- Determinar o coeficiente de atrito estático entre a superfície e o carrinho.
- Determinar o coeficiente de atrito cinético entre a superfície e o carrinho utilizando a Segunda Lei de Newton e o Princípio da Conservação de Energia Mecânica.
- Verificar se a Energia Mecânica do carrinho se conserva.

Materiais Utilizados

- 01 Cronômetro digital.
- 01 Rampa de madeira de 1,0 m x 0,1m (milimetrada).
- 01 Carrinho (bloco de madeira).
- 01 trena milimetrada.
- 06 blocos de madeira de altura diferentes.

Procedimento Experimental

a) Meça com uma balança a massa do carrinho.

$$m = \text{_____} \text{ kg}$$

b) Calcule o peso do carrinho utilizando $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

$$P = \text{_____} \text{ N}$$

Calculando as intensidades das Energias Potencial Gravitacional, Cinética e Mecânica do carrinho num ângulo de inclinação infinitamente próximo ao que o carrinho começou a deslizar.

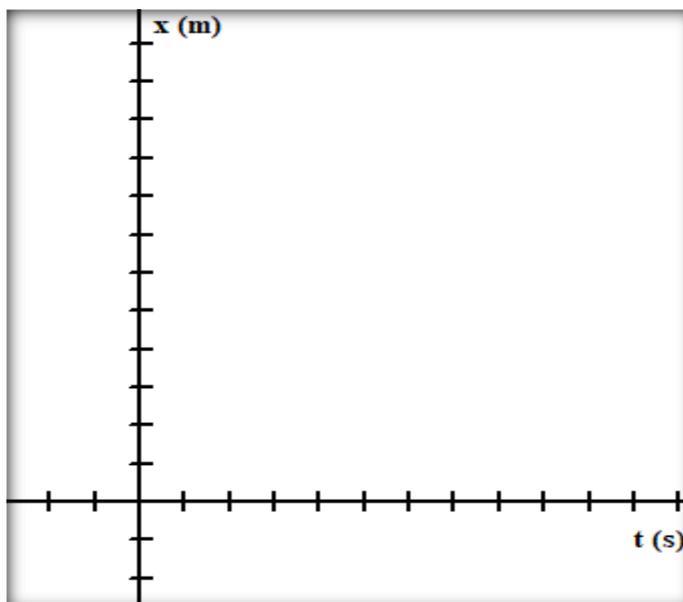
- g) Para os valores de deslocamento da tabela 2, cronometre e registre o tempo que o carrinho atingiu em cada ponto. Realize cinco medições e faça a média do instante para cada posição.

Tabela 2: Posição em função do tempo

$x(m)$	$t(s)$	$x(m)$	$t(s)$	$x(m)$	$t(s)$
0,03		0,40		0,80	
0,10		0,50		0,90	
0,20		0,60		1,00	
0,30		0,70			

- h) A partir dos valores obtidos no item (g), trace o gráfico $x \times t$ e determine a aceleração do carrinho.

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$



- i) Com o valor da aceleração calculado anteriormente, determine a velocidade instantânea para cada posição do carrinho na rampa. Registre os valores na tabela 3.
- j) Utilizando as equações a seguir, calcule as intensidades das energias potencial gravitacional e cinética em cada posição representada na tabela a seguir. Registre esses valores na tabela 3.

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h \qquad E_c = \frac{mv^2}{2}$$

- k) Com os valores das energias potencial gravitacional e cinética, utilize a equação abaixo para determinar a intensidade da energia mecânica. Registre os valores obtidos na tabela 3.

$$E_m = E_{pg} + E_c$$

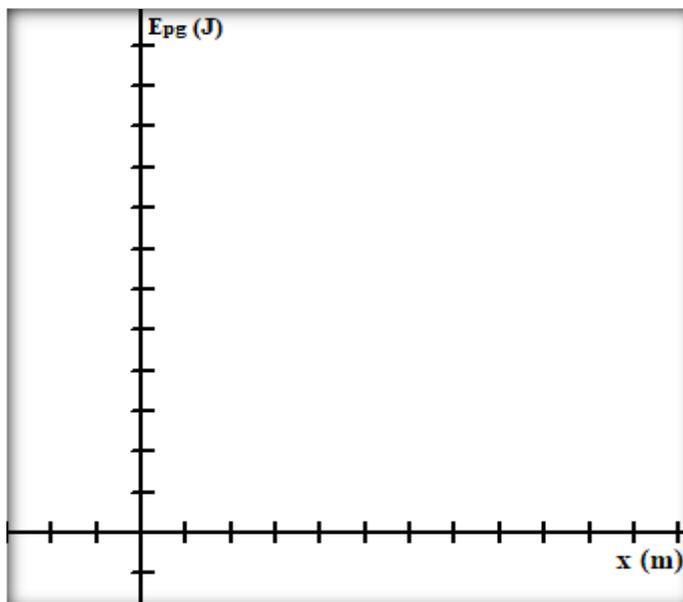
Tabela 3: Posição em Função da Energia Mecânica

x(m)	t(s)	v(m/s)	E_c (J)	h(m)	E_{pg} (J)	E_m (J)
0,03						
0,1						
0,2						
0,3						
0,4						
0,5						
0,6						
0,7						
0,8						
0,9						
1,0						

Plotando os gráficos das energias em função da distância percorrida pelo carrinho no plano inclinado

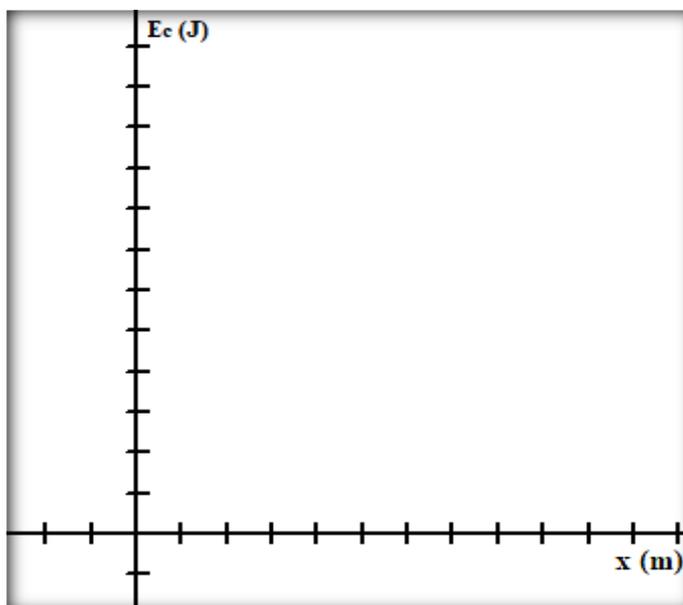
l) Trace o gráfico da Energia Potencial Gravitacional (E_{pg}) \times Posição (x).

m) De acordo com a curva traçada no gráfico da Energia Potencial Gravitacional, resalte o que aconteceu com a intensidade da energia potencial gravitacional do carrinho quando ele percorreu distância diferentes. Aumentou, diminuiu ou permaneceu constante? Por que?



n) Trace o gráfico da Energia Cinética (E_c) \times Posição (x).

o) O que aconteceu com a velocidade do carrinho enquanto ele descia o plano inclinado? A energia cinética aumentou, diminuiu ou permaneceu constante? Por que?



p) O que você acha que aconteceria com a intensidade da energia cinética se a rampa do plano sofresse variação na inclinação para:

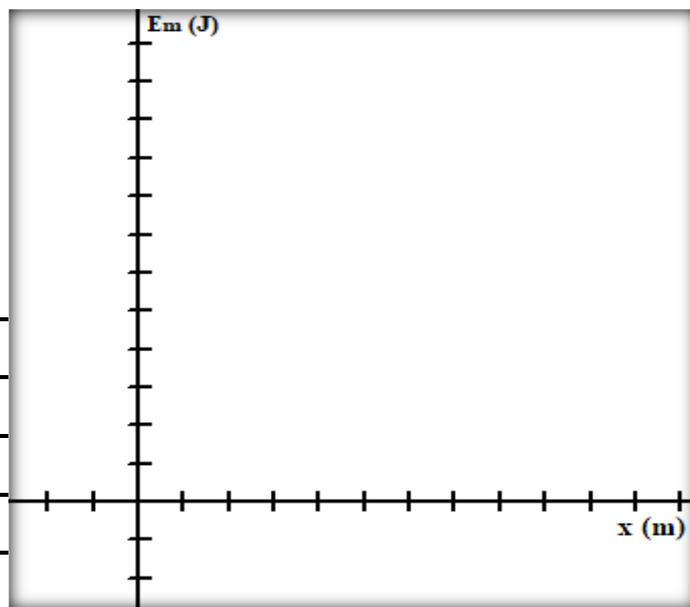
0° _____

60° _____

90° _____

q) Trace o gráfico da Energia Mecânica (E_m) \times Posição (x).

r) A Energia Mecânica do carrinho se conservou no final do processo? Explique.



Determinando a Energia dissipada pelo atrito presente na superfície da rampa do plano inclinado

s) Determine a variação de energia mecânica para as posições descritas na tabela 4.

Tabela 4: Energia Dissipada entre dois pontos

$x(m)$	$E_m(J)$	$\Delta E_m(J)$
0,03		
0,30		

0,03		
0,70		
0,03		
1,00		

- t) Com os resultados obtidos e registrados na tabela, como você explica a variação de energia mecânica?

Determinando o coeficiente de atrito estático (μ_c) entre as superfícies do plano inclinado e a do carrinho.

- u) Com o valor da aceleração e utilizando a Segunda Lei de Newton descrita na equação (18), determine o coeficiente de atrito cinético do sistema.

- v) Considerando a variação de energia mecânica de 0,03 m a 1 m de deslocamento e utilizando a equação (15), determine o coeficiente de atrito cinético entre o carrinho e a rampa do plano inclinado.



w) Compare os valores do atrito cinético obtido nos itens (u) e (v).

x) Compare os valores dos coeficientes de atrito cinético e estático.

Discussão

Conclusão

Link E: Vídeo com a demonstração da realização da Atividade Experimental 3

<https://drive.google.com/file/d/1YDUKH1PMjJc6r10LUDX1fKU0y2x0qFuA/view?usp=sharing>

Link F: Vídeo com resumo sobre Energia Mecânica, que pode ser apresentado logo após o encerramento da realização dos experimentos

<https://drive.google.com/file/d/1Fm89EbIVJvWbwZpF94rQ2Gzsu7qPTu3y/view?usp=sharing>

APÊNDICE I: Sugestão de Gabarito da Atividade Experimental Sobre a Conservação de Energia Mecânica em Um Plano Inclinado com Atrito

Introdução

O Princípio da Conservação de Energia Mecânica nos diz que a soma das energias cinética e potencial é sempre constante em qualquer posição de um sistema conservativo. O que ocorre é apenas a transformação de um tipo de energia em outro.

Neste experimento, vamos investigar a influência da força de atrito sobre o Princípio da Conservação de Energia Mecânica atuante em um corpo que desliza num plano inclinado.

Antes de fazer a atividade prática, vamos lembrar as forças atuantes.

Forças no plano inclinado

A Força Peso (P) de um corpo é a força exercida pelo campo gravitacional terrestre em todos os corpos que possuem massa. A direção de atração dessa força é radial, ou seja, está apontada para o centro da Terra. Como a velocidade do corpo sofre variações surge o que chamamos de aceleração gravitacional g .

$$P = m \cdot g \quad (1)$$

Além da Força Peso, existe a Força Normal (N). Ela é exercida pela superfície sobre o corpo, podendo ser interpretada como a sua resistência em sofrer deformação devido ao peso do corpo. Seu sentido de atuação será sempre perpendicular à superfície, diferentemente da Força Peso que atua sempre no sentido vertical.

Em um sistema real também existem outras forças envolvidas no plano inclinado. Uma dessas forças é a de atrito (F_{at}):

$$F_{at} = \mu \cdot N \quad (2)$$

Como se trata de um plano inclinado, devemos decompor a Força Peso nas componentes x e y . Sendo a Força Normal perpendicular ao deslocamento do carrinho, podemos reescrevê-la como:

$$N = P_y \quad (3)$$

Sendo:

$$P_y = P \cdot \cos\theta \quad (4)$$

Substituindo (3) em (2) temos que:

$$F_{at} = \mu P \cos\theta \quad (5)$$

Determinação do atrito estático (μ_e)

Na iminência de deslizamento do carrinho sobre o plano inclinado, o objeto ainda permanece em repouso não havendo aceleração. Portanto, pela Segunda Lei de Newton podemos escrever:

$$F_R = 0 \quad (6)$$

Considerando as forças que agem na direção x do plano inclinado, temos:

$$P_x - F_{at} = 0 \quad (7)$$

Sendo:

$$P_x = P \sin\theta \quad (8)$$

E substituindo (5) em (7), podemos reescrever a equação (7) como:

$$P \sin\theta = \mu P \cos\theta \quad (9)$$

Isolando o coeficiente de atrito μ e simplificando P , a equação (9) fica:

$$\mu_e = \frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \operatorname{tg}\theta \quad (10)$$

Neste caso, a equação (10) pode ser utilizada para determinar o coeficiente de atrito estático exercido pela superfície sobre o corpo que tende a se movimentar.

Determinação do atrito cinético (μ_c)

Para determinação do coeficiente de atrito cinético, ou seja, quando o objeto está em movimento, podemos utilizar a Segunda Lei de Newton ou Princípio da Conservação de Energia, como veremos na sequência.

Quando há variação de energia num sistema, dizemos que ele realizou trabalho (W). Observe que a realização de trabalho é devida somente à força P_x que possui a mesma

direção do deslocamento do carrinho. Já a força P_y é perpendicular ao deslocamento por isso não influencia diretamente no movimento.

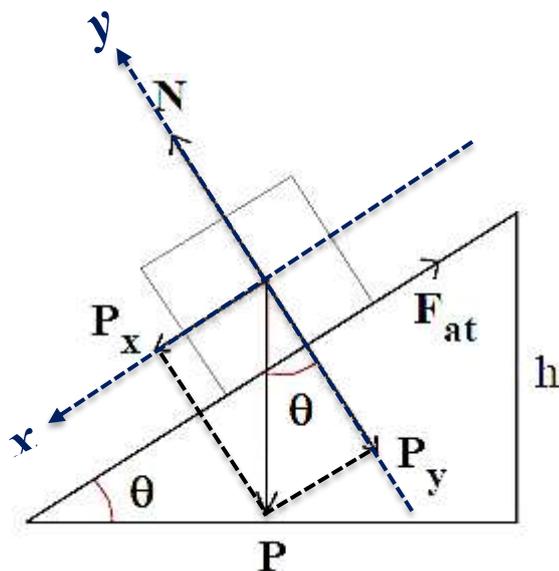


Fig. 1: Forças atuantes em um plano inclinado. **Fonte:** Própria autoria, 2021.

A expressão do trabalho de uma força (F) pode ser descrita pela equação a seguir:

$$W = F \cdot d \quad (11)$$

No caso do trabalho da força de atrito F_{at} a equação (6) pode ser reescrita na seguinte forma:

$$W = -F_{at} \cdot d \quad (12)$$

O sinal negativo, indica que a força de atrito age em sentido oposto ao sentido do deslocamento do carrinho.

O trabalho da força de atrito é igual a variação de energia mecânica (ΔE_m) em um sistema que também podemos denominar por energia dissipada.

$$W = \Delta E_m \quad (13)$$

Substituindo (13) em (12) temos:

$$\Delta E_m = -F_{at} \cdot d \quad (14)$$

Para determinar o coeficiente de atrito cinético, podemos substituir (2) e (4) em (14):

$$\mu_c = -\frac{\Delta E_m}{P_y \cos \theta d} \quad (15)$$

Como já sabemos, o valor de μ_c também pode ser obtido pela Segunda Lei de Newton:

$$F_R = m \cdot a \quad (16)$$

Substituindo (5) e (8) em (16) temos:

$$P \operatorname{sen} \theta - \mu P \operatorname{cos} \theta = m \cdot a \quad (17)$$

Substituindo (1) em (17) e simplificando m , podemos determinar o coeficiente de atrito cinético através da equação (18):

$$\mu_c = \frac{g \operatorname{sen} \theta - a}{g \operatorname{cos} \theta} \quad (18)$$

Neste experimento, o carrinho será posicionado na altura h da trajetória. Nesse momento, a energia mecânica que atua sobre o carrinho é somente a energia relacionada à posição, ou seja, a energia potencial gravitacional.

Devido o carrinho ainda estar em repouso, a energia cinética relacionada ao movimento será nula no ponto inicial de deslizamento.

$$E_m = E_c + E_{pg} \quad (19)$$

$$E_m = E_{pg} = m \cdot g \cdot h \quad (20)$$

No decorrer do processo de deslizamento do carrinho, a energia potencial gravitacional vai diminuindo com a altura, sendo transformada em energia cinética.

Quando o carrinho chegar ao ponto final de referência do plano inclinado ele terá velocidade máxima. Neste momento, a força peso não precisa ser decomposta, pois age somente na direção vertical.

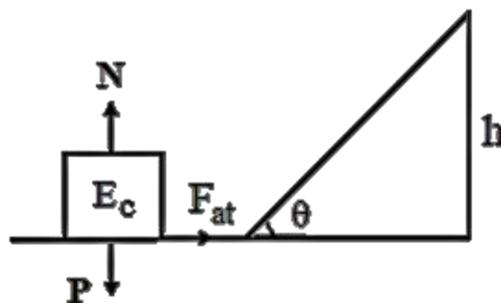


Fig. 2: Energia Mecânica de um corpo em movimento no final do ponto referencial de um plano inclinado. **Fonte:** Própria autoria.

Objetivo Geral

Verificar a validade do Princípio da Conservação de Energia Mecânica através das transformações de energias em um plano inclinado com atrito.

Objetivos Específicos

- Calcular a aceleração através do gráfico $x \times t$.
- Calcular a velocidade instantânea em pontos específicos do plano inclinado.
- Calcular a energia cinética e potencial gravitacional em pontos específicos.
- Determinar a energia mecânica em pontos específicos.
- Determinar a energia dissipada pelo atrito entre o carrinho e a superfície do plano inclinado.
- Plotar o gráfico das energias cinética, potencial gravitacional e mecânica em função da distância percorrida pelo corpo.
- Determinar o coeficiente de atrito estático entre a superfície e o carrinho.
- Determinar o coeficiente de atrito cinético entre a superfície e o carrinho utilizando a Segunda Lei de Newton e o Princípio da Conservação de Energia Mecânica.
- Verificar se a Energia Mecânica do carrinho se conserva.

Materiais Utilizados

- 01 Cronômetro digital.
- 01 Rampa de madeira de 1,0 m x 0,1m (milimetrada).
- 01 Carrinho (bloco de madeira).
- 01 trena milimetrada.
- 06 blocos de madeira de diferentes alturas.

Procedimento Experimental

a) Meça com uma balança a massa do carrinho.

$$m = 0,085 \pm 1. 10^{-4} \text{ kg}$$

b) Calcule o peso do carrinho utilizando $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

$$P = mg = 0,83 \text{ N}$$

Determinando o coeficiente de atrito estático (μ_e) entre as superfícies do plano inclinado e a do carrinho.

- c) Apoie a rampa de 1,0 de comprimento em uma superfície plana e nivelada.
 d) Com o carrinho apoiado, varie a altura h da rampa iniciando as medições a partir de 0,15 m em relação a superfície plana conforme mostra as figuras 3 e 4.

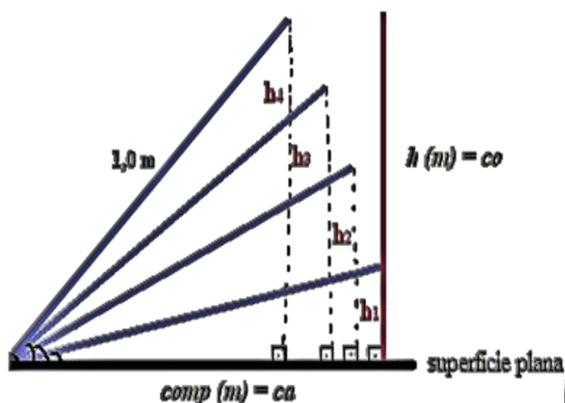


Fig. 3: Variação da inclinação da rampa.
Fonte: Própria autoria, 2021.



Fig. 4: Equipamento Experimental Plano Inclinado com Atrito.
Fonte: Própria autoria, 2021.

- e) Prossiga com as medições realizando variação na inclinação até que o carrinho entre na iminência de deslizamento. Uma sugestão é que seja realizada medidas com variações de 5 cm de altura e, quando o carrinho tender ao deslizamento diminua o intervalo para variações de 1 cm.
 f) Registre os valores dos catetos adjacente e oposto e calcule o coeficiente de atrito estático para cada ângulo de inclinação.

Tabela 1: Ângulo de Inclinação \times Coeficiente de Atrito Estático

$h(m) = co$	$comp(m) = ca$	$tg\theta = \frac{co}{ca}$	$\mu_e = tg\theta$
0,15	0,989	0,15	0,15
0,20	0,980	0,20	0,20
0,25	0,968	0,26	0,26
0,30	0,954	0,31	0,31

0,31	0,951	0,33	0,33
0,32	0,947	0,34	0,34

Assim, o coeficiente de atrito estático crítico (μ_e) quando o carrinho se encontra na iminência de deslizamento é igual a aproximadamente 0,34.

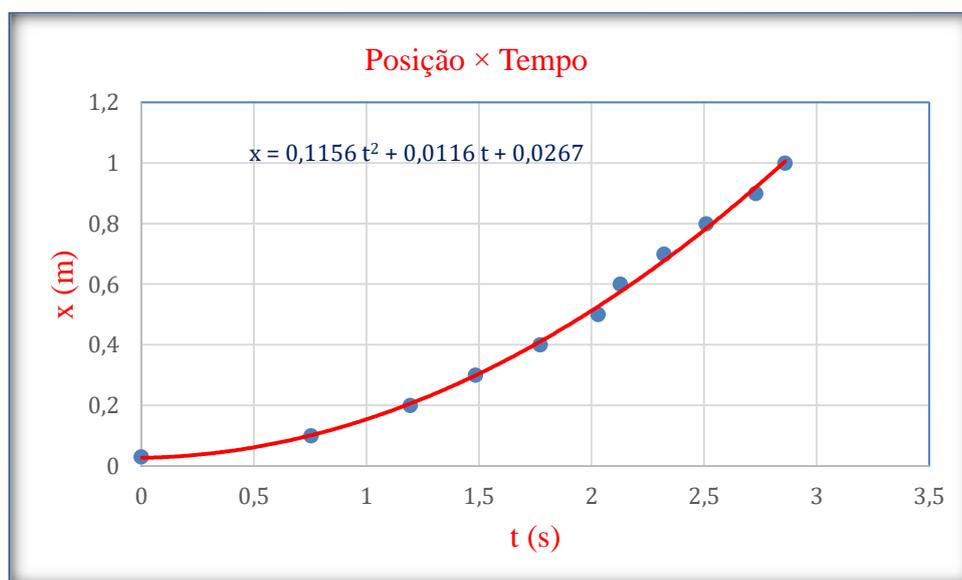
Calculando as intensidades das Energias Potencial Gravitacional, Cinética e Mecânica do carrinho num ângulo de inclinação próximo ao que o carrinho começou a deslizar.

- g) Para os valores de posição da tabela 2, cronometre e registre o instante de tempo em que o carrinho atingiu cada ponto. Realize cinco medições e faça a média do instante para cada posição.

Tabela 2: Posição em função do tempo

$x(m)$	$t(s)$	$x(m)$	$t(s)$	$x(m)$	$t(s)$
0,03	0	0,40	1,772	0,80	2,510
0,10	0,754	0,50	2,030	0,90	2,730
0,20	1,195	0,60	2,128	1,00	2,860
0,30	1,485	0,70	2,322		

- h) A partir dos valores obtidos no item (a), trace o gráfico $x \times t$ e determine a aceleração do carrinho.



Obs: Deixo a sugestão de um tutorial no qual é demonstrado como criar um gráfico e encontrar a equação da reta. O vídeo pode ser acessado pelo link: <https://youtu.be/SwWruTTjsJw>

De acordo com a equação descrita no gráfico, pode-se identificar as variáveis substituindo os valores na equação da posição em função do tempo para o movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV).

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Diante à identificação das variáveis, determinou-se o valor da aceleração multiplicando o valor 0,1156 por 2.

$$a = 0,23 \text{ m/s}^2$$

- i) Com o valor da aceleração calculado anteriormente, determine a velocidade instantânea para cada posição do carrinho na rampa. Registre os valores na tabela 3.
- j) Utilizando as equações a seguir, calcule as intensidades das energias potencial gravitacional e cinética em cada posição representada na tabela a seguir. Registre esses valores na tabela 3.

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h \qquad E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

- k) Com os valores das energias potencial gravitacional e cinética, utilize a equação abaixo para determinar a intensidade da energia mecânica. Registre os valores obtidos na tabela 3.

$$E_m = E_{pg} + E_c$$

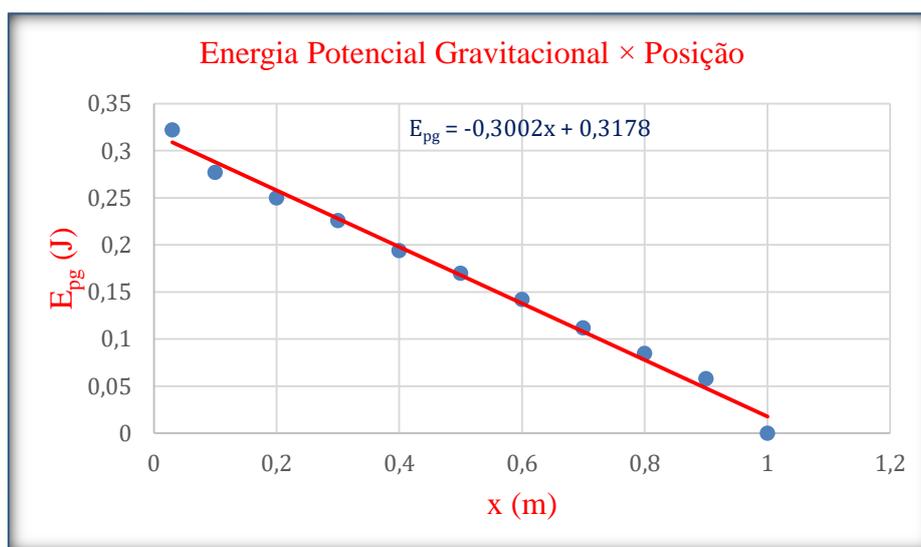
Tabela 3: Posição em Função da Energia Mecânica

$x(m)$	$t(s)$	$v(m/s)$	$E_c (J)$	$h(m)$	$E_{pg} (J)$	$E_m (J)$
0,03	0,000	0,000	0,0000	0,322	0,268	0,268
0,1	0,754	0,173	0,00127	0,277	0,231	0,232
0,2	1,195	0,275	0,00321	0,250	0,209	0,212
0,3	1,485	0,342	0,0050	0,226	0,188	0,193

0,4	1,772	0,408	0,0071	0,194	0,162	0,169
0,5	2,030	0,467	0,0093	0,170	0,142	0,151
0,6	2,128	0,490	0,0102	0,142	0,118	0,128
0,7	2,322	0,534	0,0121	0,112	0,093	0,105
0,8	2,510	0,577	0,0141	0,085	0,071	0,085
0,9	2,730	0,628	0,0168	0,058	0,048	0,065
1,0	2,860	0,658	0,0184	0,000	0,000	0,018

Plotando os gráficos das energias em função da distância percorrida pelo carrinho no plano inclinado

- l) Trace o gráfico da Energia Potencial Gravitacional (E_{pg}) \times Posição (x)

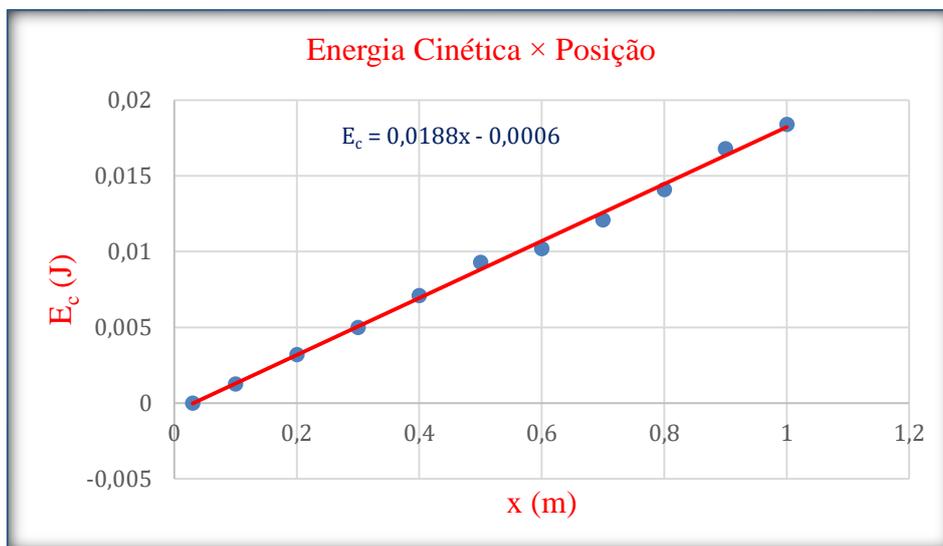


- m) De acordo com os valores obtidos na prática e registrados na tabela, resalte o que aconteceu com a intensidade da energia potencial gravitacional do carrinho quando ele percorreu distância diferentes. Aumentou, diminuiu ou permaneceu constante? Por quê?

Podemos perceber que a energia potencial gravitacional do carrinho diminuiu de maneira significativa ao descer no plano inclinado. Isso se deve à variação decrescente da altura que o corpo deslizante possui em relação ao ponto de referência adotado como a base inferior do plano inclinado, portanto a energia potencial gravitacional

diminuiu com a altura, mesmo tendo como constantes os valores da gravidade terrestre e a massa do carrinho.

- n) Trace o gráfico da Energia Cinética (E_c) \times Posição (x)



- o) O que aconteceu com a velocidade do carrinho enquanto ele descia o plano inclinado? A energia cinética aumentou, diminuiu ou permaneceu constante? Por quê?

Pelos dados obtidos nesta atividade experimental, os quais estão registrados na tabela 1, pode-se observar que a velocidade do carrinho aumenta com a posição x .

Como a energia cinética é diretamente proporcional ao quadrado da velocidade de um determinado corpo, pode-se observar na tabela que seu valor aumentou em função da posição do carrinho no plano inclinado.

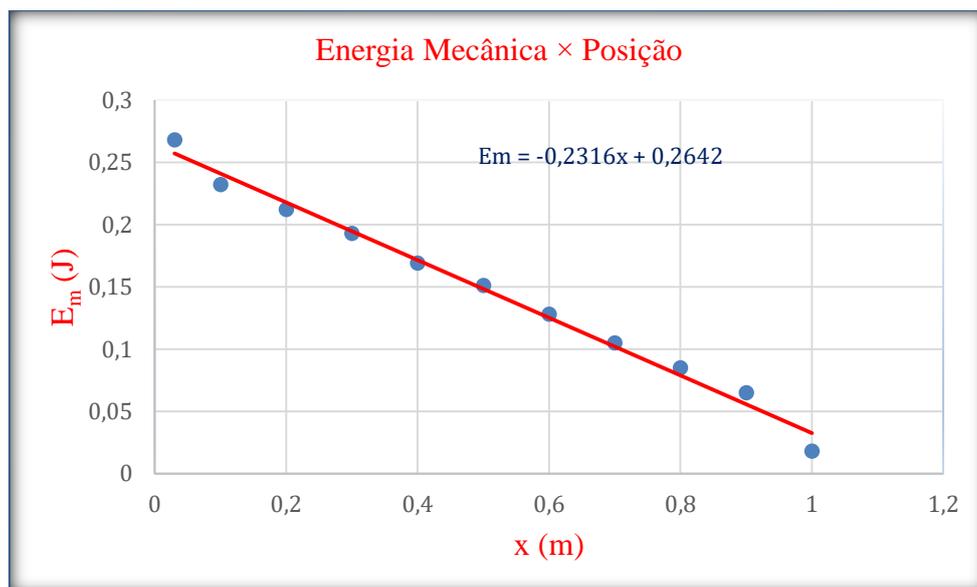
- p) O que você acha que aconteceria com a intensidade da energia cinética se a rampa do plano sofresse variação na inclinação para:

0° o carrinho não se deslocaria na superfície do plano inclinado.

60° o carrinho se deslocaria com maior velocidade, portanto maior energia cinética.

90° o carrinho se deslocaria em queda livre.

q) Trace o gráfico da Energia Mecânica (E_m) \times Posição (x)



r) A Energia Mecânica do carrinho se conservou no final do processo? Explique.

Não, pois a energia mecânica diminui à medida que o carrinho desce o plano inclinado, conforme podemos ver no gráfico de $E_m \times x$. A energia mecânica foi dissipada na forma de energia térmica por causa do atrito entre o carrinho e a superfície.

Determinando a Energia dissipada pelo atrito entre o carrinho e a superfície da rampa do plano inclinado

s) Determine a variação de energia mecânica para as posições descritas na tabela 4.

Tabela 4: Energia Dissipada entre dois pontos

$x(m)$	$E_m(J)$	$\Delta E_m(J)$
0,03	0,268	- 0,075
0,3	0,193	
0,03	0,268	- 0,163
0,7	0,105	

0,03	0,268	
1,0	0,018	
		- 0,250

- t) Com os resultados obtidos e registrados na tabela, como você explica a variação de energia mecânica?

Isso se deve à presença de atrito existente entre a superfície de contato da rampa e o carrinho, fazendo com que a variação de energia mecânica aumente em módulo à medida que a distância percorrida do carrinho aumenta.

Determinando o coeficiente de atrito cinético (μ_c) entre a superfície do plano inclinado e a do carrinho.

- u) Com o valor da aceleração e utilizando a Segunda Lei de Newton descrita na equação (18), determine o coeficiente de atrito cinético do sistema.

Sendo que o carrinho começou a deslizar quando o plano estava inclinado a uma altura de 32,2 cm, foi determinado o $\text{sen}\theta$ e $\text{cos}\theta$.

- $\text{sen}\theta = \frac{co}{H} = \frac{32,2 \text{ cm}}{100 \text{ cm}} = 0,322$

- $\text{cos}\theta = \frac{ca}{H} = \frac{94,7 \text{ cm}}{100 \text{ cm}} = 0,947$

$$\mu_c = \frac{g\text{sen}\theta - a}{g\text{cos}\theta} = \frac{(9,8)(0,322) - 0,23}{(9,8)(0,947)} = 0,32$$

- v) Considerando a variação de energia mecânica de 0,03 m a 1 m de deslocamento e utilizando a equação (15), determine o coeficiente de atrito cinético entre o carrinho e a rampa do plano inclinado.

$$\mu_c = -\frac{\Delta E_m}{P\text{cos}\theta d}$$

$$\mu_c = \frac{0,250}{(0,085)(9,8)(0,947)(0,97)} = 0,33$$

w) Compare os valores do atrito cinético obtido nos itens (v) e (w).

Os valores foram bem aproximados, o que já era esperado. Porém essa pequena diferença se deve a erros experimentais, aproximação de valores de medidas, entre outros.

x) Compare os valores dos coeficientes de atrito cinético e estático.

Como já era esperado, o valor do coeficiente de atrito estático (na iminência de deslizamento) foi superior ao valor do coeficiente de atrito cinético, ou seja, quando o bloco estava em movimento ($\mu_e > \mu_c$).

Discussão

Foi possível averiguar que a energia mecânica do carrinho diminuiu no decorrer do percurso do carrinho no plano inclinado. O valor obtido para o coeficiente de atrito cinético entre o plano inclinado e o carrinho foi 0,32 utilizando o Princípio de Conservação de Energia e de 0,33 quando calculado pela Segunda Lei de Newton.

Conclusão

A partir dos resultados obtidos através da coleta de dados nesta atividade experimental, verificou-se que para que a Energia Mecânica do carrinho se conserve, este não deve sofrer ação de forças externas, tais como a força de atrito entre as superfícies de contato. Se levarmos em conta o sistema carrinho + plano inclinado, a Energia Mecânica do sistema se conserva e o Princípio de Conservação da Energia Mecânica é satisfeito. Além disso, foi observado que o valor do coeficiente de atrito estático do plano inclinado e carrinho aumentou com a inclinação da rampa, atingindo seu valor máximo a uma altura de 0,32 m em relação à base da superfície horizontal do plano. Aumentando a inclinação em mais 2 mm, foi observado que o carrinho começou a se mover, resultando a determinação da média do coeficiente de atrito cinético igual a 0,325, cujo valor foi inferior ao coeficiente de atrito estático, o que já era esperado.

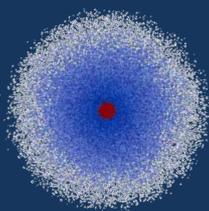
APÊNDICE J: Material para o professor

MINPEF

Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



*Caderno de Práticas Experimentais Produzidas com
Materiais de Baixo Custo Para Verificação do
Princípio da Conservação da Energia Mecânica*



Leidiane Aparecida de Andrade Silva

Orientadora: Prof^ª. Dra. Sabrina Silva Carara

Cuiabá – MT
Outubro de 2021

Sumário

CAPÍTULO 1 - Introdução	1
CAPÍTULO 2 - Fundamentação Teórica	2
2.1 Importância do Estudo do Conceito Energia	2
2.2 Energia Cinética.....	3
2.2.1 Trabalho e Energia Cinética	4
2.4 Trabalho de Uma Força Conservativa	7
2.5 Energia Potencial	8
2.5.1 Trabalho e Energia Potencial Gravitacional	9
2.5.2 Trabalho e Energia Potencial Elástica	10
2.6 Conservação da Energia Mecânica.....	11
2.7 Trabalho de Uma Força Não Conservativa.....	12
CAPÍTULO 3 – Metodologia	13
3.1 Metodologia Baseada na AS e nos 3MP	13
3.2 Sequência Didática Baseada nos 3MP e na AS	14
3.3 Cronograma da Sequência Didática.....	15
CAPÍTULO 4 - Referências	17
APÊNDICE A: Questionário	19
APÊNDICE B: Sugestão de Gabarito do Questionário	22
APÊNDICE C: Atividade Experimental Sobre a Verificação do Princípio da Conservação de Energia Mecânica Através do <i>Looping</i>	26
APÊNDICE D: Sugestão de Gabarito da Atividade Experimental Sobre a Verificação do Princípio da Conservação de Energia Mecânica Através do <i>Looping</i>	32
APÊNDICE E: Atividade Experimental Sobre a Conservação de Energia Mecânica em Um Sistema Massa-mola	39

APÊNDICE F: Sugestão de Gabarito da Atividade Experimental Sobre a Conservação de Energia Mecânica em Um Sistema Massa-mola	46
APÊNDICE G: Experimento Sobre a Verificação do Princípio da Conservação de Energia Mecânica em um Plano Inclinado com Atrito	53
APÊNDICE H: Sugestão de Gabarito da Atividade Experimental Sobre a Conservação de Energia Mecânica em Um Plano Inclinado com Atrito.....	64

Links

Link A: Vídeo Pense de Novo – Energia e Novas Tecnologias	21
Link B: Aula com apresentação em Power point sobre os principais tipos de energia, energia mecânica e sua conservação.	25
Link C: Vídeo com demonstração da realização da Atividade Experimental 1	31
Link D: Vídeo com demonstração da realização da Atividade Experimental 2.....	45
Link E: Vídeo com a demonstração da realização da Atividade Experimental 3	63
Link F: Vídeo com resumo sobre Energia Mecânica	63

Figuras

Figura 1: Deslocamento em função da força aplicada sobre um corpo.....	5
Figura 2: Trabalho de uma força variável.....	6
Figura 3: Deslocamento de um objeto sob ação de forças conservativas Sistema com dois objetos em interação.....	7
Figura 4: Trabalho total de uma força conservativa em um caminho fechado.....	8
Figura 5: Objeto em queda livre.....	9
Figura 6: Sistema massa-mola.....	10
Figura 7: Força de atrito em um plano horizontal.....	12
Figura 8: Força de atrito em um plano inclinado.....	13

Apresentação

Prezado Professor, Prezada Professora

Há mais de uma década ministrando aula para turmas de primeiro ano do Ensino Médio, observei muitas dificuldades inerentes à compreensão dos conceitos sobre a Energia Mecânica. Diante este cenário, me senti instigada e desafiada a propor uma sequência didática envolvendo atividades experimentais confeccionadas com materiais de baixo custo com o objetivo de tratar esses conceitos de uma forma diferenciada.

A metodologia de ensino adotada neste material, foi baseada nos estudos e dados dos pesquisadores Ausubel, Delizoicov e Angotti, cujo foco principal é o desenvolvimento da Aprendizagem Significativa no aprendiz.

Como o desenvolvimento da sociedade, a melhoria da qualidade de vida e a sobrevivência da humanidade dependem de nova concepção de produção e uso sustentáveis da energia, os quais estão diretamente intrincados à questão ambiental, surge assim, a necessidade de abordar a energia e seus significados físicos como o princípio de sua conservação, suas formas e os processos de transformação de forma prática e relacionável.

Porém, nós professores de Física sabemos que na linguagem do dia-a-dia o termo energia adquire significados e propriedades não reconhecidos pela ciência, sendo utilizada indistintamente na sociedade, eventualmente associada à ideia de força e vitalidade, como nas expressões comuns “recarregar as energias” ou “descarregar as energias negativas.”

Apesar dos conceitos de Mecânica serem de suma importância para compreensão dos movimentos e necessários para descrever e explicar muitos avanços tecnológicos, o conteúdo é pouco entendido pela maioria dos estudantes. Porém, é importante que os alunos aprendam os conceitos envolvendo Energia e seu significado próprio no campo da Física.

Pelo fato da Energia ser um conceito muito abrangente e abstrato, torna-a difícil de ser definida de modo preciso com poucas palavras. Nessa perspectiva, surge a necessidade de discutir problemas reais envolvendo energia mecânica.

Professor(a) encerro aqui a apresentação deste trabalho que foi elaborado com muito cuidado, o qual desejamos que lhe seja útil no processo de Ensino Aprendizagem e na Relação Professor-aluno.

Abraços!

CAPÍTULO 1 - Introdução

De acordo com a lei n. 9.394, da Lei de Diretrizes e Bases (LDB) de 20 de dezembro de 1996, no Artigo 36, constata-se que o ensino médio é considerado etapa final da educação básica, compreendida entre os anos de estudo regular de um indivíduo.

Em 1999, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) passaram a indicar conectivos, os quais indicam que o aprendizado deve ser compreendido através de competências e habilidades a serem desenvolvidas e elaboradas pelos professores juntamente aos alunos por área de seus respectivos conhecimentos.

Segundo os PCN, as competências e habilidades estão divididas em: *representação e comunicação*, onde nesse aspecto procura-se desenvolver a capacidade de comunicação e compreensão dos enunciados envolvendo símbolos e grandezas físicas, ler e interpretar tabelas, gráficos e diagramas; *investigação e compreensão*, buscando ampliar a capacidade de questionar processos naturais e tecnológicos, identificando parâmetros relevantes diante de situações físicas, bem como desenvolver o raciocínio e a capacidade de aprender e, conseqüentemente, aspectos cognitivos que favoreçam a aprendizagem; *contextualização sociocultural*, que visa compreender e utilizar a ciência como elemento de interpretação, intervenção e solucionadora de problemas, e a tecnologia como conhecimento sistemático de sentido prático.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) determinam que o ensino de Física deva ser trabalhado adequando-o à realidade escolar, com o conteúdo relacionado a esta e ao cotidiano do aluno.

“ Não se trata, portanto, de elaborar novas listas de tópicos de conteúdo, mas, sobretudo de dar ao ensino de Física novas dimensões, que irá promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem. ” (BRASIL, 1999, p. 230).

Atualmente, o ensino visa uma intensa renovação pedagógica que busca a construção de uma educação emancipatória, democrática, inclusiva e de qualidade, direcionando esforços para a aprendizagem e atribuindo aos educandos o papel de sujeitos ativos no processo de construção de conhecimentos e sua conseqüente formação de cidadania.

Como a Física é a ciência que descreve e traz a compreensão dos fenômenos que acontecem na natureza, ela está sempre em contínua evolução, procurando apresentar e demonstrar novos fenômenos e conceitos, os quais estão sempre presentes em nosso dia a dia. De modo geral, essa ciência faz parte de todas as atividades realizadas pelo ser humano.

Segundo os PCN (2002), o professor deve utilizar as mais variadas atividades, a fim de trabalhar Ciências Naturais, possibilitando assim que os alunos possam entrar realmente em contato com temas ligados à aprendizagem científica e tecnológica.

Pensando na concretização da construção do conhecimento, este trabalho propõe a construção de um **“Caderno de Práticas Experimentais Produzidas Com Materiais de Baixo Custo Para Verificação do Princípio da Conservação da Energia Mecânica.”**

A opção foi pela metodologia baseada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov e Angotti e na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel, visando promover mudança no método de ensino ainda vigente, tendo como base a identificação e classificação dos movimentos vivenciados no cotidiano. Nesta perspectiva, as atividades visam tornar o aluno capaz de identificar e interpretar situações-problemas, que exigem o conhecimento de Física, em particular, aqueles relacionados com a Energia Mecânica.

CAPÍTULO 2 - Fundamentação Teórica

2.1 Importância do Estudo do Conceito Energia

Com o desenvolvimento da sociedade, a melhoria da qualidade de vida e a sobrevivência da humanidade dependem de nova concepção de produção e uso sustentáveis da energia, os quais estão diretamente intrincados à questão ambiental. O estudo deste tópico em sala de aula é de suma importância, assim, emerge a necessidade de abordar a energia em seus significados físicos, como o princípio de sua conservação de energia mecânica, suas formas e os processos de transformação.

A palavra energia é usada indistintamente na sociedade, eventualmente associada à ideia de força e vitalidade. É importante que os alunos saibam que ela possui um significado próprio na Física. Energia é um conceito muito abrangente e, por isso mesmo, muito abstrato e difícil de ser definido de modo preciso com poucas palavras. A palavra energia, derivada do vocábulo grego *energeia* (significando em ação) (AXT e ALVES 1994) é a propriedade de um sistema que lhe permite existir, ou do ponto de vista físico, realizar trabalho. (Dicionário Aurélio, 2002).

Para a realização do trabalho é necessária a aplicação de uma força e, simultaneamente, uma transformação de energia. Quando há a aplicação de uma força e um deslocamento do ponto de aplicação dessa força, pode-se dizer que houve uma realização de trabalho.

Na linguagem do dia-a-dia o termo energia adquire significados e propriedades não reconhecidos pela ciência, como nas expressões comuns “recarregar as energias” ou “descarregar as energias negativas”, no plural mesmo, isso sem falar em outros sentidos mais esotéricos. (Barbosa, Borges, 2006).

É um dos conceitos básicos das ciências naturais para descrever e explicar o funcionamento do mundo, mas é pouco entendido pelos estudantes, e quase sempre também por seus professores.

A compreensão e o uso do conceito de energia e de sua conservação na explicação de fenômenos e resolução de problemas não são simples. Uma das fontes prováveis dessas dificuldades é que, conforme as pesquisas em ensino de ciências apontam, os estudantes têm hábitos pouco desenvolvidos de pensar acerca de sistemas, eventos e processos (DRIVER, WARRINGTON, 1985), particularmente, erros que são frequentes em relação a conceitos de Física, sobretudo os conceitos de energia, força e trabalho.

Diferentemente dos currículos tradicionais e da maioria dos livros didáticos, no CBC (Currículo Básico Comum) esse conceito é iniciado com o conteúdo de mecânica, utilizando a noção prévia que os alunos têm sobre velocidade a partir de situações vivenciadas, pela observação de objetos em movimento e o armazenamento de energia mecânica em dispositivos elásticos (carrinho de corda, arco e flecha, estilingues, etc.) e gravitacionais (moinhos, monjolo e hidroelétricas). O conceito de energia é tratado de forma recursiva no CBC, contendo tópicos sobre conservação da energia e a energia potencial. O CBC destaca a abordagem referenciada ao mundo conceitual que se opõe à abordagem tradicional, uma vez que esta apresenta a teoria antes dos fatos (CURRÍCULO BÁSICO COMUM 2008).

Nessa perspectiva, surge a necessidade de discutir os problemas reais como: a emissão de luz por uma lâmpada, o funcionamento de um chuveiro ou o funcionamento do motor de um automóvel, de modo também a construir os significados da linguagem científica, entre outros.

A energia é um conceito muito abrangente e, por isso mesmo, muito abstrato e difícil de ser definido de modo preciso com poucas palavras de um modo preciso (GODOI, COIMBRA e MASCARENHAS, 2006). Neste artigo os autores citam vários tipos de energia e sua importância para o meio ambiente e vida social.

2.2 Energia Cinética

A palavra cinética é derivada do grego *kinesis*, cujo significado é movimento. O conceito de energia cinética foi primeiramente estabelecido por Leibnitz, que a denominou como “força viva” (*vis viva*). Mais tarde, em 1740 Émilie du Châtelet reconheceu e publicou uma explicação a respeito da experiência realizada por Willem’s Gravesande, que foi capaz de determinar que a “força viva” era diretamente proporcional à massa e ao quadrado da velocidade de um corpo.

Em 1808, Young utiliza pela primeira vez o termo energia. Já em 1829, Gaspard-Gustave Coriolis inseriu o termo “energia cinética” ao publicar um artigo descrevendo a matemática envolvida.

Em 1905, Einstein apresentou sua contribuição no conceito ao relacionar diretamente a grandeza massa à energia.

Então, a energia cinética cujo símbolo pode ser representado por K ou E_c pode ser definida como a energia que um corpo possui ao deslocar de um ponto a outro, ou seja, ela está intrinsecamente relacionada à velocidade. Halliday, Resnick, Walker (208, p. 153) afirmam que “Quanto mais depressa o objeto se move, maior é a energia cinética. Quando um objeto está em repouso, a energia cinética é nula.”

Dado um corpo de massa m e velocidade $v \ll v_{luz}$, temos que a energia cinética é definida como:

$$K = \frac{1}{2}mv^2. \quad (1)$$

A palavra energia pode ser definida como a capacidade de realizar trabalho e ao ato de transferir energia (Halliday pg. 155).

2.2.1 Trabalho e Energia Cinética

Antes de definirmos o que é trabalho em Física, vamos analisar a seguinte situação (Sears, p.182): Um objeto de massa m se desloca uma distância d ao longo de uma trajetória retilínea. No decorrer do movimento do objeto, uma força com módulo constante F atua sobre ela. A direção e o sentido da força coincidem com a direção e o sentido do deslocamento d do objeto. Então, o trabalho W realizado pela força constante nessas condições é dado por:

$$W = F \cdot d, \quad (2)$$

onde F é a força constante que atua na direção e no sentido do deslocamento retilíneo.

O trabalho realizado sobre o objeto é diretamente proporcional à intensidade da força F e ao deslocamento d , conforme mostra a equação (2).

A unidade de medida da grandeza escalar energia é dada em joule (J) que corresponde a:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Porém existe várias outras unidades. Algumas delas são:

- Caloria (cal);
- *British Thermal Unit* (BTU);
- Quilowatt-hora (kWh);
- Elétron-volt (eV).

A relação entre estas unidades de medida de energia pode ser dada como:

$$1 \text{ J} \cong 2,39 \cdot 10^{-4} \text{ cal} \cong 9,48 \cdot 10^{-4} \text{ BTU} \cong 2,78 \cdot 10^{-7} \text{ kWh} \cong 6,24 \cdot 10^{18} \text{ eV}$$

Segundo Moysés (pg.109), quando um objeto sofre variação de velocidade devido à força imposta, a energia cinética K também varia.

- Se a velocidade v do objeto aumentar, a energia cinética K do objeto também aumenta;
- Se a velocidade v do objeto diminuir, a energia cinética K do objeto também diminui.

“Trabalho (W) é a energia transferida para um objeto ou de um objeto através de uma força que age sobre o objeto. Quando a energia é transferida para o objeto, o trabalho é positivo; quando a energia é transferida do objeto, o trabalho é negativo”. (Halliday, p. 155)

Tomarei como referência a partir deste momento, situações trazidas no livro “Fundamentos de Física”, vol.1 8ª Ed (Halliday, Resnick, Walker 2008) das páginas 155 a 202.

Considere um corpo de massa m que se desloca ao longo de um eixo x horizontal em um fio sem atrito, no qual é aplicado uma força F de mesma intensidade, que faz um ângulo ϕ com o fio. Esta força está sendo utilizada para acelerar o corpo. Então, pela Segunda Lei de Newton, pode-se relacionar a força F à aceleração a cuja equação é dada por:

$$F_x = ma_x, \quad (3)$$

onde F_x e a_x representam as componentes da força e da aceleração na direção x , respectivamente, pois a componente da força perpendicular ao deslocamento não realiza trabalho.

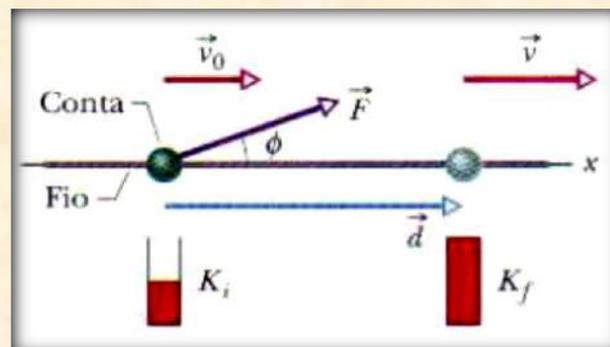


Figura 1: Trabalho de Uma Força Constante não Paralela ao vetor Deslocamento

Fonte: Fundamentos de Física, vol. 1, 8ª Ed. Pg. 155

Pela figura 1, observa-se que o corpo desloca de um ponto a outro devido à aplicação da força F de intensidade constante, a qual provoca variação de velocidade no corpo; passando de v_0 no estado inicial para v no final do deslocamento:

$$v^2 = v_0^2 + 2a_x d. \quad (4)$$

Substituindo a_x da Segunda Lei de Newton por $a_x = \frac{F_x}{m}$ na equação (4) temos:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \left(\frac{F_x}{m} \right) d \quad (5)$$

$$v^2 - v_0^2 = 2 \left(\frac{F_x}{m} \right) d. \quad (5.1)$$

Dividindo a equação (5.1) por $\frac{1}{2}m$ temos:

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = F_x d. \quad (6)$$

Pode-se notar que o primeiro termo da equação (6) se trata da variação da energia cinética ΔK sofrida no deslocamento d , devido à ação da força aplicada sobre o corpo de massa m explicitada no segundo termo. Daí, teremos o Teorema Trabalho e Energia Cinética na equação (7):

$$\Delta K = W. \quad (7)$$

Pode-se então concluir que o trabalho W realizado pela força F constante sobre o corpo equivale à transferência de energia devido à aplicação da força F :

$$W = F_x d. \quad (8)$$

Podemos notar que na figura 1, F_x pode ser escrito como $F \cos \phi$, em que F é o módulo de F e ϕ é o ângulo entre o deslocamento d e a força F aplicada. Temos que o trabalho realizado pela força constante F é dado por:

$$W = F d \cos \phi. \quad (9)$$

Como o termo $F d \cos \phi$ é equivalente ao produto escalar $\vec{F} \cdot \vec{d}$, a equação (9) pode ser reescrita como:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}. \quad (10)$$

Para análise da equação do trabalho realizado pela força F de intensidade variável que atua na mesma direção do deslocamento, considere a figura 2 a seguir:

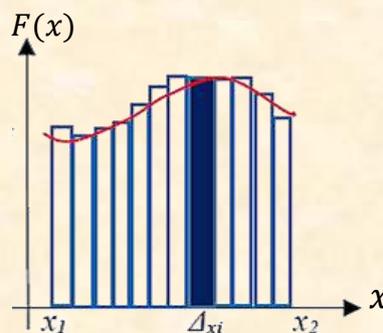


Figura 2: Trabalho de uma força variável.

Fonte: Própria autoria, 2021

Pode-se observar que na figura 8 a força varia no decorrer do deslocamento do objeto. A curva $F(x) \times d$ foi dividida em pequenas áreas, tornando a força aproximadamente constante em cada região.

Sendo assim, o trabalho da força F variável é determinado pela somatória da área de todos os retângulos.

$$W = \sum F_x \Delta x_i . \quad (11)$$

Com o limite de Δx_i tendendo a zero, temos:

$$W = \lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} \sum F_x \Delta x_i = \int_{x_1}^{x_2} F_x dx . \quad (12)$$

Para o caso de um objeto que se move nas 3 direções, $\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}$, devido à ação da força \vec{F} , podemos escrever o trabalho realizado por esta força como:

$$W = \int_{r_1}^{r_2} \vec{F} \cdot d\vec{r} . \quad (13)$$

2.4 Trabalho de Uma Força Conservativa

Considere a figura 3 onde um objeto se desloca em uma curva do ponto inicial (A) até o ponto final (B) devido à ação da força aplicada sobre a mesma.

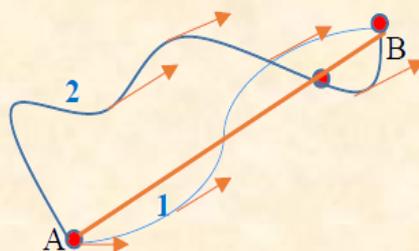


Figura 3: Deslocamento de um objeto sob ação de forças conservativas.

Fonte: Própria autoria, 2021

Porém, existem infinitas formas do objeto se deslocar do ponto A até o ponto B quando adotada uma trajetória curva. O vetor deslocamento infinitesimal é sempre tangente à curva e no sentido do deslocamento do objeto. Entretanto, o trabalho realizado pela força que faz com que o objeto se mova de um ponto inicial até um ponto final, não depende do caminho, mas apenas das posições A e B.

Portanto, essa força é dita como conservativa pois o trabalho W realizado pelo objeto que se desloca pela curva 1 é o mesmo trabalho realizado pelo objeto que se desloca pela curva 2:

$$W_{A \rightarrow B, 1} = W_{A \rightarrow B, 2} . \quad (14)$$

Se a força permanecer constante e o sentido do caminho 2 percorrido for invertido, o sinal do trabalho muda:

$$W_{A \rightarrow B, 2} = -W_{B \rightarrow A, 2} . \quad (15)$$

Ou seja,

$$W_{A \rightarrow B, 1} = -W_{B \rightarrow A, 2} . \quad (16)$$

Vamos considerar que o objeto sai de um ponto A e chega ao ponto B através do caminho 1 e retorna para o ponto de partida A através da curva correspondente ao caminho 2, conforme mostrado na figura 4.

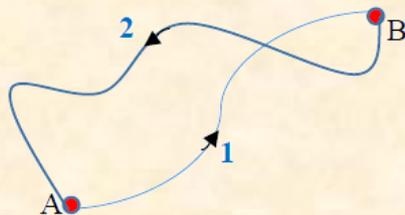


Figura 4: O trabalho total de uma força conservativa em um caminho fechado é sempre nulo.

Fonte: Própria autoria, 2021.

A equação do trabalho total (W_T) pode ser escrita como:

$$W_{A \rightarrow B, 1} + W_{B \rightarrow A, 2} = 0, \quad (17)$$

onde pode-se notar que o trabalho total realizado pela força sobre o objeto no percurso de ida e volta é nulo. Halliday (p. 182) ressalta que: “O trabalho total realizado por uma força conservativa sobre um objeto que se move ao longo de qualquer percurso fechado é nulo”.

2.5 Energia Potencial

O conceito de energia potencial U é de suma importância para compreensão de várias áreas da Física, inclusive na mecânica quântica. A energia potencial é uma função das coordenadas x, y, z , cuja posição é relativa à posição de um objeto em relação à outros objetos que interagem.

A energia potencial U é qualquer energia que pode ser associada a alguma configuração de um sistema de corpos que exercem forças um sobre os outros.

A integral de linha de uma força conservativa depende apenas dos pontos inicial \vec{r}_0 e final \vec{r} da função $U(r)$ conforme descrito na equação (18).

$$U(r) = - \int_{\vec{r}_0}^{\vec{r}} \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}. \quad (18)$$

Portanto, ao considerar $\vec{r}_0 = \vec{r}$ tem-se: $U(\vec{r}) = 0$.

A equação (18) também pode ser reescrita em função do trabalho realizado pela força entre dois pontos quaisquer.

$$U(r) = -W_{\vec{r}_0 - \vec{r}} . \quad (19)$$

Agora, iremos determinar o trabalho de uma força considerando o deslocamento do objeto entre dois pontos diferentes da origem da trajetória. Para isso, vamos adotar os pontos \vec{r}_1 e \vec{r}_2 .

$$W_{\vec{r}_0-\vec{r}_2} = W_{\vec{r}_0-\vec{r}_1} + W_{\vec{r}_1-\vec{r}_2} . \quad (20)$$

Reorganizando a equação (20), temos:

$$W_{\vec{r}_1-\vec{r}_2} = W_{\vec{r}_0-\vec{r}_2} - W_{\vec{r}_0-\vec{r}_1} . \quad (21)$$

Substituindo a equação (19) em (20), o trabalho de uma força conservativa entre dois pontos hipotéticos pode ser determinado por:

$$W_{\vec{r}_1-\vec{r}_2} = -U(r_2) + U(r_1) \quad (22)$$

Podemos reescrever a equação (22) em termos da variação da energia potencial, daí fica:

$$W = -\Delta U \quad (23)$$

Substituindo a equação (13) em (23) temos:

$$\Delta U = - \int_{r_1}^{r_2} \vec{F} \cdot d\vec{r} \quad (24)$$

Portanto, a partir da variação da energia potencial podemos determinar pela função $-U(r_2)$ sua intensidade em qualquer ponto arbitrário.

A seguir será apresentado a relação do trabalho com duas energias potenciais conservativas: a Gravitacional e a Elástica.

2.5.1 Trabalho e Energia Potencial Gravitacional

Considerando um corpo que se desloca devido à força gravitacional a uma altura h do nível de referência (Fig. 5). Durante a queda, o trabalho W realizado sobre o corpo pela força gravitacional é positivo e a energia potencial do sistema corpo-Terra é convertida em energia cinética do corpo.

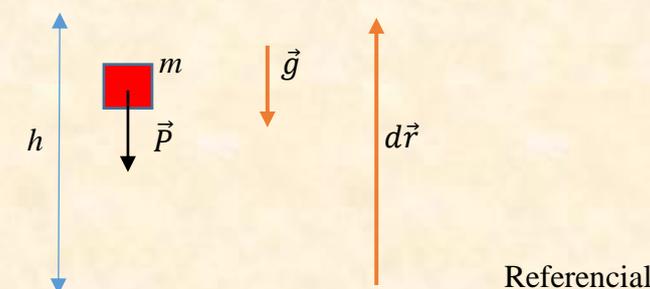


Figura 5: Objeto em queda livre. **Fonte:** Própria autoria

Por definição, nos deslocamentos de descida e subida sofridos pelo corpo, a variação da energia potencial gravitacional ΔU , pode ser dada por:

$$\Delta U = -W. \quad (25)$$

Substituindo o trabalho W pela equação 13, temos:

$$\Delta U = - \int_{r_i}^{r_f} \vec{F} \cdot d\vec{r}. \quad (26)$$

A força gravitacional \vec{F} realiza trabalho sobre esse objeto quando ela se move verticalmente ao longo do eixo y de um ponto inicial y_i para um ponto final y_f .

Com o objetivo de determinar a variação da energia potencial gravitacional do sistema objeto-Terra, será adotada a equação 26, porém os limites de integração serão referentes ao eixo y , uma vez que se trata de um deslocamento em queda livre devido à ação da força gravitacional F (sentido negativo do eixo y):

$$\Delta U = - \int_{y_i}^{y_f} F dr \cos\phi. \quad (27)$$

Como se trata de deslocamento em queda livre, o módulo da força F pode ser escrita como mg , o módulo do deslocamento dr pode ser escrito como dy e o ângulo ϕ entre \vec{F} e $d\vec{r}$ é 180° . Portanto,

$$\Delta U = - \int_{y_i}^{y_f} (-mg) dy. \quad (28)$$

Com massa m , aceleração gravitacional g constantes e integrando em y , temos:

$$\Delta U = mg\Delta y, \quad (29)$$

onde Δy é a variação de posição vertical sofrida pelo corpo.

Considerando que a energia potencial gravitacional seja $U_i = 0$ em $y_i = 0$, teremos:

$$U(y) = mgy. \quad (30)$$

Halliday (p. 187) ressalta que: “A energia potencial gravitacional associada a um sistema objeto-Terra depende apenas da posição vertical y (ou altura) do objeto em relação à posição de referência $y = 0$, e não da posição horizontal”.

2.5.2 Trabalho e Energia Potencial Elástica

Considerando um sistema massa-mola representado na figura 6, no qual o bloco se desloca do ponto A ao ponto B, conectado por uma mola ideal de constante elástica k .

No decorrer do deslocamento, a força elástica F realiza trabalho W sobre o bloco variando a intensidade de energia potencial elástica no sistema.

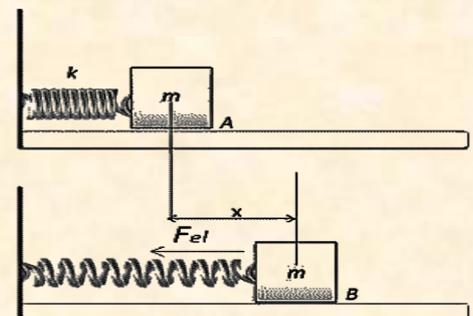


Figura 6: Sistema massa-mola. **Fonte:** <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/energia-potencial-gravitacional-elastica.htm> (adaptada)

Pela Lei de Hooke, sabe-se que:

$$F(x) = -kx. \quad (31)$$

Substituindo o módulo da força F por kx , o módulo do deslocamento dr por dx e o ângulo ϕ entre \vec{F} e $d\vec{r}$ é 180° na eq. (27), obtemos:

$$\Delta U = k \int_{x_i}^{x_f} (x) dx. \quad (32)$$

A variação da energia potencial elástica em um sistema massa-mola é:

$$\Delta U = k \frac{x_f^2}{2} - k \frac{x_i^2}{2}. \quad (33)$$

No caso de $x_i = 0$, a energia potencial elástica do sistema massa-mola na posição $x_f = x$ é:

$$U(x) = k \frac{x^2}{2} \quad (34)$$

2.6 Conservação da Energia Mecânica

Sabendo que a variação da energia cinética é igual ao trabalho e que a variação de energia potencial é igual ao negativo do trabalho, vamos substituir ΔU da equação (7) na equação (25). Dessa forma, obtemos:

$$\Delta K = -\Delta U. \quad (35)$$

Sendo $\Delta K = K_f - K_i$ e $\Delta U = U_f - U_i$, tem-se:

$$K_f + U_f = K_i + U_i. \quad (36)$$

Considerando que o sistema esteja isolado da ação de forças externas, as trocas entre as energias cinética e potencial permanece constante, ou seja, a energia mecânica final é igual a energia mecânica inicial de um sistema isolado.

Segundo Halliday (pg. 188) “Em um sistema isolado, onde apenas forças conservativas causam variações de energia, a energia cinética e a energia potencial podem variar, mas sua soma, a energia mecânica E_{mec} do sistema, não pode variar”.

O Princípio da Conservação de Energia Mecânica pode ser escrito na forma:

$$\Delta E_{mec} = \Delta k + \Delta U = 0. \quad (37)$$

O Princípio da Conservação de Energia Mecânica é de suma importância na resolução de problemas envolvendo forças conservativas, pois nos permite determinar a intensidade das energias

cinética e potencial em um sistema isolado sem ser necessário calcular o trabalho realizado pelas forças envolvidas.

2.7 Trabalho de Uma Força Não Conservativa

Seja uma força \vec{F} que atua sobre um objeto de massa m que se desloca sobre uma superfície horizontal com atrito, como mostra a Fig. 7 a seguir:

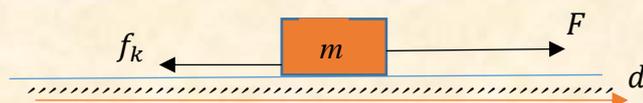


Figura 7: Força de atrito em um plano horizontal.
Fonte: Própria autoria, 2021

Pode-se observar que a força de atrito f_k sempre atua no sentido oposto ao movimento do objeto. O módulo da força de atrito cinético é dado por:

$$f_k = \mu_k N , \quad (38)$$

onde N é a força normal e μ_c representa o coeficiente de atrito cinético, cujo valor é característico da superfície de contato com o objeto.

Aplicando a Segunda Lei de Newton ao sistema mostrado na figura 14, obtemos:

$$F_{R,x} = ma_x , \quad (39)$$

onde $F_{R,x}$ é a força resultante que atua na direção x e a_x é aceleração adquirida pelo objeto ao se mover ao longo da direção x .

Como as forças representadas na figura anterior agem na direção do eixo x e em sentidos opostos, podemos substituí-las na equação (39):

$$F - f_k = ma . \quad (40)$$

Devido às forças F e f_k serem constantes, a aceleração a também será constante. Assim, podemos utilizar a equação de *Torricelli*, $v^2 - v_0^2 = 2ad$, para substituir o valor de a na equação (40) e assim obtemos:

$$Fd = \Delta K + f_k d . \quad (41)$$

Mas se for considerado que o objeto representada na Fig. 7 esteja se deslocando sobre uma rampa de ângulo α com a horizontal, teremos variação de energia potencial gravitacional conforme mostra a Fig. 8 abaixo.

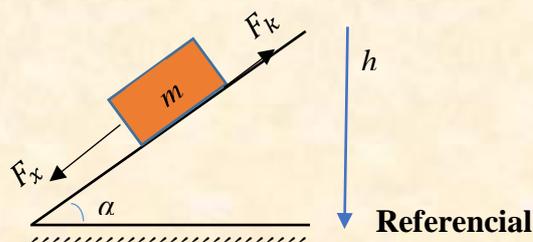


Figura 8: Força de atrito em um plano inclinado.

Fonte: Própria autoria, 2021

Levando em conta a variação da energia potencial gravitacional, a equação (41) pode ser reescrita para o movimento de um objeto em um plano inclinado:

$$Fd = \Delta E_{mec} + f_k d. \quad (42)$$

Durante o deslizamento, tanto o objeto como a superfície de contato se aquecem devido à energia térmica E_t .

Segundo Halliday (2008, p. 195) “Experimentalmente, observa-se que o aumento da energia térmica ΔE_t é igual ao produto do módulo da força de atrito cinético, f_k , por d , o módulo do deslocamento” tal que:

$$\Delta E_t = f_k d. \quad (43)$$

Sendo $Fd = W$, podemos reescrever a eq. (42) da seguinte forma:

$$W = \Delta E_{mec} + \Delta E_t. \quad (44)$$

“Quando uma força de atrito cinético age dentro do sistema, a energia térmica E_t do sistema varia.” (Halliday, 2008, pg. 195).

CAPÍTULO 3 – Metodologia

3.1 Metodologia Baseada na AS e nos 3MP

Através de observações realizadas quanto às dificuldades em sala de aula referentes à compreensão de conteúdos estudados durante o 1º ano do Ensino Médio, alternativas foram pensadas quanto ao processo de ensino-aprendizagem. A partir de estudos e experiências anteriores na docência, partiu-se para a elaboração de uma sequência didática baseada nos 3MP (Três Momentos Pedagógicos) proposta inicialmente por Delizoicov e Angotti (1992) e na Aprendizagem Significativa estabelecida por Ausubel. A seguir, na tabela 1 está descrita as ações que contemplarão os 3MP na sequência didática.

Tabela: Ações para abordagem dos 3MP na Sequência didática

Fases dos 3MP	Ação	Etapa
Problematização inicial	Aplicação do questionário para verificação dos conhecimentos prévios	I
	Será apresentado um vídeo com duração de 1 min (sem áudio) para recordação dos tipos de energia	II
	Discussão sobre os tipos de energia descritos no vídeo para identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes	
	Interrogar os estudantes a responder algumas perguntas como: <i>O que é energia?</i> <i>Quais os tipos de energia você identificou nas imagens do vídeo?</i>	II, III, IV e V
Organização do conhecimento	Retomar brevemente os tipos de energia	IV e V
	Resolução de exemplos sobre Energia Potencial Gravitacional, Potencial Elástica e Cinética	IV
	Resolução de exemplos sobre o Princípio da Conservação da Energia Mecânica em sistemas ideais e não ideais	IV e V
Aplicação do conhecimento	Coleta de dados necessários para resolução dos roteiros	VI
	Aplicação do questionário para verificação do conhecimento após o desenvolvimento das atividades da sequência didática	VII

A metodologia de ensino adotada constitui na possibilidade de estabelecer em sala de aula uma dinâmica dialógica, a organização sistemática do conhecimento e aplicações do mesmo, possibilitando a construção do conhecimento dos estudantes.

Portanto, para contemplar as ideias já desenvolvidas, buscou-se a elaboração de uma sequência didática, onde a representação dos conhecimentos não fosse isolada e distante das situações-problema do cotidiano dos alunos.

3.2 Sequência Didática Baseada nos 3MP e na AS

Segundo Ausubel (1982), para que ocorra a aprendizagem significativa, o professor deve adotar condições essenciais, averiguando os conhecimentos prévios dos alunos e ensinando-os a partir destes. Outra condição de atuação está na utilização de material significativo, que esteja relacionado com a estrutura cognitiva do aluno de maneira não literal e não arbitrária, evitando a memorização, o que levará à aprendizagem mecânica.

De acordo com Delizoicov e Angotti (1994), as aulas práticas são de fundamental importância na organização do conhecimento do aluno, onde o professor deve utilizar das mais variadas técnicas, envolvendo atividades, valorizando a utilização de diversos recursos, como as experiências.

“As experiências despertam em geral um grande interesse nos alunos, além de propiciar uma situação de investigação. Quando planejadas levando em conta estes fatores, elas constituem momentos particularmente ricos no processo de ensino-aprendizagem.” (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1994, p. 22).

As aulas de prática experimental são capazes de instigar o interesse e curiosidade dos estudantes, permitindo-o que faça parte no processo de investigação. Para Carvalho o estudante deve sair da postura passiva e participar do processo de construção do conhecimento como sujeito principal, aperfeiçoando os conhecimentos científicos.

“Utilizar atividades investigativas como ponto de partida para desenvolver a compreensão de conceitos é uma forma de levar o aluno a participar de seu processo de ensino aprendizagem, sair de uma postura passiva e começar a perceber e a agir sobre o seu objeto de estudo, relacionando o objeto com acontecimentos e buscando a causa dessa relação, procurando, portando, uma explicação causal para o resultado de suas ações e/ou interações. “ (CARVALHO, 2004, p.22).

Segundo os autores citados, a experimentação no ensino de ciências é capaz de problematizar, investigar e contextualizar o conhecimento. Diante da fundamentação teórica, se faz necessário a utilização de aulas práticas no ensino de Física como instrumento auxiliar no processo da construção do conhecimento científico.

A sequência didática proposta pode ser aplicada no decorrer de oito a nove horas/aulas de 50 min cada. Assim, foi desenvolvida atividades demonstrativas, servindo como elo de ligação entre o que os alunos já conheciam previamente e o que eles precisavam saber para aprender o novo conhecimento. No desenvolvimento desta proposta, os estudantes terão contato direto com os experimentos, conhecendo-os e coletando dados. Posteriormente, os conceitos de energia serão trabalhados de forma teórica. A avaliação será realizada através de questionários aplicados com objetivo de averiguar as pré-concepções dos alunos e o conhecimento desenvolvido após a aplicação da proposta. A importância do estudo de Mecânica em sala de aula emerge-se pela frequência na qual esses conceitos estão presentes em diversos fenômenos e tipos de linguagem do cotidiano. Esta abordagem é justificada pela necessidade inicial do aluno para construção de conceitos essenciais, como o de massa, velocidade e posição. O cronograma a seguir expõe as atividades a ser desenvolvidas no decorrer da realização desta proposta.

3.3 Cronograma da Sequência Didática

Antes da realização das atividades experimentais, será aplicado um questionário aos estudantes, a fim de verificar seus conhecimentos prévios sobre o tema energia. Serão abordados conceitos físicos relacionados ao cotidiano¹, facilitando, assim, o processo de ensino-aprendizagem e,

¹ Desprezando os efeitos do atrito viscoso.

consequentemente, potencializando as interações professor-aluno. Os resultados obtidos serão averiguados durante o desenvolvimento das atividades práticas e teóricas.

Quadro: Cronograma do Desenvolvimento da Sequência Didática

Etapas	Atividade	Descrição	Produção	Finalidade	Duração	Aulas
I	Atividade Teórica e vídeo	Aplicação do questionário	-	Verificação dos conhecimentos prévios	50 min.	2
II	Aula Expositiva dialogada	Passar o vídeo e apresentar as principais fontes de energia	-	Averiguar o senso comum na utilização da palavra energia	20 min.	
III	Aula Expositiva dialogada	Apresentar os tipos mais comuns de energia	Os alunos citarão exemplos dos tipos de energia	Instigar os alunos a expor seus conhecimentos prévios	30 min.	
IV	Aula Expositiva dialogada	Apresentar o Princípio da Conservação de Energia Mecânica	-	Instigar os alunos a expor seus conhecimentos prévios	100 min.	2
V	Aula expositiva dialogada	Energia Mecânica em sistemas com atrito	Discussão sobre a validade do Princípio	Reorganizar o conceito energia	100 min.	2
VI	Aula prática	Vídeo com demonstração e coleta de dados dos três experimentos	Resolução dos roteiros	Comprovar o Princípio da conservação de energia mecânica	100 min.	2
VII	Atividade Teórica	Reaplicação do questionário	-	Verificação da validade da metodologia	50 min.	1

CAPÍTULO 4 - Referências

AUSUBEL, D. P. **The Acquisition and Retention of Knowledge: A Cognitive View**. 1. Ed. New York: Springer Science + Business Media Dordrecht, 2000.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia Educacional*. Trad. Eva Nick e outros. 2. Ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**, Lei no 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Brasília: MEC/Semtec, 1996.

_____. **PCN+ ensino médio**: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Vol. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2002.

_____. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: ensino médio. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 1999. 364 p.

_____. **Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006. 135 p. (Orientações curriculares para o ensino médio; volume 2).

CARVALHO, A.M.P. **Ensino de ciências**: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Ed. Pioneira Thomson Learning Ltda. 2004.

DELIZOICOV, D. “O Ensino de Física e a Concepção Freiriana da Educação.” In: Revista de Ensino de Física, São Paulo, vol.5, nº2, dez/1983.

DELIZOICOV, D. ; ANGOTTI, J. A. P. **Física**. São Paulo: Cortez, 1992.

_____. **Metodologia do Ensino de Ciência**. São Paulo: Cortez, 1994.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia**: Saberes necessários à prática educativa. 25ª Ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

_____. **Pedagogia do Oprimido**. 17ª Ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

MOREIRA, M.A; MASINI, E. F. S. **APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: A TEORIA DE DAVID AUSUBEL**. São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA, M.A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

_____. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula.** Brasília: UNB, 2006.

_____. **Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS.** Aprendizagem Significativa em Revista, Porto Alegre, v.1, n.2, , p. 43-63, Maio/Agos. 2011. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf. Acesso em: 05/01/2021.

PELIZZARI, A; KRIEGL, M. L; BARON, M. P; FINCK, N. T. L; DOROCINSKI, S. I. **Teoria da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel.** Disponível em: portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf. Acesso em: 28 de Janeiro de 2021.

SOUZA, L.S; CARVALHO, A.M.P. **Ensino de Ciências e Formação da Autonomia Moral.** Anais do IX EPEF- Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2004. Jaboticatubas - MG. São Paulo: SBF 2004.

VILLANI, A; PACCA, J.L.A; KISHINAMI, R.I; HOSOUME, Y. **Analisando o Ensino de Física:** Contribuições de pesquisas com enfoques diferente. Revista Brasileira de Ensino de Física- s, vol. 4, nº1, 1982.

[Tradutor] **Cambridge Dictionary.** Disponível em: <<https://dictionary.cambridge.org/pt/translate/>>. Acesso em: 25 jul. 2021.

Depositphotos. Disponível em: <<https://br.depositphotos.com/stock-photos/cabe%C3%A7a-engrenagens.html?qview=10534579>>. Acesso em: 10 dez. 2020.

Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/energia-potencial-gravitacional-elastica.htm>>. Acesso em: 07 dez. 2020.

APÊNDICE A: Questionário

Obs: Deixo essa sugestão de atividade que poderá ser respondida antes e depois das intervenções.

1. Das coisas a sua volta, quais, em sua opinião, estão mais diretamente relacionadas com a energia?

2. Que formas de energia você conhece ou já ouviu falar?

3. Como a energia elétrica é gerada? Dê algum exemplo e explique como ela é produzida.

4. Por que é importante economizar energia?

5. Você já andou de montanha russa? Por que o carrinho não cai quando faz o *Looping*?



Figura 1: Pessoas contornando o looping da montanha russa.

Fonte: https://www.gva.be/cnt/dmf20190525_04423743

(Adaptada).

6. Em um parque, uma menina deseja escolher um dos escorregadores (sem atrito), mostrados na figura abaixo, de modo que consiga atingir a maior velocidade possível ao chegar na parte inferior do escorregador. Qual dos escorregadores ela deve escolher e por quê?

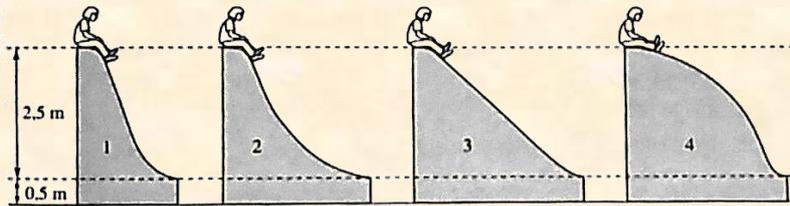


Figura 2: Menina descendo o escorregador.

Fonte: Peer Instruction - A Revolução da Aprendizagem Ativa, 2015

7. Um skatista executa movimentos de subida e descida em uma pista de skate circular. Para iniciar seu movimento ele precisa descer a pista do ponto A ou C. Com base nisso, responda o que se pede.

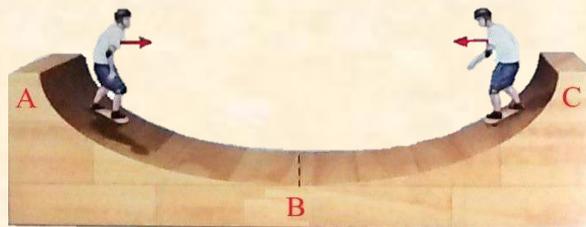


Figura 3: Movimento em uma pista de skate.

Fonte: Física Para Universitários – Mecânica, 2012

- a) Em que ponto (A, B ou C) a velocidade do skatista é máxima? Explique.

- b) Em algum ponto da pista (A, B ou C) a velocidade do skatista é nula? Explique.

- c) Que tipos de energia estão presentes no movimento deste skatista?

8. Duas bolas de sinuca idênticas (A e B) são soltas da mesma altura e ao mesmo tempo. Elas deslizam sobre pistas distintas sem atrito, conforme mostra a figura abaixo.

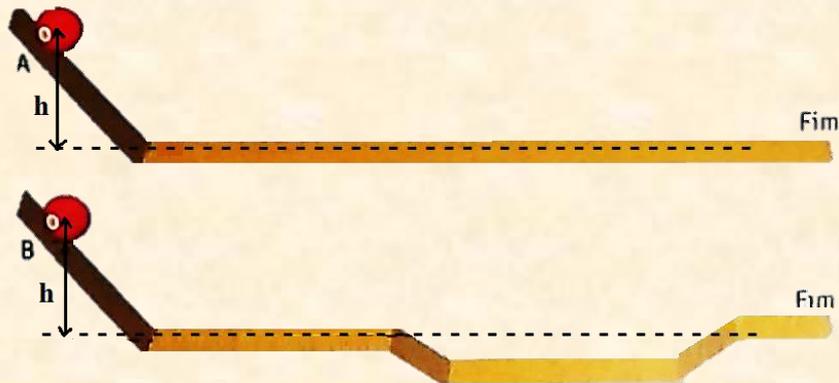


Figura 4: Bola de sinuca deslizando em pistas diferentes.

Fonte: Física para Universitários – Mecânica, 2012

- a) Qual bola tem maior velocidade no fim da pista? Explique sua resposta.

- b) Qual bola chegará primeiro ao fim? Explique sua resposta.

Referências

MAZUR, Eric. **Peer Instruction: A Revolução da Aprendizagem Ativa**. Tradução de Anatólio Laschuk. Porto Alegre: Penso, 2015.

BAUER, Wolfgang; WESTFALL, Gary D.; DIAS, Helio. **Física Para Universitários: Mecânica**. Tradução de Iuri Duquia Abreu e Manuel Almeida Andrade Neto. São Paulo: AMGH, 2012

Link A: Vídeo Pense de Novo – Energia e Novas Tecnologias

https://www.youtube.com/watch?v=iFbsv_k2X6M

Obs: A sugestão é após a aplicação do questionário, passar o vídeo (com áudio desligado).

APÊNDICE B: Sugestão de Gabarito do Questionário

1. Das coisas a sua volta, quais, em sua opinião, estão mais diretamente relacionadas com a energia?

Gabarito: Funcionamento de aparelhos eletrodomésticos e eletrônicos, pilha, luz solar e das lâmpadas, alimentos.

2. Que formas de energia você conhece ou já ouviu falar?

Gabarito: Eólica, magnética, elétrica, hidráulica, nuclear, térmica, luminosa, química, térmica, cinética, potencial, mecânica.

3. Como a energia elétrica é gerada? Dê algum exemplo e explique como ela é produzida.

Gabarito: A energia elétrica pode ser gerada proveniente de diversas fontes. Alguns exemplos são:

- Usina eólica: o vento provoca movimento das pás do aerogerador. A energia mecânica devido ao movimento das pás é transportada para o gerador, que a transforma em energia elétrica.
- Usina solar: as placas semicondutoras se aquecem devido à luz solar. Então os elétrons presentes na placa entram em movimento, produzindo energia elétrica.
- Usina termelétrica: é proveniente da queima de carvão que aquece certa quantidade de água em uma caldeira. Ao aquecer, a água sofre aumento de pressão e muda de fase. Este vapor faz com que as pás das turbinas se movem. Neste tipo de produção de energia elétrica também existe o gerador, que transforma a energia mecânica em energia elétrica.
- Usina hidrelétrica: esse tipo de usina é a mais comum no Brasil. Ela é gerada a partir da queda d'água represada em um rio. O deslocamento da água sofre diminuição na intensidade de energia potencial gravitacional ao aumentar sua velocidade durante a queda. Então, a água chega com grande velocidade nas turbinas, fazendo-as girar. Por fim, o gerador que é um equipamento interligado às turbinas, transforma a energia mecânica em energia elétrica.
- Usina nuclear: sua produção é devido à fissão nuclear do urânio. Nesse processo, o núcleo dos átomos do elemento urânio sofrem divisão, liberando energia. Essa energia é utilizada para aquecer a água contida em uma caldeira que será transformada em vapor para movimentar a turbina e gerar energia elétrica.

4. Por que é importante economizar energia?

Gabarito: Economizar financeiramente e preservar o meio ambiente.

5. Você já andou de montanha russa? Por que o carrinho não cai quando faz o *Looping*?

Gabarito: Sim ou Não.

Porque o carrinho possui a velocidade maior do que a velocidade mínima necessária para executar o movimento circular completo. Neste caso, a força peso e a força normal atuam como uma força centrípeta no *looping* garantindo que o carrinho percorra o *looping* sem cair.



Figura 1: Pessoas contornando o looping da montanha russa. **Fonte:** https://www.gva.be/cnt/dmf20190525_04423743 (Adaptada).

6. Em um parque, uma menina deseja escolher um dos escorregadores (sem atrito), mostrados na figura abaixo, de modo que consiga atingir a maior velocidade possível ao chegar na parte inferior do escorregador. Qual dos escorregadores ela deve escolher e por quê?

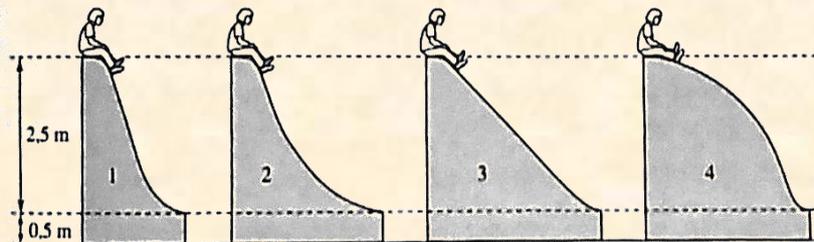


Figura 2: Menina descendo o escorregador.

Fonte: Peer Instruction - A Revolução da Aprendizagem Ativa, 2015)

Como não existe atrito, qualquer escorregador que a menina escolher ela vai conseguir chegar na parte inferior com a mesma velocidade, pois todos possuem a mesma altura em relação ao ponto de referência.

7. Um skatista executa movimentos de subida e descida em uma pista de skate circular. Para iniciar seu movimento ele precisa descer a pista do ponto A ou C. Com base nisso, responda o que se pede.

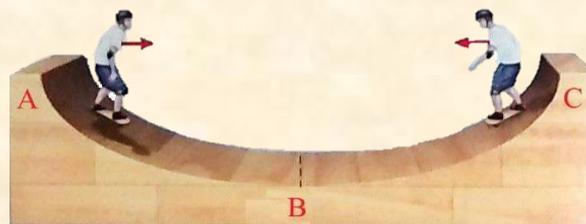


Figura 3: Movimento em uma pista de skate.

Fonte: Física Para Universitários – Mecânica, 2012)

- a) Em que ponto (A, B ou C) a velocidade do skatista é máxima? Explique.

O skatista terá maior velocidade no ponto B porque toda energia potencial gravitacional será convertida em energia cinética neste ponto.

b) Em algum ponto da pista (A, B ou C) a velocidade do skatista é nula? Explique.

Nos pontos A ou C. Considerando que o skatista saiu do ponto A, sua velocidade será nula nesse ponto porque inicia seu movimento a partir do repouso e também será nula em C porque ele precisa instantaneamente parar seu movimento para inverter o sentido.

b) Que tipos de energia estão presentes no movimento deste skatista?

Nos pontos A e B está presente somente a energia potencial gravitacional. Já no ponto B o skatista atinge a máxima energia cinética. Entre os pontos AB e BC ele possui energia potencial gravitacional e energia cinética.

Idealização × Cotidiano

Nesta questão idealizamos o movimento do sistema skate-skatista, isto é, desconsideramos qualquer tipo de atrito, inclusive a resistência do ar e o movimento de rotação. Porém, em um sistema real o centro de massa do skatista provocado pela variação do raio de sua trajetória devido à flexão de suas pernas nos pontos A e C deve ser considerado já que é realizado trabalho interno fazendo com que o sistema aumente sua energia cinética.

8. Duas bolas de sinuca idênticas (A e B) são soltas da mesma altura e ao mesmo tempo. Elas deslizam sobre pistas distintas sem atrito, conforme mostra a figura abaixo.

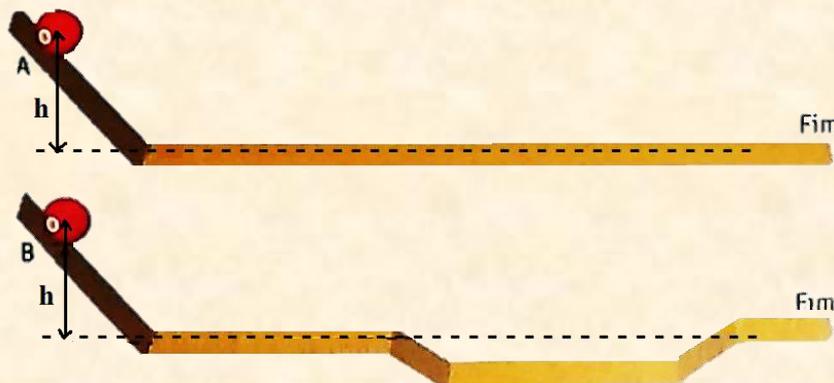


Figura 4: Bola de sinuca deslizando em pistas distintas.

Fonte: Física Para Universitários – Mecânica, 2012)

a) Qual bola tem maior velocidade no fim da pista? Explique sua resposta.

As duas bolas chegam no fim da pista com a mesma velocidade porque elas são soltas da mesma altura e a energia mecânica se conserva pois não há atrito. No início da pista, as bolas A e B possuem apenas energia potencial gravitacional e no final da pista, elas possuem apenas energia cinética. Toda energia potencial gravitacional será transformada em energia cinética e, portanto, as bolas A e B chegam com a mesma velocidade no final da pista.

b) Qual bola chegará primeiro ao fim? Explique sua resposta.

Apesar das bolas A e B possuírem a mesma velocidade no início e no final da pista, a bola B terá uma maior velocidade sobre a seção mais baixa da pista porque está acelerada. Assim, a bola B chegará primeiro, pois o tempo de deslocamento será menor do que o tempo gasto pela bola A na pista retilínea.

Obs: Sugestão de um vídeo com explicação da questão (8), disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=i5GVaNMPils>

Referências

MAZUR, Eric. **Peer Instruction**: A Revolução da Aprendizagem Ativa. Tradução de Anatólio Laschuk. Porto Alegre: Penso, 2015.

BAUER, Wolfgang; WESTFALL, Gary D.; DIAS, Helio. **Física Para Universitários**: Mecânica. Tradução de Iuri Duquia Abreu e Manuel Almeida Andrade Neto. São Paulo: AMGH, 2012

BOLINHAS QUE ROLAM, quem chegará primeiro? **YouTube**, 21 de jan. de 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=i5GVaNMPils>>. Acesso em: 23 de set. de 2021.

Link B: Aula com apresentação sobre os principais tipos de energia, energia mecânica e sua conservação.

https://drive.google.com/file/d/1TUIXqTf40D0riuH_4IcOmV2E3heBbBGE/view?usp=sharing

APÊNDICE C: Atividade Experimental Sobre a Verificação do Princípio da Conservação de Energia Mecânica Através do *Looping*

Introdução

Este experimento tem como objetivo conceituar a energia mecânica, tendo como tema gerador o *Looping*. A palavra *Looping* é de origem inglesa e significa movimentos circulares em forma de laço, realizados em plano vertical. Neste roteiro é proposto a verificação do Princípio da Conservação de Energia através do movimento de uma bola de gude no *Looping*.

Talvez já tenha ouvido a palavra energia em diversos fenômenos e tipos de linguagem do cotidiano. Mas será que isso está correto? Emerge, assim, a necessidade de abordar a energia em seus significados físicos, como o princípio de conservação, suas formas e os processos de transformação da mesma.

Para desenvolver esse experimento, vamos considerar a seguinte situação: Num parque de diversões é comum a presença de filas de espera para dar uma volta nas montanhas russas. Mas por que esse movimento que parece desafiar as leis da natureza chama tanto nossa atenção?

Neste experimento, você vai descobrir por que não caímos do carrinho no momento em que percorremos o *looping* (volta de 360°), já que ele não é motorizado. Também vai descobrir se existe uma velocidade mínima que o carrinho deve ter para mantê-lo no trilho e sua relação quanto à altura da montanha russa.

Considere a trajetória do objeto na figura 1:

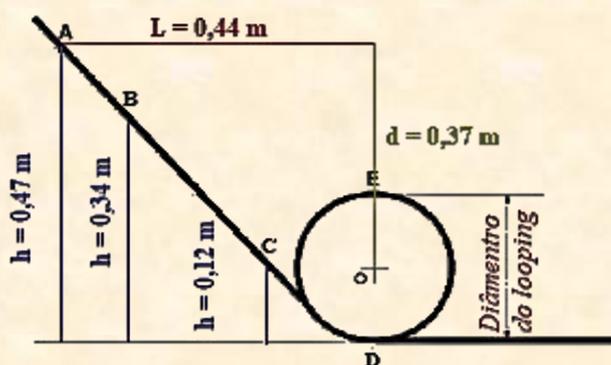


Figura 1: *Looping*. Fonte: Própria autoria.

No ponto mais alto (A) da trajetória da montanha russa, a energia mecânica do carrinho se resume somente à energia potencial gravitacional, pois ainda está em repouso.

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Após o lançamento, o carrinho ganha velocidade e passa pelos pontos B e C, prestes a percorrer o *looping*; transformando totalmente sua energia potencial gravitacional em energia cinética no ponto D.

$$E_c = \frac{m.v^2}{2} \quad (2)$$

Ao passar por um ponto entre D e E, o carrinho diminui sua velocidade, transformando parte da energia cinética em energia potencial gravitacional.

$$E_m = E_{pg} + E_c \quad (3)$$

No ponto E os passageiros ficam de cabeça para baixo. A força resultante que age sobre o carrinho é uma força centrípeta que aponta para o centro em uma trajetória circular:

$$F_c = N + P \quad (4)$$

A força Peso e a força Normal atuam como força centrípeta que age sobre o carrinho, conforme mostrado na figura 2.

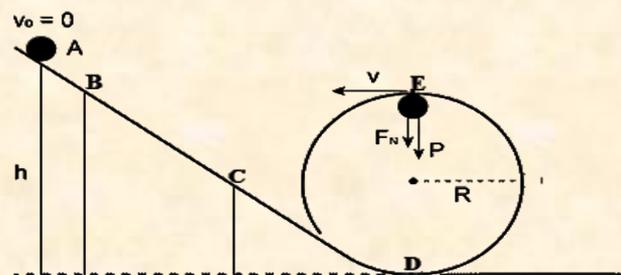


Figura 2: Forças que agem no movimento do *looping*

Fonte: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2016/10/enem-2016.html> (Adaptada)

Após o carrinho passar por um ponto entre D e E, sua velocidade começa a diminuir. A redução da velocidade no decorrer do percurso causa uma diminuição na intensidade da força normal devido à menor compressão que o carrinho faz sobre os trilhos. A força normal deve diminuir ao mínimo no ponto E, só para manter o carrinho sobre os trilhos, impedindo-o de ser atraído para o centro da trajetória circular, fazendo-o despencar.

$$F_c \geq P \quad (5)$$

Substituímos as forças P e a força centrípeta na equação (5):

$$P = m \cdot g \quad F_c = \frac{mv^2}{R}$$

A velocidade mínima para que o carrinho complete a volta completa no looping sem cair é dada pela equação (6):

$$v \geq \sqrt{g \cdot R} \quad (6)$$

Para uma velocidade mínima de volta completa em uma trajetória circular, temos também uma altura mínima de lançamento do carrinho nos trilhos da montanha russa, que é definida a partir do Princípio da Conservação da Energia Mecânica, onde:

$$E_{m,f} = E_{m,i} \quad (7)$$

Em todos os pontos da trajetória a Energia Mecânica será a mesma:

$$E_{m,A} = E_{m,B} = E_{m,C} = E_{m,D} = E_{m,E}$$

Logo, podemos adotar dois pontos quaisquer. Neste caso, foram adotados os pontos A e E.

$$E_{m,A} = E_{m,E} \quad (8)$$

Sendo:

$$E_m = E_{pg} + E_c$$

E substituindo na equação (8) fica:

$$E_{c,A} + E_{pg,A} = E_{c,E} + E_{pg,E} \quad (9)$$

Como o carrinho está em repouso no ponto A, sua energia cinética é nula. Então a equação (9) fica:

$$E_{pg,A} = E_{c,E} + E_{pg,E} \quad (10)$$

Segundo as equações das energias potencial gravitacional e cinética, podemos reescrever a equação (10):

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h \quad , \quad E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$(m \cdot g \cdot h)_A = \left(\frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot h \right)_E \quad (11)$$

Simplificando as massas e reescrevendo a equação (11), fica:

$$(g \cdot h)_A = \left(\frac{v^2}{2} + g \cdot h \right)_E \quad (12)$$

Podemos observar que a altura h_E é o próprio diâmetro do looping, dado por duas vezes o raio da trajetória circular:

$$h_E = 2R$$

Substituindo na equação (12) a velocidade no ponto E (v_{\min} para uma volta completa), a altura h_E e simplificando a gravidade g , fica:

$$h_A = \frac{R}{2} + 2R \quad (13)$$

A altura mínima que o carrinho deve ser lançado da montanha russa é dada por:

$$h_A = \frac{5R}{2} \quad (14)$$

A compreensão do Princípio da Conservação de Energia Mecânica é fundamental na resolução de problemas do cotidiano.

Objetivo Geral

Verificar o Princípio da Conservação de Energia Mecânica através do movimento de uma esfera em trajetória circular.

Objetivos Específicos

- Determinar a velocidade mínima para realização do *looping*.
- Determinar a altura mínima para realização do *looping*.
- Calcular a energia potencial gravitacional nos pontos A, D e E do *looping*.
- Calcular a energia cinética nos pontos A, D e E do *looping*.
- Verificar o princípio da Conservação de Energia tomando os pontos A e D e A e E como referência.

Materiais Utilizados

- 01 Mangueira flexível e transparente de 1,2 m de comprimento por 2 mm de diâmetro
- 01 Base de madeira de 100 cm x 10 cm x 2 cm
- 01 Haste milimetrada de madeira (470 mm)
- 01 Esfera tipo rolamento de moto, carro ou bicicleta (corpo deslizante)²
- 02 Parafusos

Procedimento Experimental

Para montar o experimento, você deve fixar a haste de 47 cm, conectando-a com a base de madeira através dos parafusos. Depois fixe a trajetória espiral na parte superior da haste, apoiando-a na base de madeira.

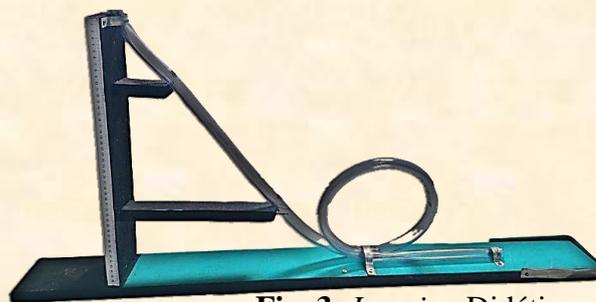


Fig. 3: *Looping* Didático.
Fonte: Própria autoria

² Para que a esfera seja considerada como um ponto material, seu raio deverá ser muito menor que o raio do *looping*. Caso contrário, os conceitos de centro de massa e movimento rotacional da esfera deverão ser considerados.

Faça um pequeno furo na mangueira em duas alturas distintas, sendo uma mais próxima ao topo da haste e outra próxima ao *looping*.

Determinando a velocidade mínima de lançamento da esfera para realização do *Looping*

- a) Meça o diâmetro do laço do *looping*. A partir do diâmetro determine o raio em metros.

$$D = \text{_____} m$$

$$R = \text{_____} m$$

- b) A partir do valor encontrado no item (a) determine a velocidade mínima de lançamento da esfera para realização do *looping*.

$$v_{\text{mín}} = \text{_____} m/s$$

Determinando a altura mínima de lançamento da esfera para realização do *Looping*

- c) Pelo Princípio da Conservação de Energia, determine a altura mínima de lançamento da esfera para realização do *looping*.

$$h_{\text{mín}} = \text{_____} m$$

- d) Solte a esfera do ponto B do *looping* (tome como ponto B uma altura 13 cm menor que h). O que você observou? A esfera consegue completar a volta completa no *looping*? Por que?

- e) Preencha a tabela a seguir, determinando as intensidades das energias potencial gravitacional, cinética e mecânica da esfera nos pontos A, D e E da trajetória.

Tabela: Energia Mecânica em Função da posição da esfera

Ponto da Trajetória	Energia Potencial Gravitacional $E_{pg}(J)$	Energia Cinética $E_c(J)$	Energia Mecânica $E_m(J)$
A			
D			
E			

Obs: Faça os cálculos utilizando $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Verificando o Princípio da Conservação da Energia Mecânica nos pontos AD e AE

- f) A partir dos valores registrados na tabela, houve conservação da energia mecânica nos pontos A e D? Por que?

$$E_{m,A} = E_{m,D}$$

- g) E de A para E, a energia mecânica se conservou? Por que?

$$E_{m,A} = E_{m,E}$$

- h) Você acha que o Princípio da Conservação da Energia Mecânica é válido para quaisquer dois ou mais pontos que tomarmos como referência? Por que?

Conclusão

Referências

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2006. vol 1.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. v. 1.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A.. **Física I: Mecânica**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2008. Tradução de: Sonia Midori Yamamoto; Revisão técnica de: Adir Moysés Luiz.

Link C: Vídeo com demonstração da realização da Atividade Experimental 1

https://drive.google.com/file/d/1XghwHyhjvzOrG-HdOH_BAEr1EUMm_m5h/view?usp=sharing

APÊNDICE D: Sugestão de Gabarito da Atividade Experimental Sobre a Verificação do Princípio da Conservação de Energia Mecânica Através do *Looping*

Introdução

Este experimento tem como objetivo conceituar a energia mecânica, tendo como tema gerador o *Looping*. A palavra *Looping* é de origem inglesa e significa movimentos circulares em forma de laço, realizados em plano vertical.

Neste roteiro é proposto a verificação do Princípio da Conservação de Energia através do movimento de uma bola de gude no *Looping*.

Talvez já tenha ouvido a palavra energia em diversos fenômenos e tipos de linguagem do cotidiano. Mas será que isso está correto? Emerge, assim, a necessidade de abordar a energia em seus significados físicos, como o princípio de conservação, suas formas e os processos de transformação da mesma.

Para desenvolver esse experimento, vamos considerar a seguinte situação:

Num parque de diversões é comum a presença de filas de espera para dar uma volta nas montanhas russas. Mas por que esse movimento que parece desafiar as leis da natureza chama tanto nossa atenção?

Neste experimento, você vai descobrir por que não caímos do carrinho no momento em que percorremos o *looping* (volta de 360°), já que ele não é motorizado. Também vai descobrir se existe uma velocidade mínima que o carrinho deve ter para mantê-lo no trilho e sua relação quanto à altura da montanha russa.

Considere a trajetória do objeto mostrado na figura 1

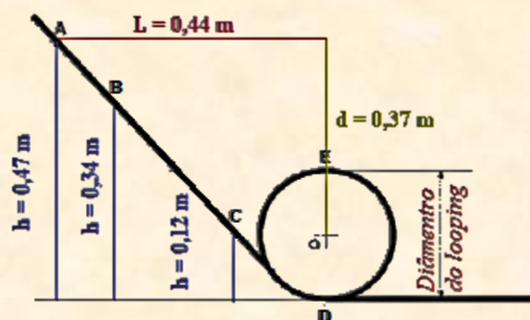


Fig. 1: *Looping*. Fonte: Própria autoria.

No ponto mais alto (A) da trajetória da montanha russa, a energia mecânica do carrinho se resume somente à energia potencial gravitacional, pois ainda está em repouso.

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Após o lançamento, o carrinho ganha velocidade e passa pelos pontos B e C, prestes a percorrer o *looping*; transformando totalmente sua energia potencial gravitacional em energia cinética no ponto D.

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (2)$$

Ao passar por um ponto entre D e E, o carrinho diminui sua velocidade, transformando parte da energia cinética em energia potencial gravitacional.

$$E_m = E_{pg} + E_c \quad (3)$$

No ponto E os passageiros ficam de cabeça para baixo. A força resultante que age sobre o carrinho é uma força centrípeta que aponta para o centro em uma trajetória circular:

$$F_c = N + P \quad (4)$$

A força Peso e a força Normal atuam como força centrípeta que age sobre o carrinho conforme mostrado na figura 2.

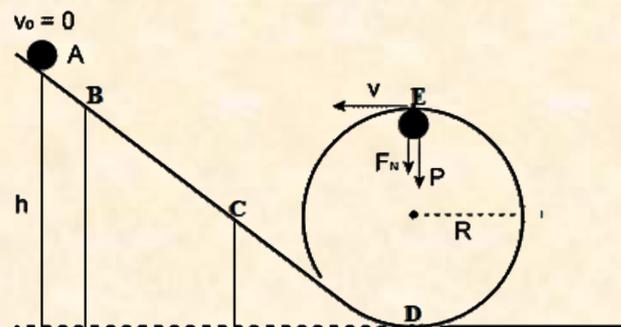


Figura 2: Forças que agem no movimento do *looping*

Fonte: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2016/10/enem-2016.html> (Adaptada)

Após o carrinho passar por um ponto entre D e E, sua velocidade começa a diminuir. A redução da velocidade no decorrer do percurso causa uma diminuição na intensidade da força normal devido à menor compressão que o carrinho faz sobre os trilhos. A força normal deve diminuir ao mínimo no ponto E, só para manter o carrinho sobre os trilhos, impedindo-o de ser atraído para o centro da trajetória circular, fazendo-o despencar.

$$F_c \geq P \quad (5)$$

Substituímos as forças P e a força centrípeta na equação (5):

$$P = m \cdot g \qquad F_c = \frac{mv^2}{R}$$

A velocidade mínima para que o carrinho complete a volta completa no looping sem cair é dada pela equação (6):

$$v \geq \sqrt{g \cdot R} \quad (6)$$

Para uma velocidade mínima de volta completa em uma trajetória circular, temos também uma altura mínima de lançamento do carrinho nos trilhos da montanha russa, que é definida a partir do Princípio da Conservação da Energia Mecânica, onde:

$$E_{m,f} = E_{m,i} \quad (7)$$

Em todos os pontos da trajetória a Energia Mecânica será a mesma:

$$E_{m,A} = E_{m,B} = E_{m,C} = E_{m,D} = E_{m,E}$$

Logo, podemos adotar dois pontos quaisquer. Neste caso, foram adotados os pontos A e E.

$$E_{m,A} = E_{m,E} \quad (8)$$

Sendo:

$$E_m = E_{pg} + E_c$$

E substituindo na equação (8) fica:

$$E_{c,A} + E_{pg,A} = E_{c,E} + E_{pg,E} \quad (9)$$

Como o carrinho está em repouso no ponto A, sua energia cinética é nula. Então a equação (9) fica:

$$E_{pg,A} = E_{c,E} + E_{pg,E} \quad (10)$$

Segundo as equações das energias potencial gravitacional e cinética, podemos reescrever a equação (10):

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h \quad E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$(m \cdot g \cdot h)_A = \left(\frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot h\right)_E \quad (11)$$

Simplificando as massas e reescrevendo a equação (11), fica:

$$(g \cdot h)_A = \left(\frac{v^2}{2} + g \cdot h\right)_E \quad (12)$$

Podemos observar que a altura h_E é o próprio diâmetro do looping, dado por duas vezes o raio da trajetória circular:

$$h_E = 2R$$

Substituindo na equação (12) a velocidade no ponto E (v_{\min} para uma volta completa), a altura h_E e simplificando a gravidade g , fica:

$$h_A = \frac{R}{2} + 2R \quad (13)$$

A altura mínima que o carrinho deve ser lançado da montanha russa é dada por:

$$h_A = \frac{5R}{2} \quad (14)$$

A compreensão do Princípio da Conservação de Energia Mecânica é fundamental na resolução de problemas do cotidiano.

Objetivo Geral

Verificar o Princípio da Conservação de Energia Mecânica através do movimento de uma esfera em trajetória circular.

Objetivos Específicos

- Determinar a velocidade mínima para realização do *looping*.
- Determinar a altura mínima para realização do *looping*.
- Calcular a energia potencial gravitacional nos pontos A, D e E do *looping*.
- Calcular a energia cinética nos pontos A, D e E do *looping*.
- Verificar o princípio da Conservação de Energia tomando os pontos A e D e A e E como referência.

Materiais Utilizados

- 01 Mangueira flexível e transparente de 1,2 m de comprimento por 2 mm de diâmetro
- 01 Base de madeira de 100 cm x 10 cm x 2 cm
- 01 Haste milimetrada de madeira (470 mm)
- 01 Esfera tipo rolamento de moto, carro ou bicicleta (corpo deslizante)³
- 02 Parafusos

³ Para que a esfera seja considerada como um ponto material, seu raio deverá ser muito menor que o raio do *looping*. Caso contrário, os conceitos de centro de massa e movimento rotacional da esfera deverão ser considerados.

Procedimento Experimental

Para montar o experimento, você deve fixar a haste de 47 cm, conectando-a com a base de madeira através dos parafusos. Depois fixe a trajetória espiral na parte superior da haste, apoiando-a na base de madeira. Faça um pequeno furo na mangueira em duas alturas distintas, sendo uma mais próxima ao topo da haste e outra próxima ao *looping*.



Figura 3: *Looping* Didático. **Fonte:** Própria autoria

Determinando a velocidade mínima de lançamento da esfera para realização do *Looping*

a) Meça o diâmetro do laço do *looping*. A partir do diâmetro determine o raio em metros.

$$D = 0,20 \text{ m}$$

$$R = 0,10 \text{ m}$$

b) A partir do valor encontrado no item (a) determine a velocidade mínima de lançamento da esfera para realização do *looping*.

$$v_{\min} \geq \sqrt{gR}$$

$$v_{\min} \geq \sqrt{9,8 \cdot 0,1} \geq 0,99 \text{ m/s}$$

Determinando a altura mínima de lançamento da esfera para realização do *Looping*

c) Pelo Princípio da Conservação de Energia, determine a altura mínima de lançamento da esfera para realização do *looping*.

$$h_{\min} = \frac{5R}{2}$$

$$h_{\min} = \frac{5(0,1)}{2} = 0,25 \text{ m}$$

d) Solte a esfera do ponto B do *looping* (tome como ponto B uma altura 13 cm menor que h). O que você observou? A esfera consegue completar a volta completa no *looping*? Por que?

Mesmo soltando a bola de gude (rolamento) de um ponto situado a 13 cm do ponto mais alto da trajetória, verificou-se que a bola conseguiu completar a volta no *looping*. Porém, observou-se que sua velocidade foi inferior quando comparada à sua soltura no ponto inicial A.

e) Preencha a tabela a seguir, determinando as intensidades das energias potencial gravitacional, cinética e mecânica da esfera nos pontos A, D e E da trajetória.

Tabela: Energia Mecânica em Função da posição da esfera

Ponto da Trajetória	Energia Potencial Gravitacional $E_{pg}(J)$	Energia Cinética $E_c(J)$	Energia Mecânica $E_m(J)$
A	0,0230	0,000	0,0230
D	0,0000	0,0230	0,0230
E	0,0098	0,0147	0,0245

Obs: Faça os cálculos utilizando $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Verificando o Princípio da Conservação da Energia Mecânica nos pontos AD e AE do *looping*

- f) A partir dos valores registrados na tabela, houve conservação da energia mecânica nos pontos A e D? Por que?

$$E_{m,A} = E_{m,D}$$

$$0,0230 \text{ J} = 0,0230 \text{ J}$$

Como podemos perceber no decorrer da realização do experimento, toda energia armazenada na forma de potencial gravitacional no ponto A, onde a esfera ainda estava em repouso, foi totalmente convertida em energia cinética no ponto D, onde sua velocidade atingiu valor máximo. Isso se deve a alguns fatores imprescindíveis, como a quase inexistência da força de atrito com o ar e a superfície.

- g) E de A para E, a energia mecânica se conservou? Por que?

$$E_{m,A} = E_{m,E}$$

$$0,0230 \text{ J} \cong 0,0245 \text{ J}$$

Da mesma forma, a energia praticamente se conservou no trajeto da esfera do ponto A para o ponto E. A variação nos valores obtidos se deve a alguns fatores como: erros de manipulação experimental para coleta de dados, atrito, dentre outros.

- h) Você acha que o Princípio da Conservação da Energia Mecânica é válido para quaisquer dois ou mais pontos que tomarmos como referência? Por que?

Sim, na ausência de atrito. Porém, quando se trata de sistemas reais, podemos adquirir valores bem próximos decorrentes da transformação de energia mecânica, o que não viola o Princípio da Conservação de Energia.

Discussão

Foi percebido que o movimento da esfera no *looping* pode ser descrito pelo princípio da conservação de energia mecânica, mesmo não dependendo da massa do corpo em deslocamento. Porém, como se trata de um procedimento experimental utilizando materiais de baixo custo para coleta de dados,

observou-se que houve uma pequena dissipação de energia devido a fatores externos quando os valores obtidos experimentalmente foram comparados nos pontos A, D e E da trajetória.

Conclusão

A partir desse experimento foi possível introduzir conceitos de energia cinética e potencial gravitacional, bem como sua conservação presente no movimento do *looping*. Além de poder levantar dados referentes às grandezas envolvidas no fenômeno, tais como: velocidade mínima necessária para o corpo completar a volta e altura mínima de lançamento desse corpo. Também foi observado que a massa da esfera não influencia os resultados encontrados.

Referências

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2006. vol 1.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. v. 1.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A.. **Física I: Mecânica**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2008. Tradução de: Sonia Midori Yamamoto; Revisão técnica de: Adir Moysés Luiz.

APÊNDICE E: Atividade Experimental Sobre a Conservação de Energia Mecânica em Um Sistema Massa-mola

Introdução

O Princípio da Conservação de Energia Mecânica nos diz que a soma das energias cinética e potencial é sempre constante em qualquer posição de um sistema conservativo. O que ocorre é apenas a transformação de um tipo de energia em outro.

Neste experimento, vamos utilizar um sistema descrito como massa-mola onde um conjunto de massas tem a função de estender/deformar a mola em relação à posição de equilíbrio.

Neste roteiro, consideramos um exemplo simples no qual vamos utilizar algumas massas com variações de aproximadamente 9 g para verificação da constante elástica de uma mola ideal que obedeça à Lei de Hooke.

Inicialmente, vamos medir o comprimento da mola em repouso na posição vertical. Logo após, iremos acrescentar ao gancho/suporte diferentes massas com pequenas variações. Vamos considerar a deformação da mola (x) como a variação do comprimento desta após colocar a massa no suporte segundo a figura 1.

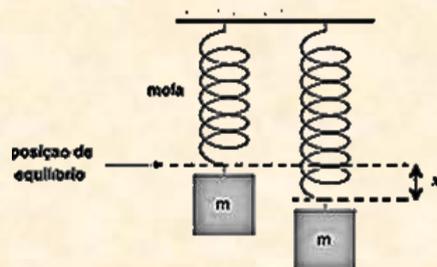


Figura 1: Sistema massa-mola.

Fonte: <https://www.preparaenem.com/fisica/energia-elastica.htm> (Adaptada)

A força restauradora F (em módulo) que a mola exerce pode ser calculada pela Lei de Hooke, descrita a seguir:

$$F = k \cdot x \quad (1)$$

Onde:

k é a constante elástica da mola (N/m).

x é o alongamento da mola (m).

Desconsiderando a resistência do ar, temos que a força resultante que age sobre o sistema é nula, sendo que a força elástica é igual em módulo à força peso, tal que:

$$F = P - F_e \quad (2)$$

$$0 = m \cdot g - kx$$

$$P = F_e \quad (3)$$

Em um sistema conservativo a Energia Mecânica permanece constante, tal que o Princípio da Conservação de Energia Mecânica é satisfeito:

$$E_{m,i} = E_{m,f} \quad (4)$$

Onde:

$$E_m = E_{pg} + E_c$$

A compreensão do Princípio da Conservação de Energia Mecânica é fundamental na resolução de problemas do cotidiano.

Objetivo Geral

Determinar a constante de elasticidade de uma mola helicoidal e verificar o Princípio da Conservação de Energia Mecânica através da deformação sofrida pela mola.

Objetivos Específicos

- Medir a deformação sofrida pela mola com o acréscimo de massas.
- Plotar as medidas de força elástica e deformação no gráfico $y \times t$.
- Calcular a constante elástica da mola helicoidal.
- Calcular a energia potencial gravitacional e a energia potencial elástica no ponto de equilíbrio.
- Verificar se o Princípio da Conservação de Energia é satisfeito.

Materiais Utilizados

- 01 Base de madeira de 25 cm x 25 cm x 2,5 cm
- 01 Haste de madeira de 53 cm x 7 cm x 2,5 cm
- 01 Haste de madeira de 15 cm x 7 cm x 2,5 cm
- 02 Parafusos
- 02 ganchos para acoplamento de massa 10 g cada
- Molas helicoidal de constante elástica pequena
- Régua impressa de 470 mm
- Cola para madeira
- 13 Massas de 9 g cada (rolamento de motocicleta)
- 01 Bloco de madeira de massa 75 g
- Papel milimetrado

Procedimento Experimental

Para montar o experimento, você deve fixar o parafuso na parte superior da haste de 40 cm, conectando-a com a outra haste de 20 cm. Depois fixe com outro parafuso a parte inferior da haste de 40 cm na base de madeira. Fixe com um pouco de cola a régua verticalmente na haste de 40 cm. Envolve o gancho na haste de 20 cm e acople a mola por uma das extremidades. A figura 2 mostra o equipamento montado e a figura 3 mostra o equipamento construído.

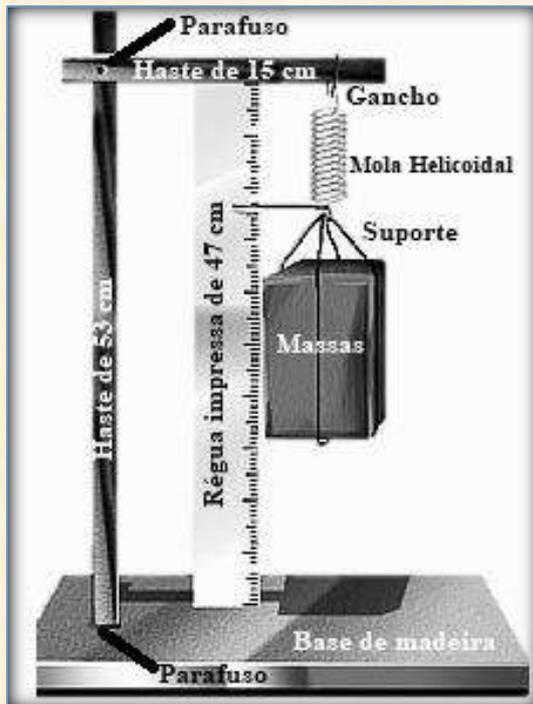


Figura 2: Esquema Experimental para determinação da constante elástica k da mola.

Fonte: http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/mecanica/basico/cap18/cap18_05.htm

(Adaptada)

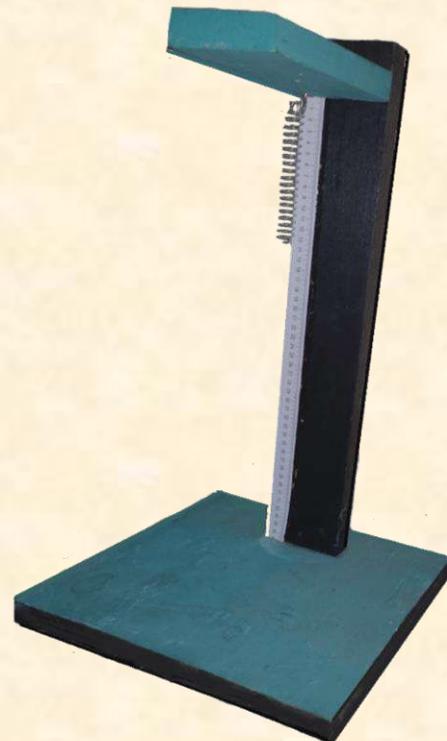


Figura 3: Instrumento Didático para determinação da constante elástica k da mola.

Fonte: Própria Autoria

Determinando a constante elástica da mola helicoidal

- Na extremidade livre, pendura-se um suporte de massas e sobre ele coloque sucessivamente treze massas de 9 g cada, registrando na tabela a seguir os valores obtidos para deformação e constante elástica da mola.

Tabela: Deformação da mola (m) em função da Força aplicada (N)

Medida	Massa m ($\pm 0,001kg$)	Força Peso (N)	Força Elástica (N)	Deformação da mola x ($\pm 0,0005m$)	Constante Elástica k (N/m)
1	0	0	0	0	-
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					

Obs: Faça as leituras na régua olhando por baixo do suporte de massas e utilize $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

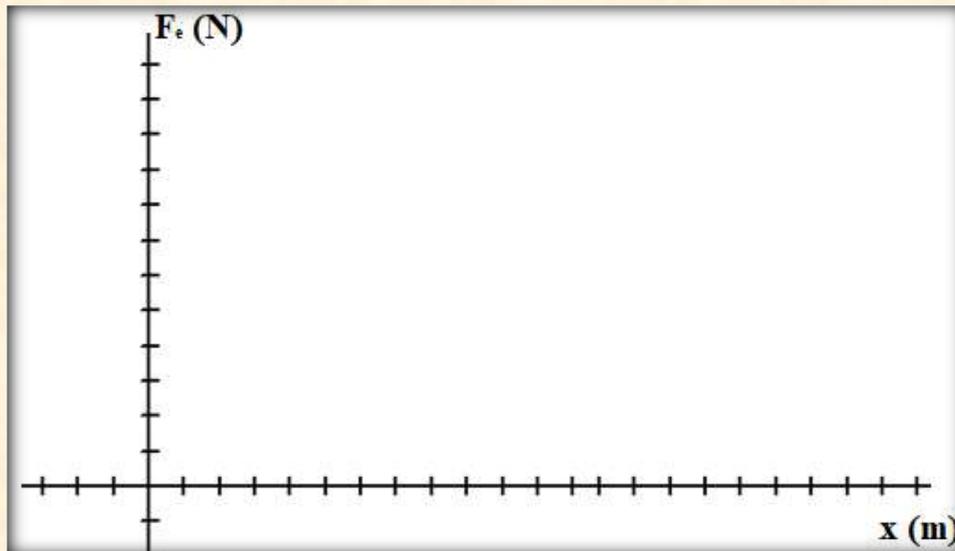
- b) Utilizando os dados da atividade experimental registrados na tabela 1, calcule a constante elástica média da mola.

$$k = \text{_____ } N/m$$

- c) Retire as massas do suporte interligado ao sistema. O que aconteceu com a mola?

- d) De acordo com sua resposta no item (c), o que você acha que iria acontecer com a mola se acoplássemos ao suporte uma massa muito maior?

- e) Com os valores da tabela 1, plote o gráfico da Força \times Deformação no Excel ou utilize o modelo ao lado.



- f) Calcule a inclinação da reta e compare com o valor médio calculado da constante elástica da mola.

- g) Qual é o significado físico da inclinação da reta do gráfico da Força \times Deformação?

Verificando o Princípio da Conservação da Energia Mecânica

- h) Pendure a mola e faça a medida na base superior do gancho, conforme mostrado na figura 3.

$$x_0 = \text{_____ } m$$

- i) Acople na extremidade inferior da mola um gancho de massa 10 g e pendure neste gancho, o bloco de massa 65 g. Meça a deformação x_i sofrida pela mola e sua posição y_i em relação a base inferior do suporte, conforme mostrado na figura 3.

$$x_i = \text{_____ } m \quad y_i = \text{_____ } m$$

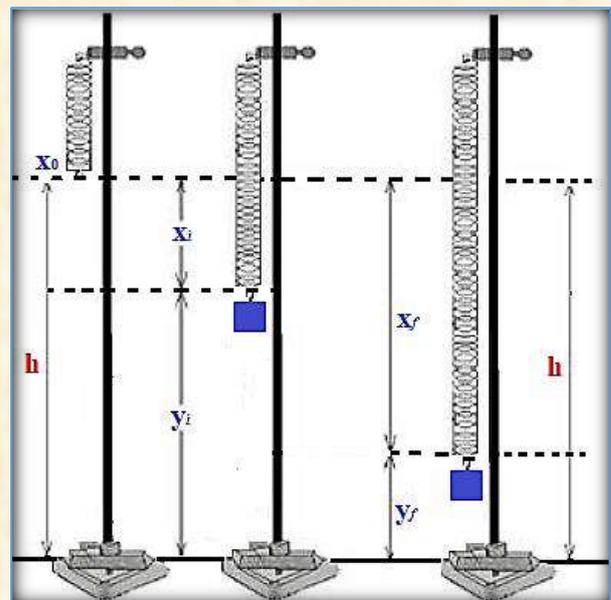


Figura 3: Esquema Experimental para determinação da Energia Mecânica. **Fonte:** <http://docplayer.es/14654139-Laboratorio-2-ley-de-hooke-y-cambios-de-energia-potencial.html> (Adaptada)

- j) Quais são as formas de energia presentes nesta configuração inicial? Calcule a energia mecânica inicial.



- k) Provoque uma distensão de 2 cm na mola. Meça a nova deformação x_f e sua posição y_f em relação a base inferior do suporte, conforme mostrado na figura 3.

$$x_f = \text{_____ } m \quad y_f = \text{_____ } m$$

- l) Quais são as formas de energia presentes nesta configuração final? Calcule a energia mecânica final.



- m) Determine a variação de energia mecânica do sistema massa mola.



n) O Princípio da Conservação de Energia foi satisfeito.

Discussão

Conclusão

Referências

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2006. vol 1.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. v. 1.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A.. **Física I: Mecânica**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2008. Tradução de: Sonia Midori Yamamoto; Revisão técnica de: Adir Moysés Luiz.

Link D: Vídeo com demonstração da realização da Atividade Experimental 2

<https://drive.google.com/file/d/1XaYCNEV2L3w2Zvx3fZsFJo9W8IdpwAcQ/view?usp=sharing>

APÊNDICE F: Sugestão de Gabarito da Atividade Experimental Sobre a Conservação de Energia Mecânica em Um Sistema Massa-mola

Introdução

O Princípio da Conservação de Energia Mecânica nos diz que a soma das energias cinética e potencial é sempre constante em qualquer posição de um sistema conservativo. O que ocorre é apenas a transformação de um tipo de energia em outro.

Neste experimento, vamos utilizar um sistema descrito como massa-mola onde um conjunto de massas tem a função de estender/deformar a mola em relação à posição de equilíbrio.

Neste roteiro, consideramos um exemplo simples no qual vamos utilizar algumas massas com variações de aproximadamente 9 g para verificação da constante elástica de uma mola ideal que obedeça à Lei de Hooke.

Inicialmente, vamos medir o comprimento da mola em repouso na posição vertical. Logo após, iremos acrescentar ao gancho/suporte diferentes massas com pequenas variações. Vamos considerar a deformação da mola (x) como a variação do comprimento desta após colocar a massa no suporte conforme mostrado na figura 1. .

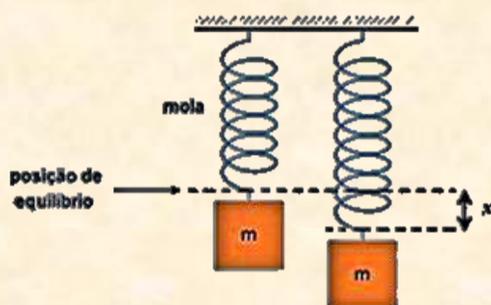


Figura 1: Sistema massa-mola.

Fonte: <https://www.preparaenem.com/fisica/energia-elastica.htm>

A força restauradora F (em módulo) que a mola exerce pode ser calculada pela Lei de Hooke, descrita a seguir:

$$F = k \cdot x \quad (1)$$

Onde:

k é a constante elástica da mola (N/m).

x é o alongamento da mola (m).

Desconsiderando a resistência do ar, temos que a força resultante que age sobre o sistema é nula, sendo que a força elástica é igual em módulo à força peso, tal que:

$$F = P - F_e \quad (2)$$

$$0 = m \cdot g - kx$$

$$P = F_e \quad (3)$$

Em um sistema conservativo a Energia Mecânica permanece constante, tal que o Princípio da Conservação de Energia Mecânica é satisfeito:

$$E_{m,i} = E_{m,f} \quad (4)$$

Onde:

$$E_m = E_{pg} + E_c$$

A compreensão do Princípio da Conservação de Energia Mecânica é fundamental na resolução de problemas do cotidiano.

Objetivo Geral

Determinar a constante de elasticidade de uma mola helicoidal e verificar o Princípio da Conservação de Energia Mecânica através da deformação sofrida pela mola.

Objetivos Específicos

- Medir a deformação sofrida pela mola com o acréscimo de massas.
- Plotar as medidas de força elástica e deformação no gráfico $y \times t$.
- Calcular a constante elástica da mola helicoidal.
- Calcular a energia potencial gravitacional e a energia potencial elástica no ponto de equilíbrio.
- Verificar se o Princípio da Conservação de Energia é satisfeito.

Materiais Utilizados

- 01 Base de madeira de 25 cm x 25 cm x 2,5 cm
- 01 Haste de madeira de 53 cm x 7 cm x 2,5 cm
- 01 Haste de madeira de 15 cm x 7 cm x 2,5 cm
- 02 Parafusos
- 02 ganchos para acoplamento de massa 10 g cada
- Molas helicoidal de constante elástica pequena
- Régua impressa de 470 mm
- Cola para madeira
- 13 Massas de 9 g cada (rolamento de motocicleta)

- 01 Bloco de madeira de massa 75 g
- Papel milimetrado

Procedimento Experimental

Para montar o experimento, você deve fixar o parafuso na parte superior da haste de 40 cm, conectando-a com a outra haste de 20 cm. Depois fixe com outro parafuso a parte inferior da haste de 40 cm na base de madeira. Fixe com um pouco de cola a régua verticalmente na haste de 40 cm. Envolve o gancho na haste de 20 cm e acople a mola por uma das extremidades. A figura 2 mostra o equipamento montado e a figura 3 mostra o equipamento construído.

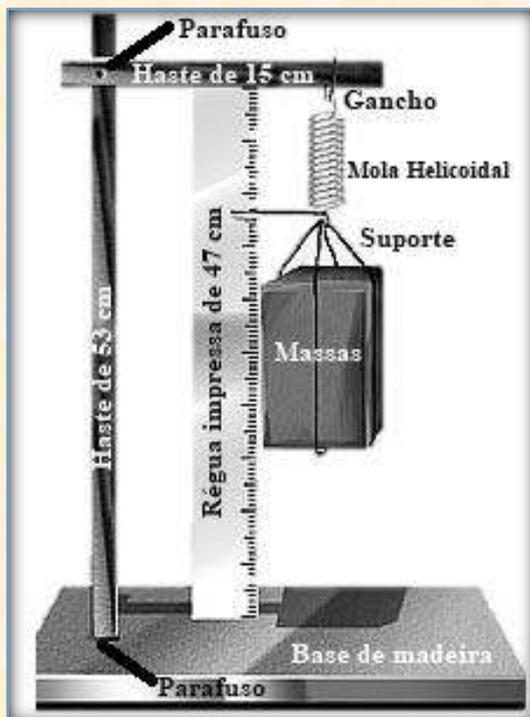


Figura 2: Esquema Experimental para determinação da constante elástica k da mola.

Fonte: http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/mecanica/basico/cap18/cap18_05.htm.

(Adaptada)

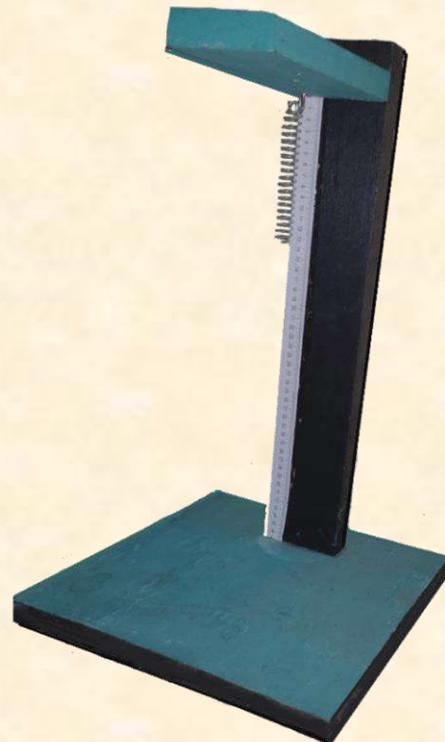


Figura 3: Equipamento didático para determinação da constante elástica k da mola.

Fonte: Própria Autoria, 2021.

Determinando a constante elástica da mola helicoidal

- Na extremidade livre, pendura-se um suporte de massas e sobre ele coloque sucessivamente treze massas de 9 g cada, registrando na tabela a seguir os valores obtidos para deformação e constante elástica da mola.

Tabela: Deformação da mola (m) em função da Força aplicada (N)

Medida	Massa m ($\pm 0,001kg$)	Força Peso (N)	Força Elástica (N)	Deformação da mola x ($\pm 0,0005m$)	Constante Elástica k (N/m)
1	0	0	0	0	-
2	0,009	0,0882	0,0882	0,020	4,41
3	0,018	0,1764	0,1764	0,043	4,10
4	0,027	0,2646	0,2646	0,061	4,34
5	0,036	0,3528	0,3528	0,080	4,41
6	0,045	0,4410	0,4410	0,096	4,59
7	0,054	0,5292	0,5292	0,110	4,81
8	0,063	0,6174	0,6174	0,129	4,76
9	0,072	0,7056	0,7056	0,145	4,87
10	0,081	0,7938	0,7938	0,163	4,87
11	0,090	0,8820	0,8820	0,180	4,90
12	0,099	0,9702	0,9702	0,194	5,00
13	0,108	1,0584	1,0584	0,211	5,02
14	0,117	1,1466	1,1466	0,232	4,94

Obs: Faça as leituras na régua olhando por baixo do suporte de massas e utilize $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

- b) Utilizando os dados da atividade experimental registrados na tabela 1, calcule a constante elástica média da mola.

$$k = 4,69 \text{ N/m}$$

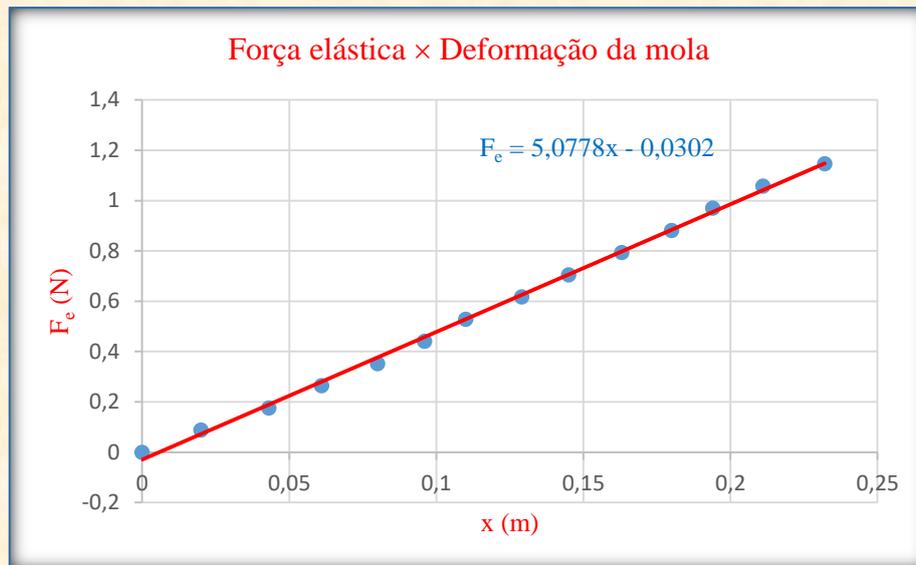
- c) Retire as massas do suporte interligado ao sistema. O que aconteceu com a mola?

Foi observado que mola retornou ao seu estado natural. Porém, após realizar a medição foi averiguado que a mola sofreu deformação de aproximadamente 2 mm, apresentado comprimento de 13,7 cm.

- d) De acordo com sua resposta no item (c), o que você acha que iria acontecer com a mola se acoplássemos ao suporte uma massa muito maior?

A partir dos dados representados na tabela, podemos perceber que a mola deixa de obedecer à Lei de Hooke a partir da décima primeira esfera inserida no suporte. Diante do fato, se acoplássemos muitas outras esferas de mesma massa, a mola continuaria a deformar de forma irreversível, tendendo ao rompimento.

- e) Com os valores da tabela 1, plote o gráfico da Força \times Deformação no Excel ou utilize o modelo a seguir.



Obs: Deixo a sugestão de um tutorial no qual é demonstrado como criar um gráfico e encontrar a equação da reta. O vídeo pode ser acessado pelo link: <https://youtu.be/H9gSk7cMLCw>

- f) Calcule a inclinação da reta e compare com o valor médio calculado da constante elástica da mola.
O coeficiente angular da reta obtido através da equação da reta foi de aproximadamente 5,08 N/m.
O valor médio da constante elástica da mola é igual a aproximadamente 4,69 N/m.
- g) Qual é o significado físico da inclinação da reta do gráfico da Força × Deformação?
A inclinação da reta representa a constante elástica da mola que quantifica a capacidade da mola de sofrer deformação. Quanto maior o valor da constante elástica k , mais difícil será distender ou comprimir a mola e quanto menor o valor de k mais fácil será distender ou comprimir a mola.

Verificando o Princípio da Conservação da Energia Mecânica

- h) Pendure a mola e faça a medida na base superior do gancho, conforme mostrado na figura 4.

$$x_0 = 0,172 \text{ m}$$

- i) Acople na extremidade inferior da mola um gancho de massa 10 g e pendure neste gancho, o bloco de massa 65 g. Meça a deformação x_i sofrida pela mola e sua posição y_i em relação a base inferior do suporte, conforme mostrado na figura 3.

$$x_i = 0,151 \text{ m}$$

$$y_i = 0,147 \text{ m}$$

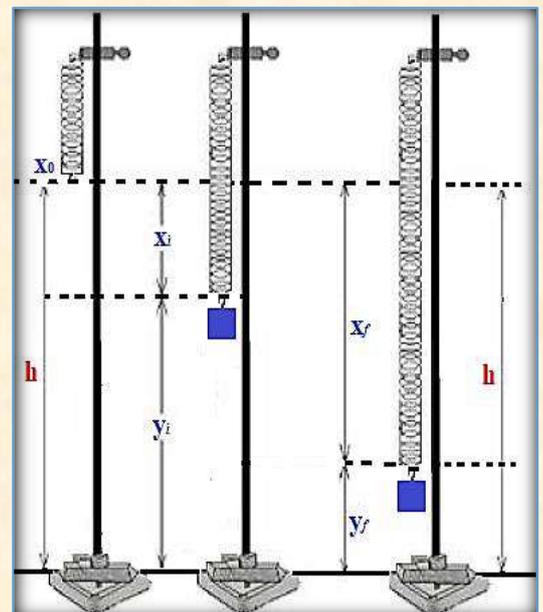


Figura 4: Esquema Experimental para determinação da Energia Mecânica.

Fonte: <http://docplayer.es/14654139-Laboratorio-no-2-ley-de-hooke-y-cambios-de-energia-potencial.html>

(Adaptada)

- j) Quais são as formas de energia presentes nesta configuração inicial? Calcule a energia mecânica inicial.

Energia Potencial Gravitacional e Energia Potencial Elástica.

$$E_{m,i} = E_{pg,i} + E_{e,i}$$

$$E_{m,i} = mgy_i + \frac{1}{2} \cdot kx_i^2$$

$$E_{m,i} = 0,075 \cdot 9,80 \cdot 1,47 + \frac{1}{2} \cdot 5,08(0,151)^2 = 0,162 \text{ J}$$

- k) Provoque uma distensão de 2 cm na mola. Meça a nova deformação x e sua posição em relação a base inferior do suporte, conforme mostrado na figura 3.

$$x_f = 0,171 \text{ m} \quad y_f = 0,127 \text{ m}$$

- l) Quais são as formas de energia presentes nesta configuração final? Calcule a energia mecânica final.

Energia Potencial Gravitacional e Energia Potencial Elástica.

$$E_{m,f} = E_{pg,f} + E_{e,f}$$

$$E_{m,f} = mgy_f + \frac{1}{2} \cdot kx_f^2$$

$$E_{m,f} = 0,075 \cdot 9,80 \cdot 1,27 + \frac{1}{2} \cdot 5,08(0,171)^2 = 0,167 \text{ J}$$

- m) Determine a variação de energia mecânica do sistema massa mola.

$$\Delta E_m = 0$$

$$E_{mf} - E_{mi} = 0$$

$$0,167 - 0,162 = 0$$

$$0,005 = 0$$

- n) O Princípio da Conservação de Energia foi satisfeito.

Apesar do resultado anterior apresentar uma pequena diferença em relação ao esperado, pode-se considerar que o Princípio da Conservação de Energia foi satisfeito.

Discussão

Considerando que se trata de um instrumento didático produzido com materiais de baixo custo, a diferença dos valores obtidos para a constante elástica da mola é muito pequena quando consideramos o procedimento e sua execução. Os erros podem ser devido a paralaxe e ao aferimento das massas em balança analítica de pequena precisão (0,1 g) bem como as medidas realizadas através de régua milimetrada.

Conclusão

Pode-se observar no gráfico da força elástica em função da deformação da mola a equação de uma reta com coeficiente angular (inclinação) de aproximadamente 5,08 N/m. Quando comparado com a constante elástica da mola obtida pela média das medições realizadas (4,69 N/m), observa-se que a diferença entre os valores encontrados foi de aproximadamente 7,68 %. Referente ao Princípio da Conservação da Energia Mecânica, foi verificado sua validade para pequenas deformações sofridas pela mola.

Referências

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2006. vol 1.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. v. 1.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A.. **Física I: Mecânica**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2008. Tradução de: Sonia Midori Yamamoto; Revisão técnica de: Adir Moysés Luiz.

Rosalvo Miranda. **Gráfico de uma função Linear no excel**. Youtube. 02 abr. 2018. Disponível em: <<https://youtu.be/H9gSk7cMLCw>>. Acesso em: 29 set. 2021.

APÊNDICE G: Experimento Sobre a Verificação do Princípio da Conservação de Energia Mecânica em um Plano Inclinado com Atrito

Introdução

O Princípio da Conservação de Energia Mecânica nos diz que a soma das energias cinética e potencial é sempre constante em qualquer posição de um sistema conservativo. O que ocorre é apenas a transformação de um tipo de energia em outro.

Neste experimento, vamos investigar a influência da força de atrito sobre o Princípio da Conservação de Energia Mecânica atuante em um corpo que desliza num plano inclinado. Mas, antes de fazer a atividade prática, vamos relembrar as forças atuantes.

Forças no plano inclinado

A Força Peso (P) de um corpo é a força exercida pelo campo gravitacional terrestre em todos os corpos que possuem massa. A direção de atração dessa força é radial, ou seja, está apontada para o centro da Terra. Como a velocidade do corpo sofre variações surge o que chamamos de aceleração gravitacional g .

$$P = m \cdot g . \quad (1)$$

Além da Força Peso, existe a Força Normal (N). Ela é exercida pela superfície sobre o corpo, podendo ser interpretada como a sua resistência em sofrer deformação devido ao peso do corpo. Seu sentido de atuação será sempre perpendicular à superfície, diferentemente da Força Peso que atua sempre no sentido vertical.

Em um sistema real também existem outras forças envolvidas no plano inclinado. Uma dessas forças é a de atrito (F_{at}):

$$F_{at} = \mu \cdot N . \quad (2)$$

Como se trata de um plano inclinado, devemos decompor a Força Peso nas componentes x e y . Sendo a Força Normal perpendicular ao deslocamento do carrinho, podemos reescrevê-la como:

$$N = P_y . \quad (3)$$

Sendo:

$$P_y = P \cdot \cos\theta . \quad (4)$$

Substituindo (3) em (2) temos que:

$$F_{at} = \mu P \cos\theta . \quad (5)$$

Determinação do atrito estático (μ_e)

Na iminência de deslizamento do carrinho sobre o plano inclinado, o objeto ainda permanece em repouso não havendo aceleração. Portanto, pela Segunda Lei de Newton podemos escrever:

$$F_R = 0 \quad . \quad (6)$$

Considerando as forças que agem na direção x do plano inclinado, temos:

$$P_x - F_{at} = 0 \quad . \quad (7)$$

Sendo:

$$P_x = P \sin \theta \quad . \quad (8)$$

E substituindo (5) em (7), podemos reescrever a equação (7) como:

$$P \sin \theta = \mu P \cos \theta \quad . \quad (9)$$

Isolando o coeficiente de atrito μ e simplificando P , a equação (9) fica:

$$\mu_e = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \operatorname{tg} \theta \quad . \quad (10)$$

Neste caso, a equação (10) pode ser utilizada para determinar o coeficiente de atrito estático exercido pela superfície sobre o corpo que tende a se movimentar.

Determinação do atrito cinético (μ_c)

Para determinação do coeficiente de atrito cinético, ou seja, quando o objeto está em movimento, podemos utilizar a Segunda Lei de Newton ou Princípio da Conservação de Energia, como veremos na sequência.

Quando há variação de energia num sistema, dizemos que ele realizou trabalho (W). Observe na figura 1 que a realização de trabalho é devida somente à força P_x que possui a mesma direção do deslocamento do carrinho. Já a força P_y é perpendicular ao deslocamento por isso não influencia diretamente no movimento.

A expressão do trabalho de uma força (F) pode ser descrita pela equação a seguir:

$$W = F \cdot d \quad . \quad (11)$$

No caso do trabalho da força de atrito F_{at} a equação (6) pode ser reescrita na seguinte forma:

$$W = -F_{at} \cdot d \quad . \quad (12)$$

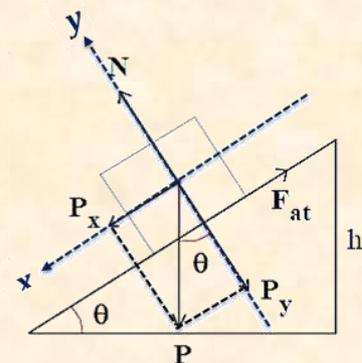


Figura 1: Forças atuantes em um plano inclinado. **Fonte:** Própria

O sinal negativo, indica que a força de atrito age em sentido oposto ao sentido do deslocamento do carrinho.

O trabalho da força de atrito é igual a variação de energia mecânica (ΔE_m) em um sistema que também podemos denominar por energia dissipada.

$$W = \Delta E_m . \quad (13)$$

Substituindo (13) em (12) temos:

$$\Delta E_m = -F_{at} \cdot d . \quad (14)$$

Para determinar o coeficiente de atrito cinético, podemos substituir (2) e (4) em (14):

$$\mu_c = -\frac{\Delta E_m}{P_y \cos \theta} . \quad (15)$$

Como já sabemos, o valor de μ_c também pode ser obtido pela Segunda Lei de Newton:

$$F_R = m \cdot a . \quad (16)$$

Substituindo (5) e (8) em (16) temos:

$$P \sin \theta - \mu P \cos \theta = m \cdot a . \quad (17)$$

Substituindo (1) em (17) e simplificando m , podemos determinar o coeficiente de atrito cinético através da equação (18):

$$\mu_c = \frac{g \sin \theta - a}{g \cos \theta} . \quad (18)$$

Neste experimento, o carrinho será posicionado na altura h da trajetória. Nesse momento, a energia mecânica que atua sobre o carrinho é somente a energia relacionada à posição, ou seja, a energia potencial gravitacional.

Devido o carrinho ainda estar em repouso, a energia cinética relacionada ao movimento será nula no ponto inicial de deslizamento.

$$E_m = E_c + E_{pg} . \quad (19)$$

$$E_m = E_{pg} = m \cdot g \cdot h . \quad (20)$$

No decorrer do processo de deslizamento do carrinho, a energia potencial gravitacional vai diminuindo com a altura, sendo transformada em energia cinética.

A figura 2, mostra quando o carrinho chegar ao ponto final de referência do plano inclinado onde ele terá velocidade máxima. Neste momento, a força peso não precisa ser decomposta, pois age somente na direção vertical.

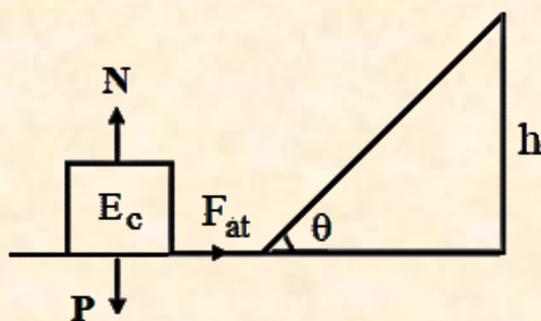


Figura 2: Energia Mecânica de um corpo em movimento no final do ponto referencial de um plano inclinado. **Fonte:** Própria autoria.

Objetivo Geral

Verificar a validade do Princípio da Conservação de Energia Mecânica através das transformações de energias em um plano inclinado com atrito.

Objetivos Específicos

- Calcular a aceleração através do gráfico $x \times t$.
- Calcular a velocidade instantânea em pontos específicos do plano inclinado.
- Calcular a energia cinética e potencial gravitacional em pontos específicos.
- Determinar a energia mecânica em pontos específicos.
- Determinar a energia dissipada pelo atrito entre o carrinho e a superfície do plano inclinado.
- Plotar o gráfico das energias cinética, potencial gravitacional e mecânica em função da distância percorrida pelo corpo.
- Determinar o coeficiente de atrito estático entre a superfície e o carrinho.
- Determinar o coeficiente de atrito cinético entre a superfície e o carrinho utilizando a Segunda Lei de Newton e o Princípio da Conservação de Energia Mecânica.
- Verificar se a Energia Mecânica do carrinho se conserva.

Materiais Utilizados

- 01 Cronômetro digital.
- 01 Rampa de madeira de 1,0 m x 0,1m (milimetrada).
- 01 Carrinho (bloco de madeira).
- 01 trena milimetrada.
- 06 blocos de madeira de altura diferentes.

Calculando as intensidades das Energias Potencial Gravitacional, Cinética e Mecânica do carrinho num ângulo de inclinação infinitamente próximo ao que o carrinho começou a deslizar.

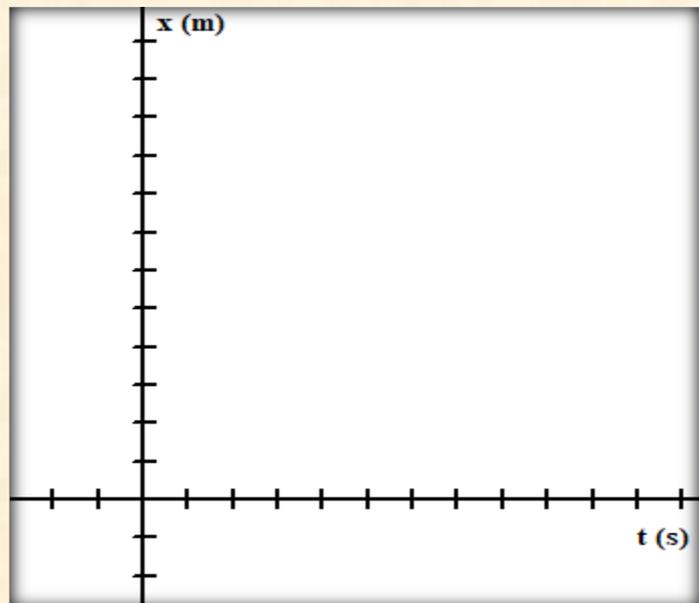
g) Para os valores de deslocamento da tabela 2, cronometre e registre o tempo que o carrinho atingiu em cada ponto. Realize cinco medições e faça a média do instante para cada posição.

Tabela 2: Posição em função do tempo

$x(m)$	$t(s)$	$x(m)$	$t(s)$	$x(m)$	$t(s)$
0,03		0,40		0,80	
0,10		0,50		0,90	
0,20		0,60		1,00	
0,30		0,70			

h) A partir dos valores obtidos no item (g), trace o gráfico $x \times t$ e determine a aceleração do carrinho.

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$



- i) Com o valor da aceleração calculado anteriormente, determine a velocidade instantânea para cada posição do carrinho na rampa. Registre os valores na tabela 3.
- j) Utilizando as equações a seguir, calcule as intensidades das energias potencial gravitacional e cinética em cada posição representada na tabela a seguir. Registre esses valores na tabela 3.

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h \qquad E_c = \frac{mv^2}{2}$$

- k) Com os valores das energias potencial gravitacional e cinética, utilize a equação abaixo para determinar a intensidade da energia mecânica. Registre os valores obtidos na tabela 3.

$$E_m = E_{pg} + E_c$$

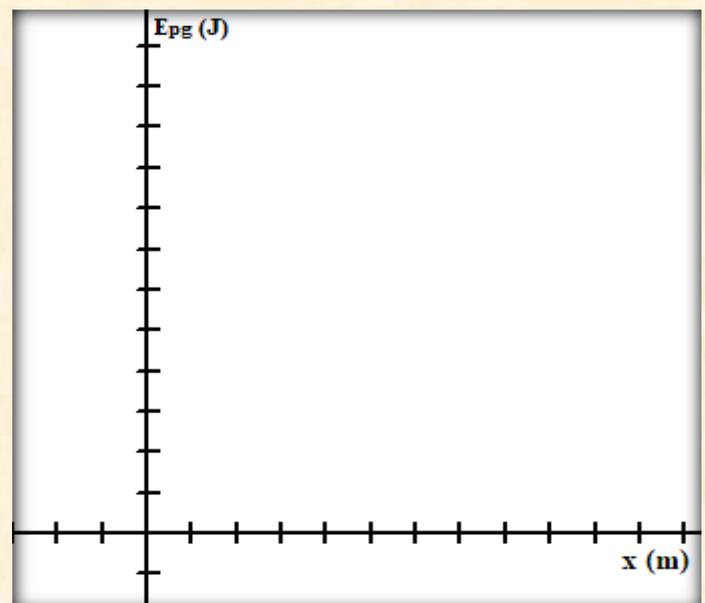
Tabela 3: Posição em Função da Energia Mecânica

x(m)	t(s)	v(m/s)	E_c (J)	h(m)	E_{pg} (J)	E_m (J)
0,03						
0,1						
0,2						
0,3						
0,4						
0,5						
0,6						
0,7						
0,8						
0,9						
1,0						

Plotando os gráficos das energias em função da distância percorrida pelo carrinho no plano inclinado

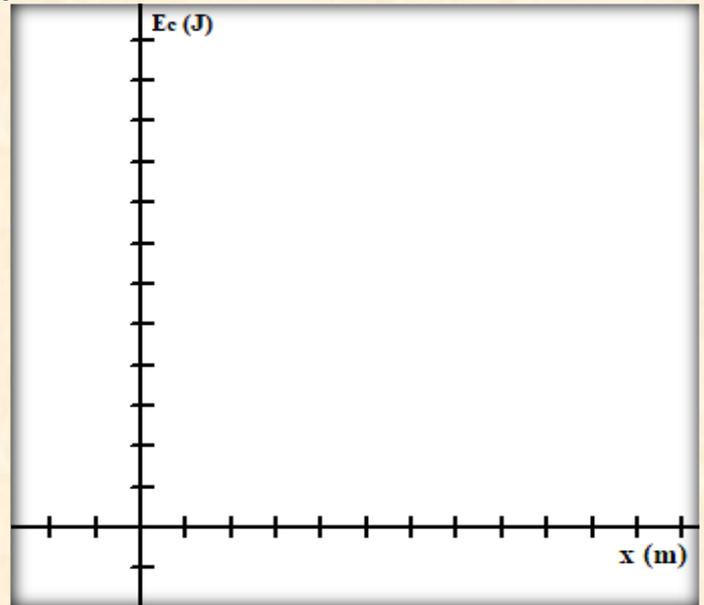
l) Trace o gráfico da Energia Potencial Gravitacional (E_{pg}) \times Posição (x).

m) De acordo com a curva traçada no gráfico da Energia Potencial Gravitacional, resalte o que aconteceu com a intensidade da energia potencial gravitacional do carrinho quando ele percorreu distância diferentes. Aumentou, diminuiu ou permaneceu constante? Por que?



n) Trace o gráfico da Energia Cinética (E_c) \times Posição (x).

o) O que aconteceu com a velocidade do carrinho enquanto ele descia o plano inclinado? A energia cinética aumentou, diminuiu ou permaneceu constante? Por que?



p) O que você acha que aconteceria com a intensidade da energia cinética se a rampa do plano sofresse variação na inclinação para:

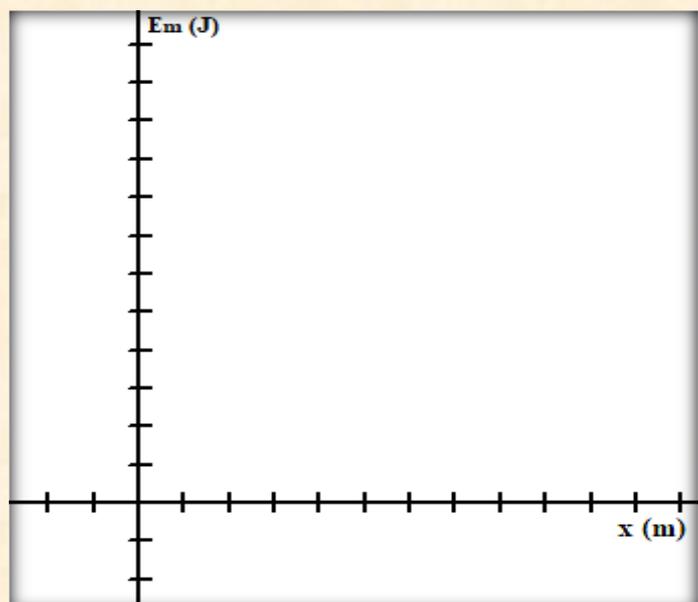
0° _____

60° _____

90° _____

q) Trace o gráfico da Energia Mecânica (E_m) \times Posição (x)

r) A Energia Mecânica do carrinho se conservou no final do processo? Explique.



Determinando a Energia dissipada pelo atrito presente na superfície da rampa do plano inclinado

s) Determine a variação de energia mecânica para as posições descritas na tabela 4.

Tabela 4: Energia Dissipada entre dois pontos

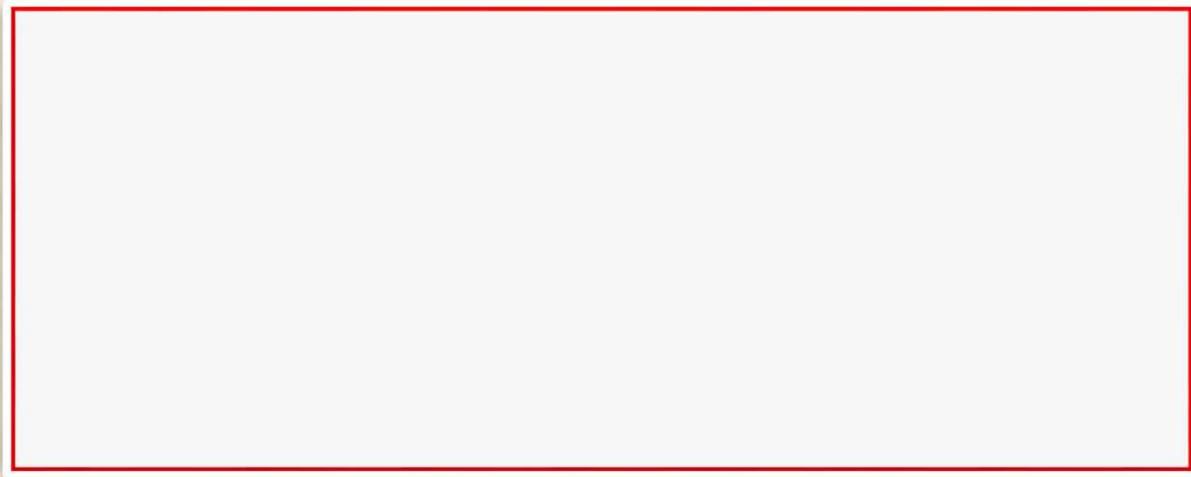
$x(m)$	$E_m(J)$	$\Delta E_m(J)$
0,03		
0,30		
0,03		
0,70		
0,03		
1,00		

t) Com os resultados obtidos e registrados na tabela, como você explica a variação de energia mecânica?

Determinando o coeficiente de atrito estático (μ_c) entre as superfícies do plano inclinado e a do carrinho.

u) Com o valor da aceleração e utilizando a Segunda Lei de Newton descrita na equação (18), determine o coeficiente de atrito cinético do sistema.

- v) Considerando a variação de energia mecânica de 0,03 m a 1 m de deslocamento e utilizando a equação (15), determine o coeficiente de atrito cinético entre o carrinho e a rampa do plano inclinado.



- w) Compare os valores do atrito cinético obtido nos itens (u) e (v).

- x) Compare os valores dos coeficientes de atrito cinético e estático.

Discussão

Conclusão

Referências

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2006. vol 1.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. v. 1.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A.. **Física I: Mecânica**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2008. Tradução de: Sonia Midori Yamamoto; Revisão técnica de: Adir Moysés Luiz.

Link E: Vídeo com a demonstração da realização da Atividade Experimental 3

<https://drive.google.com/file/d/1YDUKH1PMjJc6r10LUDX1fKU0y2x0qFuA/view?usp=sharing>

Link F: Vídeo com resumo sobre Energia Mecânica

<https://drive.google.com/file/d/1Fm89EbIVJvWbwZpF94rQ2Gzsu7qPTu3y/view?usp=sharing>

Obs: A sugestão é passar o logo após o encerramento da realização dos experimentos

APÊNDICE H: Sugestão de Gabarito da Atividade Experimental Sobre a Conservação de Energia Mecânica em Um Plano Inclinado com Atrito

Introdução

O Princípio da Conservação de Energia Mecânica nos diz que a soma das energias cinética e potencial é sempre constante em qualquer posição de um sistema conservativo. O que ocorre é apenas a transformação de um tipo de energia em outro.

Neste experimento, vamos investigar a influência da força de atrito sobre o Princípio da Conservação de Energia Mecânica atuante em um corpo que desliza num plano inclinado.

Antes de fazer a atividade prática, vamos relembrar as forças atuantes.

Forças no plano inclinado

A Força Peso (P) de um corpo é a força exercida pelo campo gravitacional terrestre em todos os corpos que possuem massa. A direção de atração dessa força é radial, ou seja, está apontada para o centro da Terra. Como a velocidade do corpo sofre variações surge o que chamamos de aceleração gravitacional g .

$$P = m \cdot g . \quad (1)$$

Além da Força Peso, existe a Força Normal (N). Ela é exercida pela superfície sobre o corpo, podendo ser interpretada como a sua resistência em sofrer deformação devido ao peso do corpo. Seu sentido de atuação será sempre perpendicular à superfície, diferentemente da Força Peso que atua sempre no sentido vertical.

Em um sistema real também existem outras forças envolvidas no plano inclinado. Uma dessas forças é a de atrito (F_{at}):

$$F_{at} = \mu \cdot N . \quad (2)$$

Como se trata de um plano inclinado, devemos decompor a Força Peso nas componentes x e y . Sendo a Força Normal perpendicular ao deslocamento do carrinho, podemos reescrevê-la como:

$$N = P_y . \quad (3)$$

Sendo:

$$P_y = P \cdot \cos\theta . \quad (4)$$

Substituindo (3) em (2) temos que:

$$F_{at} = \mu P \cos\theta . \quad (5)$$

Determinação do atrito estático (μ_e)

Na iminência de deslizamento do carrinho sobre o plano inclinado, o objeto ainda permanece em repouso não havendo aceleração. Portanto, pela Segunda Lei de Newton podemos escrever:

$$F_R = 0 . \quad (6)$$

Considerando as forças que agem na direção x do plano inclinado, temos:

$$P_x - F_{at} = 0 . \quad (7)$$

Sendo:

$$P_x = P \text{sen}\theta . \quad (8)$$

E substituindo (5) em (7), podemos reescrever a equação (7) como:

$$P \text{sen}\theta = \mu P \text{cos}\theta . \quad (9)$$

Isolando o coeficiente de atrito μ e simplificando P , a equação (9) fica:

$$\mu_e = \frac{\text{sen}\theta}{\text{cos}\theta} = \text{tg}\theta . \quad (10)$$

Neste caso, a equação (10) pode ser utilizada para determinar o coeficiente de atrito estático exercido pela superfície sobre o corpo que tende a se movimentar.

Determinação do atrito cinético (μ_c)

Para determinação do coeficiente de atrito cinético, ou seja, quando o objeto está em movimento, podemos utilizar a Segunda Lei de Newton ou Princípio da Conservação de Energia, como veremos na sequência.

Quando há variação de energia num sistema, dizemos que ele realizou trabalho (W). Observe que a realização de trabalho é devida somente à força P_x que possui a mesma direção do deslocamento do carrinho. Já a força P_y é perpendicular ao deslocamento por isso não influencia diretamente no movimento, conforme mostra a figura 1.

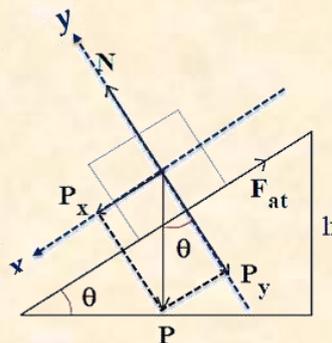


Figura 1: Forças atuantes em um plano inclinado. **Fonte:** Própria autoria.

A expressão do trabalho de uma força (F) pode ser descrita pela equação a seguir:

$$W = F \cdot d. \quad (11)$$

No caso do trabalho da força de atrito F_{at} a equação (6) pode ser reescrita na seguinte forma:

$$W = -F_{at} \cdot d. \quad (12)$$

O sinal negativo, indica que a força de atrito age em sentido oposto ao sentido do deslocamento do carrinho.

O trabalho da força de atrito é igual a variação de energia mecânica (ΔE_m) em um sistema que também podemos denominar por energia dissipada.

$$W = \Delta E_m. \quad (13)$$

Substituindo (13) em (12) temos:

$$\Delta E_m = -F_{at} \cdot d. \quad (14)$$

Para determinar o coeficiente de atrito cinético, podemos substituir (2) e (4) em (14):

$$\mu_c = -\frac{\Delta E_m}{P_y \cos \theta d}. \quad (15)$$

Como já sabemos, o valor de μ_c também pode ser obtido pela Segunda Lei de Newton:

$$F_R = m \cdot a. \quad (16)$$

Substituindo (5) e (8) em (16) temos:

$$P \sin \theta - \mu P \cos \theta = m \cdot a. \quad (17)$$

Substituindo (1) em (17) e simplificando m , podemos determinar o coeficiente de atrito cinético através da equação (18):

$$\mu_c = \frac{g \sin \theta - a}{g \cos \theta}. \quad (18)$$

Neste experimento, o carrinho será posicionado na altura h da trajetória. Nesse momento, a energia mecânica que atua sobre o carrinho é somente a energia relacionada à posição, ou seja, a energia potencial gravitacional.

Devido o carrinho ainda estar em repouso, a energia cinética relacionada ao movimento será nula no ponto inicial de deslizamento.

$$E_m = E_c + E_{pg}. \quad (19)$$

$$E_m = E_{pg} = m \cdot g \cdot h. \quad (20)$$

No decorrer do processo de deslizamento do carrinho, a energia potencial gravitacional vai diminuindo com a altura, sendo transformada em energia cinética.

A figura 2, mostra quando o carrinho chega ao ponto final de referência do plano inclinado onde ele terá velocidade máxima. Neste momento, a força peso não precisa ser decomposta, pois age somente na direção vertical.

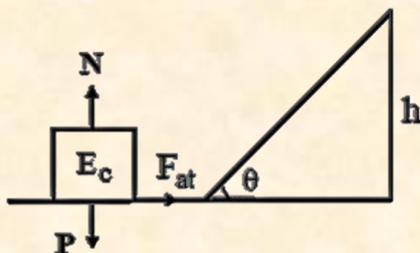


Figura 2: Energia Mecânica de um corpo em movimento no final do ponto referencial de um plano inclinado. **Fonte:** Própria autoria.

Objetivo Geral

Verificar a validade do Princípio da Conservação de Energia Mecânica através das transformações de energias em um plano inclinado com atrito.

Objetivos Específicos

- Calcular a aceleração através do gráfico $x \times t$.
- Calcular a velocidade instantânea em pontos específicos do plano inclinado.
- Calcular a energia cinética e potencial gravitacional em pontos específicos.
- Determinar a energia mecânica em pontos específicos.
- Determinar a energia dissipada pelo atrito entre o carrinho e a superfície do plano inclinado.
- Plotar o gráfico das energias cinética, potencial gravitacional e mecânica em função da distância percorrida pelo corpo.
- Determinar o coeficiente de atrito estático entre a superfície e o carrinho.
- Determinar o coeficiente de atrito cinético entre a superfície e o carrinho utilizando a Segunda Lei de Newton e o Princípio da Conservação de Energia Mecânica.
- Verificar se a Energia Mecânica do carrinho se conserva.

Materiais Utilizados

- 01 Cronômetro digital.
- 01 Rampa de madeira de 1,0 m x 0,1m (milimetrada).
- 01 Carrinho (bloco de madeira).

- 01 trena milimetrada.
- 06 blocos de madeira de diferentes alturas.

Procedimento Experimental

a) Meça com uma balança a massa do carrinho.

$$m = 0,085 \pm 1.10^{-4} \text{ kg}$$

b) Calcule o peso do carrinho utilizando $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

$$P = mg$$

$$P = 0,83 \text{ N}$$

Determinando o coeficiente de atrito estático (μ_e) entre as superfícies do plano inclinado e a do carrinho.

- c) Apoie a rampa de 1,0 de comprimento em uma superfície plana e nivelada.
- d) Com o carrinho apoiado, varie a altura h da rampa iniciando as medições a partir de 0,15 m em relação a superfície plana conforme mostra a figura 3.

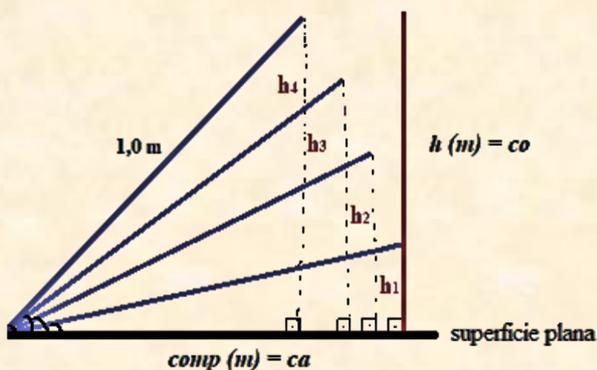


Figura 3: Variação da inclinação da rampa.
Fonte: Própria autoria.



Figura 4: Equipamento Experimental Plano Inclinado com Atrito **Fonte:** Própria autoria.

- e) Prossiga com as medições realizando variação na inclinação até que o carrinho esteja na iminência de deslizamento. Uma sugestão é que seja realizada medidas com variações de 5 cm de altura e, quando o carrinho tender ao deslizamento diminua o intervalo para variações de 1 cm.
- f) Registre os valores dos catetos adjacente e oposto e calcule o coeficiente de atrito estático para cada ângulo de inclinação.

Tabela 1: Ângulo de Inclinação \times Coeficiente de Atrito Estático

$h(m) = co$	$comp(m) = ca$	$tg\theta = \frac{co}{ca}$	$\mu_e = tg\theta$
0,15	0,989	0,15	0,15
0,20	0,980	0,20	0,20
0,25	0,968	0,26	0,26
0,30	0,954	0,31	0,31
0,31	0,951	0,33	0,33
0,32	0,947	0,34	0,34

Assim, o coeficiente de atrito estático crítico (μ_e) quando o carrinho se encontra na iminência de deslizamento é igual a aproximadamente 0,34.

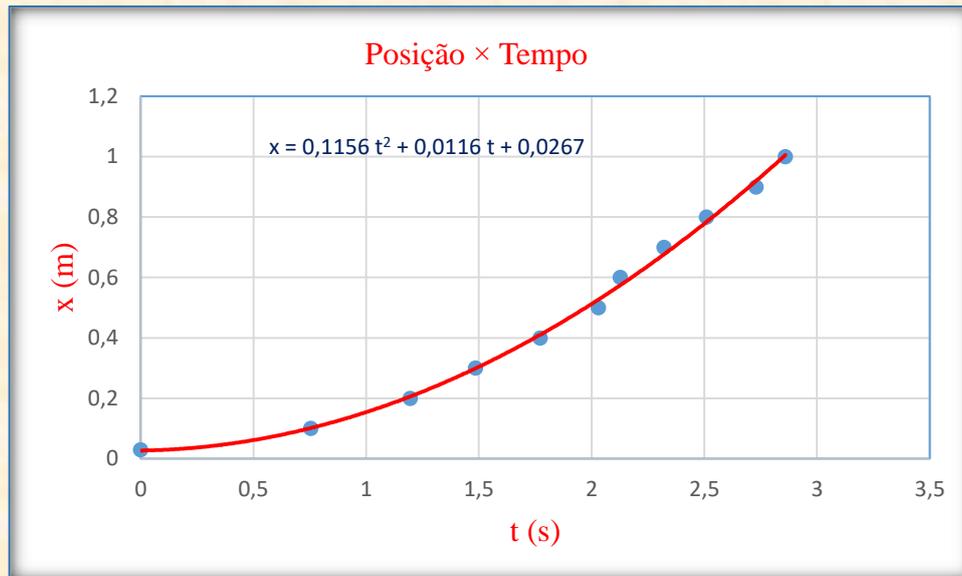
Calculando as intensidades das Energias Potencial Gravitacional, Cinética e Mecânica do carrinho num ângulo de inclinação próximo ao que o carrinho começou a deslizar.

- g) Para os valores de posição da tabela 2, cronometre e registre o instante de tempo em que o carrinho atingiu cada ponto. Realize cinco medições e faça a média do instante para cada posição.

Tabela 2: Posição em função do tempo

$x(m)$	$t(s)$	$x(m)$	$t(s)$	$x(m)$	$t(s)$
0,03	0	0,40	1,772	0,80	2,510
0,10	0,754	0,50	2,030	0,90	2,730
0,20	1,195	0,60	2,128	1,00	2,860
0,30	1,485	0,70	2,322		

h) A partir dos valores obtidos no item (a), trace o gráfico $x \times t$ e determine a aceleração do carrinho.



De acordo com a equação descrita no gráfico, pode-se identificar as variáveis substituindo os valores na equação da posição em função do tempo para o movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV).

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Diante à identificação das variáveis, determinou-se o valor da aceleração multiplicando o valor 0,1156 por 2.

$$a = 0,23 \text{ m/s}^2$$

Obs: Deixo a sugestão de um tutorial no qual é demonstrado como criar um gráfico e encontrar a equação da reta. O vídeo pode ser acessado pelo link: <https://youtu.be/SwWruTTjsJw>

- i) Com o valor da aceleração calculado anteriormente, determine a velocidade instantânea para cada posição do carrinho na rampa. Registre os valores na tabela 3.
- j) Utilizando as equações a seguir, calcule as intensidades das energias potencial gravitacional e cinética em cada posição representada na tabela a seguir. Registre esses valores na tabela 3.

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h \quad , \quad E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

- k) Com os valores das energias potencial gravitacional e cinética, utilize a equação abaixo para determinar a intensidade da energia mecânica. Registre os valores obtidos na tabela 3.

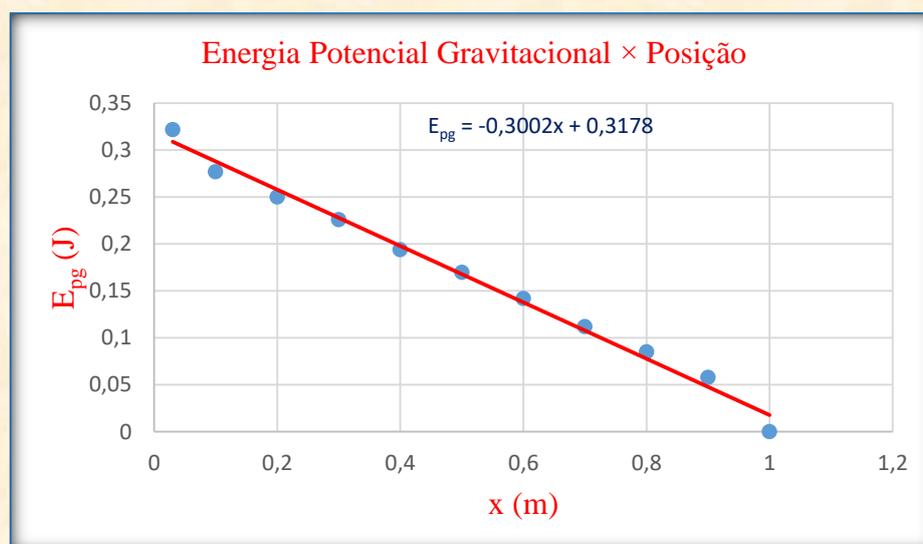
$$E_m = E_{pg} + E_c$$

Tabela 3: Posição em Função da Energia Mecânica

$x(m)$	$t(s)$	$v(m/s)$	$E_c (J)$	$h(m)$	$E_{pg} (J)$	$E_m (J)$
0,03	0,000	0,000	0,0000	0,322	0,268	0,268
0,1	0,754	0,173	0,00127	0,277	0,231	0,232
0,2	1,195	0,275	0,00321	0,250	0,209	0,212
0,3	1,485	0,342	0,0050	0,226	0,188	0,193
0,4	1,772	0,408	0,0071	0,194	0,162	0,169
0,5	2,030	0,467	0,0093	0,170	0,142	0,151
0,6	2,128	0,490	0,0102	0,142	0,118	0,128
0,7	2,322	0,534	0,0121	0,112	0,093	0,105
0,8	2,510	0,577	0,0141	0,085	0,071	0,085
0,9	2,730	0,628	0,0168	0,058	0,048	0,065
1,0	2,860	0,658	0,0184	0,000	0,000	0,018

Plotando os gráficos das energias em função da distância percorrida pelo carrinho no plano inclinado

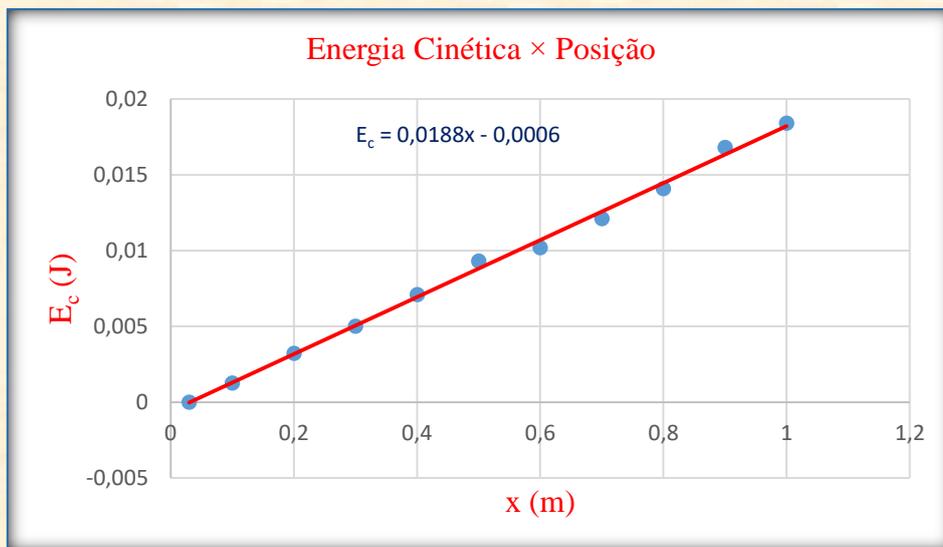
1) Trace o gráfico da Energia Potencial Gravitacional (E_{pg}) \times Posição (x)



m) De acordo com os valores obtidos na prática e registrados na tabela, resalte o que aconteceu com a intensidade da energia potencial gravitacional do carrinho quando ele percorreu distância diferentes. Aumentou, diminuiu ou permaneceu constante? Por que?

Podemos perceber que a energia potencial gravitacional do carrinho diminuiu de maneira significativa ao descer no plano inclinado. Isso se deve à variação decrescente da altura que o corpo deslizante estava em relação ao ponto de referência adotado como a base inferior do plano inclinado, portanto a energia potencial gravitacional diminuiu com a altura, mesmo tendo como constantes os valores da gravidade terrestre e a massa do carrinho.

n) Trace o gráfico da Energia Cinética (E_c) \times Posição (x)



o) O que aconteceu com a velocidade do carrinho enquanto ele descia o plano inclinado? A energia cinética aumentou, diminuiu ou permaneceu constante? Por que?

Pelos dados obtidos nesta atividade experimental, os quais estão registrados na tabela 1, pode-se observar que a velocidade do carrinho aumenta com a posição x .

Como a energia cinética é diretamente proporcional ao quadrado da velocidade de um determinado corpo, pode-se observar na tabela que seu valor aumentou em função da posição do carrinho no plano inclinado.

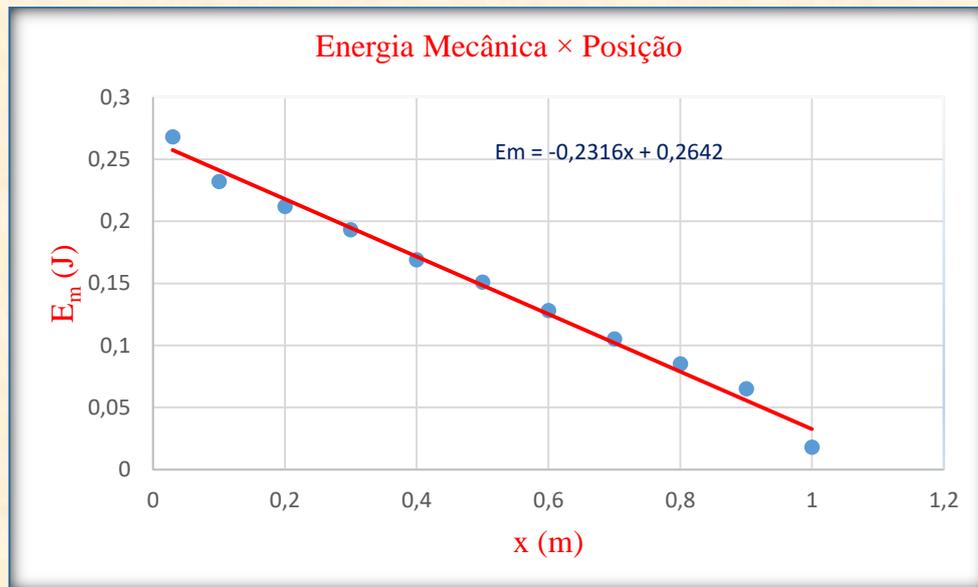
p) O que você acha que aconteceria com a intensidade da energia cinética se a rampa do plano sofresse variação na inclinação para:

0° o carrinho não se deslocaria na superfície do plano inclinado.

60° o carrinho se deslocaria com maior velocidade, portanto maior energia cinética.

90° o carrinho se deslocaria em queda livre.

q) Trace o gráfico da Energia Mecânica (E_m) \times Posição (x)



r) A Energia Mecânica do carrinho se conservou no final do processo? Explique.

Não, pois a energia mecânica diminui à medida que o carrinho desce o plano inclinado, conforme podemos ver no gráfico de $E_m \times x$. A energia mecânica foi dissipada na forma de energia térmica por causa do atrito entre o carrinho e a superfície.

Determinando a Energia dissipada pelo atrito entre o carrinho e a superfície da rampa do plano inclinado

s) Determine a variação de energia mecânica para as posições descritas na tabela 4.

Tabela 4: Energia Dissipada entre dois pontos

$x(m)$	$E_m(J)$	$\Delta E_m(J)$
0,03	0,268	- 0,075
0,3	0,193	
0,03	0,268	- 0,163
0,7	0,105	
0,03	0,268	- 0,250
1,0	0,018	

- t) Com os resultados obtidos e registrados na tabela, como você explica a variação de energia mecânica?

Isso se deve à presença de atrito existente entre a superfície de contato da rampa e o carrinho, fazendo com que a variação de energia mecânica aumente em módulo à medida que a distância percorrida do carrinho aumenta.

Determinando o coeficiente de atrito cinético (μ_c) entre a superfície do plano inclinado e a do carrinho.

- u) Com o valor da aceleração e utilizando a Segunda Lei de Newton descrita na equação (18), determine o coeficiente de atrito cinético do sistema.

Sendo que o carrinho começou a deslizar quando o plano estava inclinado a uma altura de 32,2 cm, foi determinado o $\text{sen}\theta$ e $\text{cos}\theta$.

$$\bullet \quad \text{sen}\theta = \frac{co}{H} = \frac{32,2 \text{ cm}}{100 \text{ cm}} = 0,322$$

$$\bullet \quad \text{cos}\theta = \frac{ca}{H} = \frac{94,7 \text{ cm}}{100 \text{ cm}} = 0,947$$

$$\mu_c = \frac{g \text{sen}\theta - a}{g \text{cos}\theta} = \frac{(9,8)(0,322) - 0,23}{(9,8)(0,947)} = 0,32$$

- v) Considerando a variação de energia mecânica de 0,03 m a 1 m de deslocamento e utilizando a equação (15), determine o coeficiente de atrito cinético entre o carrinho e a rampa do plano inclinado.

$$\mu_c = -\frac{\Delta E_m}{P \text{cos}\theta d}$$

$$\mu_c = \frac{0,250}{(0,085)(9,8)(0,947)(0,97)} = 0,33$$

- w) Compare os valores do atrito cinético obtido nos itens (v) e (w).

Os valores foram bem aproximados, o que já era esperado. Porém essa pequena diferença se deve a erros experimentais, aproximação de valores de medidas, entre outros.

- x) Compare os valores dos coeficientes de atrito cinético e estático.

Como já era esperado, o valor do coeficiente de atrito estático (na iminência de deslizamento) foi superior ao valor do coeficiente de atrito cinético, ou seja, quando o bloco estava em movimento ($\mu_e > \mu_c$).

Discussão

Foi possível averiguar que a energia mecânica do carrinho diminuiu no decorrer do percurso do carrinho no plano inclinado. O valor obtido para o coeficiente de atrito cinético entre o plano inclinado e o carrinho foi 0,32 utilizando o Princípio de Conservação de Energia e de 0,33 quando calculado pela Segunda Lei de Newton.

Conclusão

A partir dos resultados obtidos através da coleta de dados nesta atividade experimental, verificou-se que para que a Energia Mecânica do carrinho se conserve, este não deve sofrer ação de forças externas, tais como a força de atrito entre as superfícies de contato. Se levarmos em conta o sistema carrinho + plano inclinado, a Energia Mecânica do sistema se conserva e o Princípio de Conservação da Energia Mecânica é satisfeito. Além disso, foi observado que o valor do coeficiente de atrito estático do plano inclinado e carrinho aumentou com a inclinação da rampa, atingindo seu valor máximo a uma altura de 0,32 m em relação à base da superfície horizontal do plano. Aumentando a inclinação em mais 2 mm, foi observado que o carrinho começou a se mover, resultando a determinação da média do coeficiente de atrito cinético igual a 0,325, cujo valor foi inferior ao coeficiente de atrito estático, o que já era esperado.

Referências

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2006. vol 1.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. v. 1.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A.. **Física I: Mecânica**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2008. Tradução de: Sonia Midori Yamamoto; Revisão técnica de: Adir Moysés Luiz.

Rosalvo Miranda. **Gráfico de uma função Quadrática no Excel**. 02 abr. 2018. Disponível em: <<https://youtu.be/SwWruTTjsJw>>. Acesso em: 29 set. 2021.