



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

JOSÉ LAÉRCIO DA SILVEIRA ARAÚJO FILHO

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE TRABALHO-ENERGIA COM
SIMULADORES VIRTUAIS E KITS ARTESANAIS

MOSSORÓ – RN

2022

JOSÉ LAÉRCIO DA SILVEIRA ARAÚJO FILHO

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE TRABALHO-ENERGIA COM
SIMULADORES VIRTUAIS E KITS ARTESANAIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) 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.

Orientador: PROF. DR. HIDALYN THEODORY C. M. DE SOUZA

MOSSORÓ – RN

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

AA663 Araújo Filho, José Laércio da Silveira.
s Sequência didática para o ensino de trabalho-
 energia com simuladores virtuais e kits
 artesanais / José Laércio da Silveira Araújo
 Filho. - 2022.
 67 f. : il.

 Orientador: Hidalyn Theodory Clemente Mattos
 de Souza.
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
 Física, 2022.

 1. Teorema trabalho-energia. 2. Princípio de
 conservação da energia. 3. Simuladores virtuais.
 4. Kits artesanais. 5. Teoria dos campos
 conceituais. I. Mattos de Souza, Hidalyn Theodory
 Clemente, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE TRABALHO-ENERGIA COM SIMULADORES VIRTUAIS E KITS ARTESANAIS

José Laércio da Silveira Araújo Filho

Orientador:
Prof. Dr. Hidalyn Theodory Clemente Mattos de Souza

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal Rural do Semi-Árido 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.

Aprovada em 11 de fevereiro de 2022, pela banca examinadora:

HIDALYN THEODORY CLEMENTE  Assinado de forma digital por HIDALYN THEODORY
CLEMENTE MATTOS DE SOUZA:02755259450
MATTOS DE SOUZA:02755259450 Dados: 2022.05.11 10:15:37 -03'00'

Dr. Hidalyn Theodory Clemente Mattos de Souza (Presidente - UFERSA)

Jose Ronaldo Pereira da  Assinado de forma digital por Jose
Silva:80730752453 Ronaldo Pereira da Silva:80730752453
Dados: 2022.05.11 11:13:58 -03'00'

Dr. José Ronaldo Pereira da Silva (Membro Externo - UERN)

GUSTAVO DE OLIVEIRA  Assinado de forma digital por GUSTAVO DE
OLIVEIRA GURGEL REBOUCAS:03574307438
GURGEL DN: cn=GUSTAVO DE OLIVEIRA GURGEL
REBOUCAS:03574307438, ou=UFERSA -
REBOUCAS:03574307438 Universidade Federal Rural do Semi-Arido,
o=ICPEdu, c=BR
8 Dados: 2022.05.11 16:20:50 -03'00'

Dr. Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças (Membro Interno - UFERSA)

Jusciane da Costa e  Assinado de forma digital por
Silva Jusciane da Costa e Silva
Dados: 2022.05.11 14:36:09 -03'00'

Dra. Jusciane da Costa e Silva (Membro Interno - UFERSA)

Mossoró
2022

Aos meus pais e irmãos, pelo apoio irrestrito e constante em todos os momentos dessa difícil jornada. E aos meus filhos, motivo e razão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À UFERSA pela oportunidade oferecida e qualidade, tanto das instalações, como do excelente quadro de professores.

À cidade de Mossoró pela acolhida, pela infraestrutura e colaboração do seu povo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Hidalyn Theodory que, com muita paciência e dedicação aceitou e me orientou neste mestrado.

Ao meu querido filho Mário, pela tradução de alguns importantes textos.

A todos os amigos de mestrado e principalmente: Giló, Marcelo, Aécio, Marília, Fábio e Jonarc, por terem dividido as viagens e compartilhado alegrias, ansiedades, experiências e conselhos.

Aos alunos da Escola de Ensino Médio Alice Moreira de Oliveira e, principalmente, ao corpo gestor dessa escola pela disponibilidade na aplicação e teste do Produto Educacional.

Um trabalho te dá um propósito e um significado.

A vida é vazia sem ambos.

Stephen Hawking

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE TRABALHO-ENERGIA COM SIMULADORES VIRTUAIS E KITS ARTESANAIS

Por

José Laércio da Silveira Araújo Filho

Submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em 11 de Fevereiro de 2022, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física.

RESUMO

Este trabalho sugere uma sequência didática com o objetivo de facilitar a interpretação e o reconhecimento de invariantes operatórios, assim também como a construção de significados físicos intervindos pela diversificação de situações. As discursões envolvem as grandezas físicas que compreendem a base de formação para o entendimento do princípio de conservação da energia mecânica, assim também como alguns processos que implicam seu uso, como as transformações de energia, a realização e a definição completa de Trabalho. Para isso recorreremos ao auxílio de simuladores virtuais capazes de correlacionar eventos e, paralelamente a isso, usamos kits artesanais simples. Promovemos então ao estudante a formação de conexões fenomenológicas onde, teoricamente, não ocorreriam vínculos. Buscamos, com isso, contornar uma grande dificuldade no ensino de Física: a compreensão e a formação de significados e suas relações com os conceitos envolvendo eventos e grandezas físicas. Simultaneamente, teremos a possibilidade de contrastar os resultados e medições entre o virtual e o real. Mostramos também que o acompanhamento do desenvolvimento cognitivo do estudante por parte do professor (aplicador) e a pedagogia proposta pela Teoria dos Campos Conceituais do francês Gérard Vergnaud constituem um conjunto de importantes contribuições para o processo de aprendizagem.

Palavras-chave: Teorema trabalho-energia. Princípio de conservação da energia. Simuladores virtuais. Kits artesanais. Teoria dos campos conceituais.

DIDACTIC SEQUENCE FOR THE TEACHING OF WORK-ENERGY WITH VIRTUAL SIMULATORS AND CRAFT KITS

By

José Laércio da Silveira Araújo Filho

Submitted to the Postgraduate Program in Physics Teaching in December of 2021, as
a partial requirement to obtain a Master's Degree in Physics Teaching.

ABSTRACT

This work suggests a didactic sequence with the objective of facilitating the interpretation and recognition of operative invariants, as well as the construction of physical meanings intervened by the diversification of situations. Discussions involve the physical quantities that form the basis of training for understanding the principle of conservation of mechanical energy, as well as some processes that imply its use, such as energy transformations, the realization and complete definition of Work. For this, we resort to the help of virtual simulators capable of correlating events and, in parallel, we use simple handcrafted kits. Then, we promote to the student the formation of phenomenological connections where, theoretically, there would be no connection. With this, we seek to circumvent a major difficulty in teaching Physics: the understanding and formation of meanings and their relationships with concepts involving events and physical quantities. Simultaneously, we will have the possibility to contrast the results and measurements between the virtual and the real. We also show that the monitoring of the student's cognitive development by the teacher (applicator) and the pedagogy proposed by the Theory of Conceptual Fields by the Frenchman Gérard Vergnaud constitute a set of important contributions to the learning process.

Keywords: Work-Energy Theorem. Principle of energy conservation. Virtual Simulators. Handcrafted kits. Theory of Conceptual Fields.

LISTA DE FIGURAS

2.1 Corpo se movendo ao longo de um deslocamento $\vec{d}$	18
2.2 Trabalho realizado por uma força constante.....	18
2.3 Força constante atuando sobre um bloco e o ângulo θ de aplicação.....	19
2.4 Trabalho devido a aplicação de uma força vertical constante sobre uma esfera rolando sobre uma superfície curva de atrito desprezível.....	20
2.5 Atuação de uma força variável.....	21
2.6 Representação gráfica de uma força variável.....	22
2.7 Representação gráfica do trabalho de uma força média.....	22
2.8 Representação gráfica do trabalho realizado por uma força.....	23
2.9 Variação da velocidade devido à atuação de uma força.....	23
2.10 Movimento vertical de um corpo.....	26
2.11 Fenomenologia da lei de Hooke para molas.....	27
2.12 Plano de atuação de uma força variável.....	28
2.13 Atuação de uma força conservativa.....	30
3.1 Triângulo epistemológico do processo de conceitualização.....	34
4.1 Interface de simulação do Phet para o sistema massa-mola.....	38
4.2 Ambientes de simulação Phet para o sistema massa-mola.....	38
5.1 Sistema massa-mola horizontal e vertical.....	43
5.2 Parque energético para skate.....	44
5.3 Laboratório do pêndulo simples.....	45
5.4 <i>Looping</i>	46
5.5 Partes principais do <i>looping</i>	47
5.6 Partes principais do sistema massa-mola vertical.....	48
6.1 Gráfico da Questão 01.....	55
6.1 Gráfico da Questão 02.....	55
6.1 Gráfico da Questão 03.....	56
6.1 Gráfico da Questão 04.....	56
6.1 Gráfico da Questão 05.2.....	56
6.1 Gráfico da Questão 05.3.....	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. O PROBLEMA DA FÍSICA	11
1.2. SOBRE O TEMA: ENERGIA	12
1.3. SÍNTESE	12
1.4 OBJETIVOS.....	13
2. CONTEXTUALIZAÇÃO DA FÍSICA DO PRODUTO EDUCACIONAL	14
2.1 UM BREVE RELATO HISTÓRICO	14
2.2 ENERGIA	15
2.3 TRABALHO.....	17
2.3.1 Trabalho de uma força constante	17
2.4 TRABALHO TOTAL.....	21
2.5 TRABALHO COM FORÇAS VARIÁVEIS	21
2.6 ENERGIA CINÉTICA E O TEOREMA DO TRABALHO-ENERGIA.....	23
2.7 ENERGIA POTENCIAL	25
2.7.1 ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL.....	25
2.7.2 ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA.....	27
2.7.3 OUTRAS FORMAS DE ENERGIA POTENCIAL.....	29
2.7.4 FORÇAS CONSERVATIVAS E A LEI DE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA.....	29
3. A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS	32
3.1 CAMPO CONCEITUAL.....	33
3.2 A TEORIA	34
3.3 COMPETÊNCIAS DO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM.....	36
4. DESCRIÇÃO METODOLÓGICA.....	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1 O PRODUTO EDUCACIONAL	42
6. APLICAÇÃO DO PRODUTO	49
6.1 OS ENCONTROS	49
7. CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS	62
ANEXO I.....	64
ANEXO II	65

1. INTRODUÇÃO

O estudo e análise da psicologia cognitiva é executada há, pelo menos, um século. O interesse pela aprendizagem científica foi e é motivo de extensos e importantes trabalhos dentro da denominada Teoria de Aprendizagem. Um expoente nessa área, Vygotsky, separa o conhecimento em duas partes: os conceitos espontâneos (cuja aprendizagem ocorre no cotidiano) e não espontâneos (vistos em um contexto específico). A absorção de conteúdos é lenta e gradual, seguindo uma linha que começa no uso de palavras simples. A partir delas, ocorrem generalizações com a consequente representação mais avançada do tema. Assim, são obtidos conceitos verdadeiros. Há, no entanto, a necessidade de investigação no desenvolvimento dos conceitos criados pelos alunos.

Experiências mostram, por outro lado, que esse processo é ineficaz e apenas se aproxima do conhecimento real, uma imitação do conhecimento. Muito disso é explicado pelo pouco ou nenhum avanço no processo de investigação, além de pouco esforço para a compreensão epistemológica dos conceitos científicos, notadamente dentro da Física.

1.1. O PROBLEMA DA FÍSICA

Na Física, o aluno (sujeito) talvez tenha a capacidade de descrever corretamente uma situação através das definições (muitas vezes jogadas) recebidas. Ele pode citar ideias sobre o tema, mas não consegue descrever e detalhar o assunto. Isso ocorre por falta do uso de uma linguagem coerente. Não há vivência, não existe intimidade com símbolos correspondentes. Isso dificulta também a possibilidade de relacionamentos entre temas. Aqui o principal problema é a necessidade de prática.

Ironicamente, foi na prática que muitos conceitos físicos foram elaborados. O desenvolvimento tecnológico ocorrido na Revolução Industrial (século XVIII), por exemplo, levantou a necessidade de comparação do desempenho de um animal com o de uma máquina. O escocês James Watt (1736 – 1819) demonstrou o número de cavalos (eram usados como força de tração) que poderiam ser substituídos pela máquina por ele inventada (a máquina a vapor). Daí surgiu o conceito de Potência Média. O próprio Teorema Trabalho – Energia, definido pelo francês Lazare Carnot (1753 – 1823), surgiu para responder à pergunta: quanto combustível é necessário para realizar certo Trabalho? (HEWITT, 2015).

É, no entanto, errado admitir que todo conceito sai de uma necessidade prática. Não é fácil perceber isso quando se torna claro o conhecimento e se delimita o tema em questão.

Nem todos os invariantes operatórios têm origem a partir dos conceitos pragmáticos, já que nem todos são formulados e adotados pela comunidade científica que os utiliza. Mas todos se formam ao longo da experiência, a qual fornece uma contribuição necessária ao desenvolvimento (VERGNAUD, 2007, p. 290).

Observamos que, sob alguns aspectos, o desenvolvimento histórico de certos conceitos é desorganizado, além de ser dividido desnecessariamente. A origem abstrata e a associação a fenômenos concretos, também dificultam a aprendizagem.

1.2. SOBRE O TEMA: ENERGIA

O conceito de energia é, talvez, o mais importante de todo o programa do atual Ensino Médio, apesar de ser uma grandeza abstrata. O estudo das diversas formas de energia e suas transformações nos leva a uma das maiores generalizações da Física: a Lei de Conservação da Energia. Por sua vez, essa lei é retratada confusamente, pois:

1 – Na definição de Trabalho de uma Força, o aluno apenas é condicionado a multiplicar a Força pelo Deslocamento (DOCA, 2018; CALÇADA, 2012) sendo que em raríssimos casos é relacionada a transferência de energia (ARAGÃO, 2005);

2 – O uso de linguagem própria para a situação não é observado, ocorrendo muitas simplificações e resumos exagerados;

3 – Existe a falta de uma abordagem que faça uma ligação de conceitos;

4 – Não é dada importância ao aspecto histórico no desenvolvimento do próprio conceito de energia (aspecto filosófico).

Ou seja, o tema é retratado com o objetivo simples de resolver situações clássicas, comuns. Cada caso é visto como único, restrito e tratado com uma ferramenta específica, anteriormente determinada, incapaz de ser reaproveitada e interrelacionada.

1.3. SÍNTESE

Para uma tentativa de melhor aprendizagem por parte do sujeito, devemos considerar, por um lado, os aspectos históricos e epistemológicos do conceito de energia. Por outro lado, devemos salientar sempre de que forma esse conhecimento, absorvido, pode ser relacionado com outros temas paralelos e com o cotidiano. Daí a grande importância do quadro conceitual envolvendo o tema Energia e principalmente o Teorema Trabalho – Energia (ou teorema da Energia Cinética).

Neste trabalho, em um sentido amplo, teremos como objetivo a definição do Princípio de Conservação da Energia Mecânica. Em um aspecto mais restrito, o Teorema do Trabalho-Energia e o conceito de energia potencial. Para isso, seguiremos as diretrizes:

1 – Introduzir (reapresentar), de forma espontânea, os conceitos e expressões fundamentais à construção do pensamento;

2 – Apresentar o contexto do desenvolvimento histórico do conceito de Trabalho e Energia;

3 – Usar simuladores para análise, conhecimento e relacionamentos desses conceitos, por parte do aluno;

4 – Montar esquemas sobre os conceitos;

5 – Verificar e analisar os resultados obtidos.

A teoria dos Campos Conceituais do francês Gérard Vergnaud permite investigar o sujeito durante sua ação na resolução de situações. Essa investigação pode ocorrer, inclusive, durante a realização de aulas remotas, com áudio e vídeo. A mediação do professor – aplicador é dada, primeiramente, com os aspectos teóricos, depois metodológicos e depois empíricos. Os dados de cada capítulo são transcritos e analisados com a descrição de cada etapa de aplicação do produto.

1.4 OBJETIVOS

Objetivo Geral:

Estudar o desenvolvimento da aprendizagem e da cognição em tópicos de Física relacionados ao Trabalho e Energia, levando em consideração a construção conceitual situada e intervinda por meio da diversificação de situações.

Objetivos Específicos:

- Estudar aspectos do processo de construção e formação dos conceitos, particularmente os que tratam das concepções conceituais dos discentes sobre os modelos em Física.
- Salientar a importância da definição dos conceitos de Trabalho, principalmente com relação à transformação de energia (aspecto desprezado em várias obras direcionadas ao Ensino Médio), assim também como as várias formas de Energia dentro da Mecânica.
- Utilizando simuladores, vídeos, experimentos artesanais e situações do dia-a-dia e levando em consideração a teoria de aprendizagem de Gérard Vergnaud, construir uma sequência de atividades (situações) como intervenções para a conceitualização durante o processo de aprendizagem e orientação no processo de ensino (VERGNAUD, 1990; CARVALHO JUNIOR, 2011).
- Comparar os resultados virtuais obtidos com o uso de simuladores com os reais obtidos com o uso de kits artesanais.
- Propor formas de diagnosticar a aprendizagem e construir uma avaliação efetiva, por exemplo, levando em consideração aspectos linguísticos e terminológicos na formação e compreensão conceitual (descritiva e discursiva) dos discentes e docentes.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO DA FÍSICA DO PRODUTO EDUCACIONAL

Neste capítulo é apresentado o conteúdo de Física envolvido e discutido com o auxílio do produto educacional. Com olhar crítico, destacaremos os aspectos essenciais para o aprendizado dos discentes.

2.1 UM BREVE RELATO HISTÓRICO

O estagirita, Aristóteles (Estagira, 384 a.C. — Atenas, 322 a.C), foi o grego fundador da escola chamada “peripatética”, que se reunia no Liceu. Em seus passeios com partidários sob os portais cobertos do local, tratava sobre lógica, psicologia, ciências, política e biologia. Foi o inventor da palavra *física*, derivada do grego *Φύσις*, que significa natureza. Suas ideias a respeito do arranjo vertical das quatro unidades básicas – terra, água, ar e fogo e seus movimentos naturais – foram fundamentais para o progresso da ciência. Galileu, inclusive, teve que lutar duramente contra essas ideias para a libertação da filosofia aristotélica. Foi discípulo, mas ardente opositor de Platão (GAMOW, 1980).

A descrição matemática de eventos, no entanto, era muito problemática, pois a matemática grega estava limitada quase que exclusivamente à Geometria. A Álgebra seria inventada muito depois pelos árabes. Assim, diversas demonstrações se valiam de meios geométricos ao invés de equações como se é feito atualmente. Somente com a Geometria de Euclides foi possível formular postulados, depois de um certo número de proposições (GAMOW, 1980).

Coube a Pitágoras (Samos, 570 a.C. – Metaponto, 495 a.C) convencer de que o mundo era governado por números. Para isso, investigou a relação entre os comprimentos das cordas de instrumentos musicais com os comprimentos harmônicos de sons. Concluiu, com seu *monocórdio*, que relações numéricas simples dos comprimentos das cordas estavam relacionadas aos pares de sons harmônicos. A razão de comprimento 2:1 correspondia ao que hoje é denominado de oitava; dentro desse contexto, 3:2 é uma quinta e 4:3 é uma quarta. Os sons harmônicos aos ouvidos relacionavam-se a razões simples com os números 1, 2, 3 e 4, os *Tetractys*, os números sacros, a fonte e raiz da sempre fluida natureza. Essa provavelmente foi a primeira formulação matemática de uma lei física, e o primeiro passo para o desenvolvimento do que hoje conhecemos como física teórica. Os pitagóricos construíram assim a primeira ponte entre o mundo e os sentidos. Eles buscavam uma compreensão do mundo através de uma descrição matemática de fenômenos. Criavam assim uma nova estética: equacionar a natureza com leis matemáticas, unindo a beleza com a verdade (GAMOW, 1980).

De grande destreza matemática, Arquimedes (Grécia, 287 a.C. – 212 a.C.) viveu em Siracusa, uma colônia da Sicília. Realizou diversas e importantes contribuições para diferentes ramos da Física. Nos dois volumes do seu famoso livro “*Sobre o Equilíbrio dos Planos*” desenvolve as leis das alavancas e discute o problema de encontrar o centro de gravidade de qualquer corpo. Com o auxílio da Geometria de Euclides, Arquimedes formula as leis fundamentais da Estática. Em uma de suas proposições (a 6ª do primeiro volume) implica a Lei Fundamental da Alavanca: “*dois pesos se equilibram a distâncias*

reciprocamente proporcionais a seus pesos”. Essa proposição é seguida da sétima, na qual se prova a mesma tese com pesos incomensuráveis (GAMOW, 1980).

O descobrimento do Princípio da Alavanca e suas diversas aplicações produziram uma grande sensação no mundo e é usada inclusive na complicada maquinaria da engenharia moderna. Permite também introduzir o importante conceito mecânico de Trabalho executado por uma força atuante: *“o produto da força pelo deslocamento de um ponto no qual é aplicada uma força”* (GAMOW, 1980). O princípio da igualdade dos trabalhos realizados pelos braços de uma alavanca pode ser utilizado por outro aparato análogo: as polias.

Ainda na Escola Alexandrina (Alexandria foi fundada em 332 a.C. na costa egípcia do Mediterrâneo) pode-se destacar Heron (Alexandria, 10 d.C. – Alexandria, 80 d.C.), que foi mais engenheiro e inventor do que físico. Em seu livro “Mecânica” encontra-se muitas afirmações exatas, mas também muitos erros matemáticos. Além da descrição de vários tipos de engrenagens e mecanismos de rodas dentadas, tem-se também um aparato de jato de vapor, que pode ser considerado o precursor dos modernos motores de propulsão a jato.

2.2 ENERGIA

“É importante observar que hoje não sabemos o que é energia. O que sabemos é que existe uma lei governando todos os fenômenos naturais conhecidos até hoje. Não existe nenhuma exceção conhecida a essa lei, que é conhecida pelo nome de Lei da Conservação da Energia. Ela estabelece que há uma certa quantidade, que nós chamamos energia, cujo valor não se altera, nas várias mudanças que ocorrem na natureza. Ela não é a descrição de um mecanismo ou de qualquer coisa concreta. É uma lei abstrata porque é um princípio matemático. Ela exprime o fato de que, quando calculamos um certo número (o valor da energia) no início e no fim de um processo, os resultados são iguais.” (FEYNMAN, 2008) .

Embora o conhecimento e a pesquisa sobre energia coexistam na descrição de fenômenos naturais governados por leis físicas, o conceito de energia continua abstrato, ou seja, até onde se conhece, ainda resiste a uma definição mais profunda que a de um número associado ao estado de um sistema de um ou mais corpos. Por outro lado, o princípio de conservação da energia, resultante da homogeneidade do tempo, torna possível definir os conceitos de energia cinética e energia potencial como relacionadas ao estado de movimento (velocidade) e da natureza da interação (configuração ou relacionada à posição relativa) entre os corpos ou partes de um sistema isolado (não atuam forças externas) e fechado (não há troca de partículas), respectivamente, resultando, enfim, nos conceitos de energia potencial gravitacional, elástica, entre outras. Ao passo que a Lei de Conservação da Energia descreve como as formas de energias podem ser convertidas umas nas outras, nenhuma exceção a essa lei foi encontrada até este momento (HEWITT, 2015).

A manifestação da energia em suas diferentes formas torna-se o fator essencial para se compreender e descrever os fenômenos da natureza. Quando definida adequadamente, os números associados as suas diferentes formas tornam-se essenciais na prática e bem-estar humano, como por exemplo, serem úteis para melhorar a eficiência

de máquinas e dispositivos em geral e na previsão de resultados experimentais (HALLIDAY, 2018, p.148).

Na Europa do século XVIII havia um grande debate sobre a natureza e o conceito do *oomph* do qual todos os objetos em movimento seriam dotados. Os ingleses acreditavam que o *oomph* era definido pelo produto massa x velocidade, enquanto os alemães sustentavam que se tratava de massa x velocidade elevada ao quadrado. A disputa foi finalmente resolvida quando Emilie du Chatelet (França, 1706 – 1749) escreveu um artigo sobre as ideias e experimentações de outro cientista, citando uma prática simples: quando uma pequena esfera de bronze cai sobre a argila, ela deixa uma depressão no material (HEWITT, 2015, p.110). Se a esfera bater com o dobro da velocidade, a depressão produzida era 4 vezes (2 ao quadrado) mais funda. Com velocidade 3 vezes maior, produzia uma depressão 9 vezes (3 ao quadrado) mais funda. Assim, a comunidade científica, levando em consideração não só a prática descrita, mas também o grande respeito que Emilie tinha perante a sociedade, definiu que o *oomph* de objetos em movimento é *proporcional à massa x velocidade ao quadrado*.

Hoje sabemos que para um corpo está em movimento foi necessário a realização de um *Trabalho* (W) devido à atuação de uma força (ou uma resultante não nula de forças) sobre esse corpo. Na situação descrita, o corpo possui uma energia associada ao movimento, ou seja, ele tem *Energia Cinética* (E_c). Essa energia depende não só de sua rapidez, mas também de sua massa. A variação da energia cinética de um corpo em movimento é igual ao trabalho necessário para modificar sua velocidade de um ponto a outro de seu percurso. Com outras palavras, pode-se dizer que essa energia corresponde ao trabalho necessário para que um corpo varie sua velocidade a partir do repouso, ou levar um corpo em movimento ao repouso:

$$\text{Trabalho} = \text{variação da energia cinética}$$

$$\text{Força} \cdot \text{deslocamento} = \text{variação da energia cinética}$$

Importante salientar que Trabalho não é uma forma nova de energia, mas uma maneira de medir quando de energia é transferida (ou retirada) de um corpo, ou de transformar uma forma de energia em outra, existindo somente durante o período de atuação de uma força resultante não nula sobre esse corpo. Embora abstrata, a relação entre trabalho e energia cinética explica muitos fenômenos naturais. A realização de trabalho pode inclusive alterar a energia potencial de uma carga elétrica ou a energia térmica de um sistema termodinâmico.

Enfatizamos, também, que algumas literaturas definem o trabalho com o fator *distância*, o que é verdade para o caso unidimensional, em que coincide com o módulo do deslocamento. Nesse caso, o sentido é o mesmo do movimento. Porém, note que optamos por definir o trabalho em relação ao deslocamento, pois assim adequamos a expressão ao rigor matemático de sua definição pelo *produto escalar* entre os vetores força e deslocamento, aos quais destacamos com negrito. Com isso também asseguramos que, no caso de um movimento unidimensional, a contribuição de uma força oblíqua para o movimento de um corpo de um ponto p_1 para outro p_2 seja a daquela componente da força paralela a direção do movimento e, desse modo, o conteúdo poderá ser apresentado para estudantes sem o conhecimento das propriedades matemáticas dos produtos para vetores.

Deve-se considerar também a possibilidade de armazenamento de energia por um sistema. Essa energia, que pode ou não ser utilizada, depende da posição dos corpos envolvidos na interação (que pode ser de campo ou de contato) e é denominada de *Energia Potencial* (E_p). Dentro desse contexto, um corpo próximo à superfície da Terra pode variar sua energia cinética e se movimentar dentro de um espaço que apresente as condições necessárias para isso: o Campo Gravitacional. Dentro desse campo, o corpo pode adquirir uma certa quantidade de energia cinética devido à sua posição, pois a energia potencial do sistema corpo-Terra atuará sobre a carga por meio da força gravitacional que transferirá (ou retirará) energia cinética dela. Essa energia transferida (ou retirada) é quantificada pelo trabalho realizado sobre (ou pelo) o corpo.

A energia potencial, no entanto, constitui-se em um significado físico somente quando ela se transforma de uma forma em outra de energia, ou seja, quando realiza trabalho, que por sua vez, somente faz sentido durante a atuação de uma força sobre um objeto do sistema, como já mencionado.

Dar, então, uma definição para energia torna-se secundário, pois o mais importante é definir como ela se comporta, como ela se transforma e como ela pode ser utilizada. O estudo das diversas formas de energia nos leva a uma das mais importantes leis da Física: a Lei da Conservação da Energia (HEWITT, 2015, p.117):

A energia não pode ser criada ou destruída; pode apenas ser transformada de uma forma para outra, com sua quantidade total permanecendo constante.

A seguir vamos descrever quantitativamente formas de quantificar as grandezas discutidas nesta seção, ilustrando sua evolução para que possamos compreender melhor como é possível relacioná-las umas com as outras à medida que o tempo transcorre e o quanto elas são necessárias para se descrever um fenômeno adequada e elegantemente.

2.3 TRABALHO

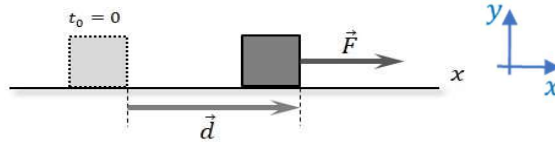
2.3.1 Trabalho de uma força constante

Lembrando o trabalho de Arquimedes e sua Lei Fundamental da Alavanca: “*dois pesos se equilibram a distâncias reciprocamente proporcionais a seus pesos*”, podemos introduzir o importante conceito mecânico de Trabalho realizado por uma força atuante: “*o produto da força pelo deslocamento de um ponto no qual é aplicada uma força*” (GAMOW, 1980, p.23). Aqui observamos que quando essas duas grandezas aparecem, sempre é realizado um trabalho: a ação de uma força e o consequente movimento de algum corpo pela força aplicada. Pode-se definir, então, que Trabalho é o esforço exercido sobre algo que fará sua energia variar. Para uma força constante e um movimento retilíneo na mesma direção da força (Figura 2.1), define-se o Trabalho que a força aplicada realiza sobre um objeto como o produto dos valores dos módulos da força e do deslocamento ao longo da qual o objeto foi movimentado:

Trabalho = força · deslocamento

$$W = Fd \quad (2.1)$$

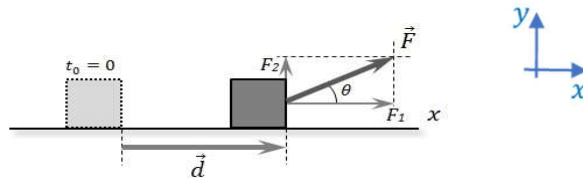
Figura 2.1 Corpo se movendo ao longo de um deslocamento $\vec{d}$. Uma força constante $\vec{F}$ atua sobre ele na mesma direção e no mesmo sentido do movimento.



Fonte: Adaptado: Young; Friedman, 2018, p. 191.

Entretanto, podemos imaginar uma força formando um ângulo θ ($0^\circ \leq \theta < 90^\circ$) com a direção do movimento (Figura 2.2). Neste caso, $\vec{F}$ possui um componente $F_x = F\cos\theta$ paralelo à direção do deslocamento e um componente $F_y = F\sin\theta$ perpendicular ao deslocamento. É possível que outras forças atuem (ou a resultante seja nula) sobre o corpo ao longo de $\vec{d}$, mas não na direção de $\vec{F}$.

Figura 2.2 Trabalho realizado por uma força constante. A força forma um ângulo θ em relação ao deslocamento.



Fonte: (Adaptado: Young; Friedman, 2018, p. 192).

Como estamos interessados apenas no trabalho que a força realiza, devemos considerar apenas o componente paralelo F_x que é o responsável pelo movimento. Assim, define-se o Trabalho como o produto desse componente da força paralelo ao movimento pelo módulo do deslocamento (supondo que F e θ permanecem constantes durante todo o trajeto do corpo):

$$W = F_x d = (F\cos\theta)d$$

$$W = Fd\cos\theta \quad (2.2)$$

De modo geral, a expressão do trabalho pode ser reescrita numa forma mais compacta, com o auxílio do produto escalar:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

Equação principal.

De fato, o trabalho é uma grandeza escalar e sua unidade de medida combina uma unidade de força com uma unidade de comprimento. No Sistema Internacional, a unidade de Trabalho convencionou-se ser o *joule* (J), dado em homenagem ao físico inglês James Prescott Joule (Reino Unido, 1818 – 1889) (NOVO SI, 2021; BOREAU, 2021).

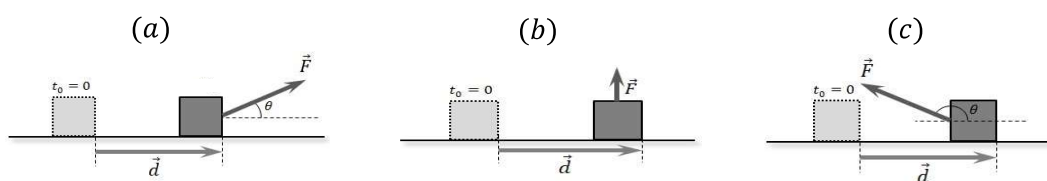
Em mecânica, o Trabalho pode ser analisado a partir da observação de duas características intrínsecas de seu estudo e que ocorrem durante o movimento de um corpo; aquela em que o Trabalho é realizado pela força na direção do movimento aumentando a velocidade do corpo na qual a força atua ($\Delta v > 0$). Nesse caso, diz-se que o sistema realiza um Trabalho através de uma força *sobre* o corpo ($W > 0$). E uma segunda característica seria aquela em que Trabalho é realizado através de uma força para diminuir a velocidade do corpo. Nesse caso, tem-se que $\Delta v < 0$ ($W < 0$) e diz-se que o Trabalho foi realizado pelo corpo sobre o sistema. Ambos os casos envolvem uma transferência de energia (o Trabalho), necessária para diminuir ou aumentar a velocidade do corpo.

São exemplos disso o movimento de queda livre de um corpo a partir de uma altura h acima e no sentido da superfície da Terra e o movimento no sentido da posição de equilíbrio de um corpo preso a uma mola realizando um movimento através do ar ou sobre uma superfície em que o atrito (cinético ou da resistência do ar) seja desprezível.

A distribuição geométrica dos vetores força que atuam sobre um corpo também torna possível inferir o Trabalho. Observe, por exemplo, que quando uma força constante possui um componente na mesma direção e no mesmo sentido do deslocamento, o valor de $\cos \theta$ é positivo e, portanto, o trabalho W é *positivo* (Figura 2.3a). Ou seja, o trabalho magnifica a quantidade de energia que a força deve transferir para o corpo inicialmente em repouso variar sua velocidade ($\Delta v > 0$) e realizar o deslocamento $\vec{d}$.

Figura 2.3 Força constante atuando sobre um bloco e o ângulo θ de aplicação.

Nesta representação destaca-se a atuação do vetor $\vec{F}$ aplicada obliquamente a direção do movimento, como ilustrados em (a) e (c), e perpendicularmente, como em (b), ao deslocamento de um bloco inicialmente em repouso em que $\vec{F}$ atua.



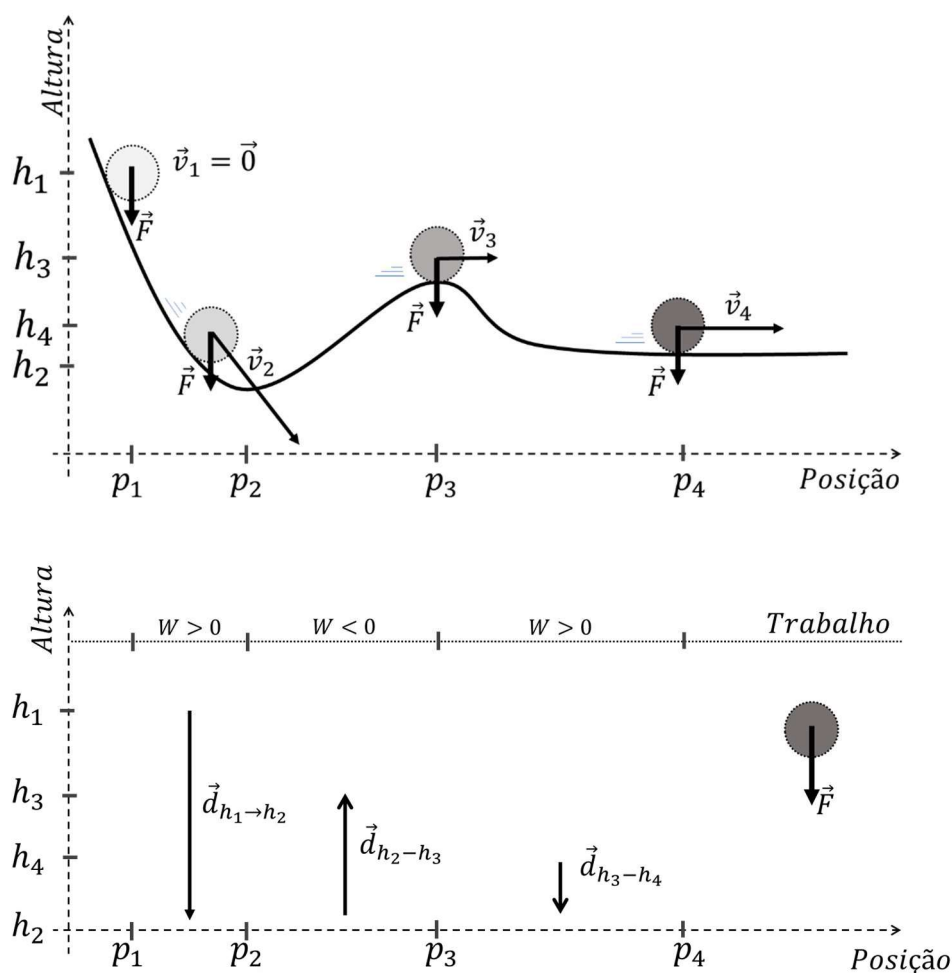
Fonte: Adaptado: Young; Friedman, 2018, p. 193.

Há casos em que uma força atua, mas não é a responsável pelo deslocamento. Isso ocorre quando a força é perpendicular ao deslocamento ($\theta = 90^\circ$) e o trabalho W realizado pela força é *zero* (Figura 2.3b). Quando a força possui um componente na mesma direção, mas no sentido contrário ao do deslocamento ($90^\circ < \theta \leq 180^\circ$), o trabalho W é *negativo*, pois $\cos \theta$ é negativo (Figura 2.3c).

Esse tratamento pode ser estendido a sistemas com dois ou mais corpos. De acordo com a terceira lei de Newton sempre existe uma força de sentido contrário a aquela

atuando sobre o corpo, porém na mesma direção e mesmo módulo, de modo que, quando um corpo realiza um trabalho negativo sobre outro corpo, este corpo realiza trabalho positivo sobre o primeiro. Em particular, porém, as estratégias que compreendem o produto educacional desta dissertação abrangem somente interações de natureza gravitacional e elástica aplicadas a sistemas compreendidos de um único corpo, embora as duas forças possam atuar ao mesmo tempo nesse corpo. Nesses casos, é possível nos deparar com situações mais complexas que o movimento unidimensional. Suponha, por exemplo, o movimento de uma esfera sobre a trajetória mostrada na figura 2.4.

Figura 2.4 Trabalho devido a aplicação de uma força vertical constante sobre uma esfera rolando sobre uma superfície curva de atrito desprezível. A figura superior enfatiza que a esfera adquire uma velocidade inicial para baixo devido a atuação da força $\vec{F}$, que por sua vez, faz com que a velocidade da esfera varie à medida que as posições seguintes são atingidas, assim como ilustrado pela magnitude do vetor velocidade em cada posição. A ilustração mostrada da figura inferior destaca que o trabalho realizado sobre a esfera em cada intervalo é obtido a partir da contribuição do deslocamento vertical da esfera, que é a direção de atuação da força $\vec{F}$.



Fonte: próprio autor.

O que é importante perceber em situações como essa é que ao se calcular o Trabalho realizado por uma força para variar a velocidade de um corpo, é que embora o

corpo possa se movimentar em n dimensões, o deslocamento levando em consideração é aquele na mesma direção de atuação da força analisada, neste caso, a força $\vec{F}$. Uma análise bem-feita e criteriosa de uma situação pode levar a resultados bem-sucedidos. Por exemplo, em uma montanha russa pode-se poupar energia elétrica ao se levar em consideração a atuação da força gravitacional sobre o carrinho em alguns trechos estratégicos do percurso (após os cumes) do brinquedo, gerando menos ônus na conta de energia elétrica. Do mesmo modo, conservar o esforço de uma máquina que possa ser usada para transportar mercadorias ou resgatar pessoas em situação de risco vertical, como em edifícios e cavernas.

2.4 TRABALHO TOTAL

Na existência de diversas forças atuando sobre um corpo, a determinação do trabalho total W_T realizado será a soma algébrica de todos os trabalhos realizados pelas forças individuais, ou seja,

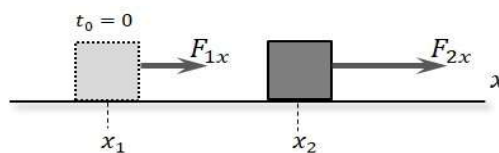
$$W_T = W_a + W_b + \dots + W_x \quad . \quad (2.3)$$

Pode-se também, alternativamente, calcular a soma vetorial de todas as forças (a força resultante) e depois usar essa soma como $\vec{F}$ na equação principal do trabalho; desde que se conheça o deslocamento, o trabalho também será conhecido.

2.5 TRABALHO COM FORÇAS VARIÁVEIS

Tratamos agora dos casos em que a força aplicada pode variar em módulo, direção e sentido, assim também como em casos cuja trajetória tem formato curvo. Analisando uma situação de cada vez, consideremos inicialmente um movimento retilíneo no qual a força F_x possui componente x paralelo ao deslocamento, mas com intensidade variável (Figura 2.5).

Figura 2.5 Atuação de uma força variável. A partícula se move na direção x , de x_1 para x_2 a partir do tempo $t_0 = 0$, com intensidade da força distinta em cada posição.



Fonte: Adaptado: Young; Friedman, 2018, p. 202.

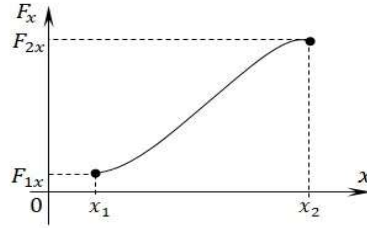
O cálculo do trabalho realizado através dessa força variável não pode ser feito com o auxílio da expressão $\vec{F} \cdot \Delta\vec{x}$ (Figura 2.6), pois nesse caso a força é constante. Porém, dividindo o deslocamento total em pequenos segmentos de comprimento Δx_i de tal modo a aproximar-se ao trabalho realizado por uma força constante média $\vec{F}_{ix}$ atuando em cada deslocamento $\Delta\vec{x}_i$ do intervalo $[x_1, x_2]$, o trabalho será obtido a partir da soma dos resultados $\Delta W_i = F_{ix} \Delta x_i$ de todos os segmentos individuais dentro desse intervalo (Figura 2.7).

Portanto, este é caso onde o trabalho realizado será dado, aproximadamente, por

$$W = \sum_{i=1}^n \Delta W_i = \sum_{i=1}^n F_{ix} \Delta x_i , \quad (2.4)$$

em que n é o número de partições dentro do intervalo espacial de atuação da força.

Figura 2.6 Representação gráfica de uma força variável. A partícula se move na direção x , de x_1 para x_2 e em que atuam as forças de mesma natureza $\vec{F}_{1x}$ e $\vec{F}_{2x}$, respectivamente.

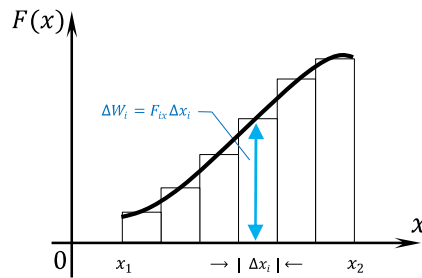


Fonte: Adaptado: Young; Friedman, 2018, p. 202.

À medida que o número de segmentos aumenta ($n \rightarrow \infty$), a largura torna-se cada vez menor ($\Delta x_i \rightarrow 0$) e o somatório fornece (no limite) a integral de $F(x)$ de x_1 a x_2 :

$$W = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n F_{ix} \Delta x_i = \lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n F_{ix} \Delta x_i = \int_{x_1}^{x_2} F(x) dx . \quad (2.5)$$

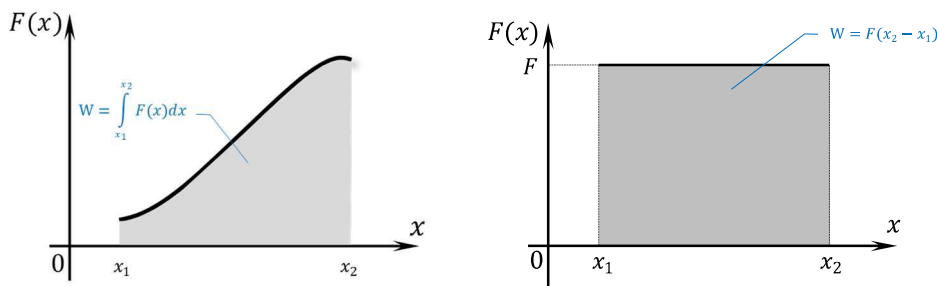
Figura 2.7 Representação gráfica do trabalho de uma força média. Para uma partícula que se move na direção x , de x_1 para x_2 , a altura de cada coluna representa a força média F_{ix} atuante no deslocamento Δx_i .



Fonte: Adaptado: Young; Friedman, 2018, p. 202.

Na equação (2.5) o trabalho pode ser interpretado como sendo a força média multiplicada pelo deslocamento no intervalo espacial de atuação da força. Considerando o gráfico da Figura 2.8 é possível observar, também, que a integral dessa equação representa a área abaixo da curva da força em relação ao deslocamento. Assim, em um plano da força em função do deslocamento, o trabalho total realizado pela força é numericamente igual a área abaixo da curva da força, entre as posições x_1 e x_2 .

Figura 2.8 Representação gráfica do trabalho realizado por uma força. Para uma partícula que se move na direção x , de x_1 para x_2 , a figura à esquerda destaca a área hachurada numericamente igual ao trabalho devido à atuação de uma força variável. À direita é ilustrado a área hachurada que é numericamente igual ao trabalho realizado através de uma força constante.



Fonte: Adaptado: Young; Friedman, 2018, p. 203.

Para o caso particular de uma força constante (Figura 2.8 à direita), pode-se retirar $F(x) = F$ da integral, de modo que

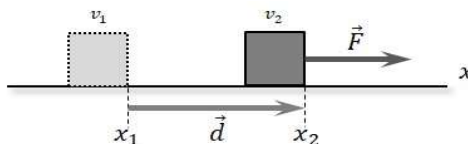
$$W = \int_{x_1}^{x_2} F(x) dx = F \int_{x_1}^{x_2} dx = F(x_2 - x_1). \quad (2.6)$$

2.6 ENERGIA CINÉTICA E O TEOREMA DO TRABALHO-ENERGIA

Todo o trabalho realizado por forças externas sobre um corpo é relacionado com o deslocamento e com a variação da velocidade do corpo. Observa-se que na prática de um trabalho total positivo ($W_T > 0$), um corpo aumenta sua velocidade durante o deslocamento. Quando o trabalho total realizado é negativo ($W_T < 0$), um corpo diminui de velocidade durante o deslocamento. No entanto, a velocidade do corpo permanece constante durante o deslocamento quando o trabalho total é nulo ($W_T = 0$).

Considere o corpo de massa m representado na Figura 2.9.

Figura 2.9 Variação da velocidade devido à atuação de uma força. A força resultante constante $\vec{F}$ sobre um corpo na mesma direção e sentido do deslocamento $\vec{d}$ sobre um corpo de massa m realiza um trabalho responsável por variar a velocidade do corpo de v_1 para v_2 quando o corpo vai da posição x_1 para x_2 .



Fonte: Adaptado: Young; Friedman, 2018, p. 203.

A ação da força $\vec{F}$ constante resulta em uma aceleração $\vec{a}$ com as mesmas características vetoriais dessa, sendo também constante, obtida com o auxílio da equação de Torricelli:

$$v_2^2 = v_1^2 + 2ad$$

ou seja,

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2d} .$$

Substituindo essa aceleração na lei fundamental da dinâmica em sua forma

$$F = ma ,$$

encontra-se a expressão

$$Fd = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 .$$

O produto Fd é o trabalho realizado pela força resultante F e, portanto, é o trabalho total W_T realizado sobre o corpo. A grandeza $\frac{1}{2}mv^2$ é denominada *Energia Cinética* (E_C) do corpo:

$$E_C = \frac{1}{2}mv^2 . \quad (2.7)$$

É importante enfatizar que a energia cinética não depende da direção do movimento, pois é um escalar. Depende somente da massa e do módulo da velocidade do corpo, ou seja, também não pode ser negativa.

Em relação a notação do produto Fd , deve-se perceber que o termo $\frac{1}{2}mv_2^2$ representa a energia cinética depois do deslocamento, ou seja, é a energia cinética final E_{C2} . Já o termo $\frac{1}{2}mv_1^2$ é a energia cinética antes do deslocamento, ou seja, é a energia cinética inicial E_{C1} . Logo, a diferença entre esses dois termos fornece a variação da energia cinética, que corresponde ao *Teorema do Trabalho-Energia*, ou Teorema da Energia Cinética:

$$W_T = E_{C2} - E_{C1} = \Delta E_C . \quad (2.8)$$

Como empregamos as leis da Física Clássica (newtoniana) para definir o teorema trabalho-energia, essas equações devem ser válidas para referenciais inerciais. É válido lembrar também que esse teorema pode ser empregado tanto na ocorrência de um aumento da velocidade, como na ocorrência de uma diminuição da velocidade. Portanto, pode-se afirmar que o significado físico para energia cinética é aquele relacionado a uma *energia igual ao trabalho total necessário para acelerar uma partícula a partir do repouso até sua velocidade final*, ou: *a energia igual ao trabalho total que a partícula pode realizar no processo de ser conduzida ao repouso*.

Verifica-se também que o teorema trabalho-energia permanece válido mesmo quando considerando forças variáveis e/ou trajetórias curvilíneas. Porém, devemos ser cuidadosos ao considerar corpos extensos ou várias partículas formando um único corpo; as diferentes partes desse corpo podem apresentar movimentos variados, inclusive interagindo entre si. Assim, a energia cinética do corpo pode variar, mesmo sem nenhum trabalho executado por forças externas.

2.7 ENERGIA POTENCIAL

Uma aplicação direta do Teorema do Trabalho-Energia pode ser observada quando um objeto cai verticalmente de uma certa altura, partindo ou não de uma situação de repouso. A variação de sua energia cinética é uma manifestação do Trabalho realizado através da força gravitacional que atua sobre o objeto para aumentar sua velocidade.

Por outro lado, deve-se preocupar de onde vem e para onde vai a energia transferida na realização de um trabalho e como usufruir e compreender como diminui ou aumenta a energia cinética de um objeto nesse processo. Para isso, é suposto um tipo de energia que pode ser armazenada e, eventualmente, utilizada por um corpo devido à sua posição (ou configuração), diretamente relacionada a natureza da interação (gravitacional, elástica, elétrica etc). Essa *energia*, denominada *potencial*, é suposta armazenada no ambiente compreendendo todos os envolvidos na interação, ou seja, o *sistema*, e em potencial disponível para realizar Trabalho.

Vamos destacar duas situações que são particularmente importantes para compreender as aplicações desta dissertação. Numa situação em que um pequeno bloco estar posicionado sobre uma mesa a uma certa altura do piso (solo), sabemos que o bloco não poderá cair sobre a mesa – já está sobre ela – mas poderá cair sobre o solo – está a uma certa altura sobre ele. Há, portanto, a possibilidade de realização de Trabalho durante a queda devido à posição do bloco. A essa primeira configuração do sistema bloco-terra está associada uma certa forma de energia devido à essa posição do bloco nessa configuração.

A segunda situação é aquela em que uma mola helicoidal comprimida, com uma extremidade presa em uma base fixa e rígida e a outra apoiando um bloco de massa m . A mola, ao ser liberada, movimentará o bloco, realizando Trabalho sobre esse. A deformação inicial da mola sugere, mais uma vez, acúmulo de energia, nesse caso, no sistema massa-mola.

2.7.1 ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL

O esquema da Figura 2.10 descreve o movimento vertical para baixo de um corpo de massa m próximo à superfície da Terra. Sobre ele, atua a força peso, com módulo $p = mg$. Se outras forças (que pode ser, por exemplo, de resistência ao movimento) atuarem sobre o corpo, a resultante dessas poderá ser convenientemente representada por $\vec{F}$.

O peso e o deslocamento possuem o mesmo sentido e a mesma direção. Assim, o Trabalho W_G realizado sobre o corpo pelo peso (força gravitacional) é positivo:

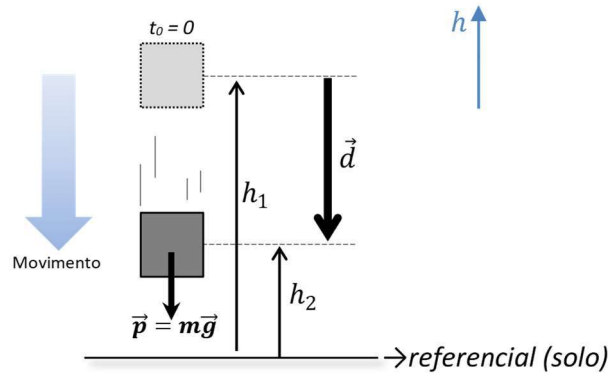
$$\begin{aligned} W_G &= \vec{F} \cdot \vec{d} = p d \cos 0 = mgd \\ &= mg(h_2 - h_1) \\ &= mgh_2 - mgh_1 . \end{aligned} \quad (2.9)$$

Observe que o valor do Trabalho W_G depende das quantidades envolvidas no produto mgh no início e no final do deslocamento analisado. Assim, ao se definir a Energia Potencial Gravitacional U_G através do produto mg pela altura h acima do referencial (solo) como

$$U_G = mgh , \quad (2.10)$$

é importante observar que $\Delta U_G < 0$, devendo ser interpretado como um trabalho sendo realizado sobre o corpo para aumentar sua velocidade e, conseqüentemente, sua energia cinética ($W > 0$).

Figura 2.10 Movimento vertical de um corpo. O deslocamento representado nesta situação é para baixo, desde a altura h_1 até uma altura final h_2 , e é causado pela atuação da força gravitacional sobre o corpo através da realização de um trabalho, que varia a energia cinética do corpo e a energia potencial gravitacional do sistema corpo-terra.



Fonte: Adaptado: Young; Friedman, 2018, p. 224.

Tão importante quanto é considerar também a possibilidade de o movimento ocorrer de baixo para cima, também na vertical. Nesse caso, a altura h aumenta ($h_1 < h_2$) e W_G será negativo, pois o deslocamento será contrário a força peso; conseqüentemente, espera-se que $\Delta U_G > 0$. Às vezes é mais interessante usar uma notação mais compacta para os termos da equação (2.9). Para este caso, por exemplo, podemos denotar o valor inicial da energia potencial gravitacional por U_{G_0} e o valor final será U_{G_1} , de modo que a variação de energia potencial gravitacional poderá ser convenientemente escrita na forma

$$\Delta U_G = U_{G_1} - U_{G_0} . \quad (2.11)$$

O trabalho realizado pela força gravitacional assim fica

$$W_G = U_{G_0} - U_{G_1} = -(U_{G_1} - U_{G_0})$$

ou seja,

$$W_G = -\Delta U_G . \quad (2.12)$$

Podemos então salientar que:

- No movimento de baixo para cima: $\Delta h > 0$, $W_G < 0$ e $\Delta U > 0$;
- No movimento de cima para baixo: $\Delta h < 0$, $W_G > 0$ e $\Delta U < 0$.

É importante observar que, além da possibilidade de escolha do referencial, a Energia Potencial Gravitacional é uma propriedade do sistema corpo e Terra. A definição matemática $U_G = mgh$ envolve uma grandeza do corpo (m) e outra da Terra (g). Não é correto dizer que essa energia “pertence ao corpo”.

2.7.2 ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA

O físico britânico Robert Hooke (1635 – 1703) encontrou, no século XVII, uma forma de descrever a deformação que um corpo de massa m causa numa mola: A deformação elástica Δx é diretamente proporcional à força F responsável pela deformação:

$$F \propto \Delta x .$$

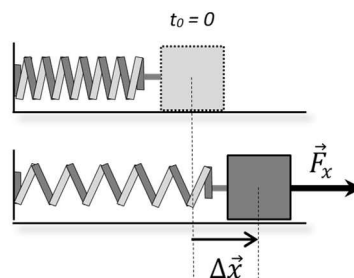
Sistemas elásticos reais, como molas, não obedecem exatamente à essa relação, mas constituem uma idealização muito útil. De fato, essa lei é uma linearização de uma lei mais geral, válida para pequenos deslocamentos (deformações $\sim 0,2 \text{ rad}$), sendo a constante de proporcionalidade k entre a força deformadora F e a deformação Δx um parâmetro importante para caracterizar a rigidez de uma mola (HEWITT, 2015). Ao associar-se a força deformadora à reação F_{res} da interação elástica da mola, a expressão conhecida como Lei de Hooke é apresentada nos livros de física comumente na forma

$$F_{res} = -k\Delta x , \quad (2.13)$$

em que o “sinal menos” é interpretado exatamente como a resistência da mola à deformação. A força restauradora $\vec{F}_{res}$ é tal que $|\vec{F}_{res}| = |\vec{F}|$ e tem a mesma direção, mas sentido oposto ao deslocamento $\Delta \vec{x}$ (ao movimento) do corpo.

Perceba que para esticar (comprimir) qualquer mola, uma força variável deve ser aplicada em uma extremidade, como ilustrado na Figura 2.11.

Figura 2.11 Fenomenologia da lei de Hooke para molas. Deformação Δx observada em uma mola devido à atuação de uma força variável em um sistema massa-mola horizontal.



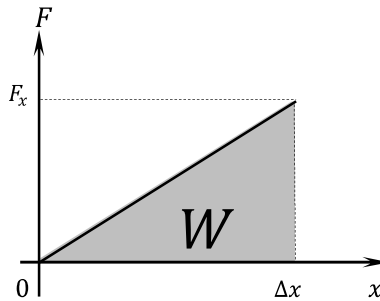
Fonte: próprio autor.

Admitindo que a mola estava inicialmente sem nenhuma deformação (situação de equilíbrio), a relação entre a força F_x e a deformação horizontal é aquela ilustrada na figura 2.12. Ela informa que a área delimitada entre a curva da força e o eixo do deslocamento Δx é numericamente igual ao trabalho

$$W = \frac{1}{2} k \Delta x^2 \quad (2.14)$$

realizado através dessa força.

Figura 2.12 Plano de atuação de uma força variável. A área destacada informa que o trabalho realizado através da força variável F_x é obtido de sua relação com a deformação Δx sofrida pela mola.



Fonte: Próprio autor.

Pode-se também fazer uso do cálculo integral, de modo que a forma da expressão para se encontrar o trabalho realizado através de uma força elástica em uma direção x será

$$W = -\Delta U = U_0 - U(\Delta x) = \int_0^{\Delta x} F_x dx .$$

Para simplificar os cálculos e a análise, a energia potencial de referência pode ser escolhida convenientemente como aquela em que $U(x_0) = 0$ na posição de equilíbrio do sistema massa-mola ($x = 0$). Com o auxílio da equação (2.13), isso implica que

$$U(\Delta x) = 0 - \int_0^{\Delta x} F_x dx = \int_0^{\Delta x} kx dx = \frac{1}{2} k \Delta x^2 . \quad (2.15)$$

É preciso lembrar que a mola também pode ser comprimida, pois há espaços vazios entre seus elos. Neste caso, embora as equações mostradas continuem válidas, a força $\vec{F}_x$ e a deformação $\Delta \vec{x}$ terão sentidos contrários aos mostrados na Figura 2.11.

Importante também ressaltar que um agente externo atuou sobre a mola, executando o Trabalho. Quando a mola reage, agindo de forma contrária (constituindo um par *ação e reação*) na tentativa de restituir seu formato original, o Trabalho é executado pela mola.

Considere, agora, uma situação em que o bloco se move entre dois pontos em torno da posição de equilíbrio x_0 . Desde a posição inicial x_1 até a posição final x_2 , o Trabalho realizado **sobre** a mola será dado por

$$W = \frac{1}{2}kx_2^2 - \frac{1}{2}kx_1^2 . \quad (2.16)$$

e o Trabalho realizado pela mola será dado por

$$W_E = \frac{1}{2}kx_1^2 - \frac{1}{2}kx_2^2 . \quad (2.17)$$

As deformações continuam ocorrendo sempre no mesmo sentido da atuação da força. Portanto, a expressão que define W_E continua sendo válida. Pode-se definir a Energia Potencial Elástica U_E através dos valores do Trabalho W_E entre o início e o fim da deformação e, conseqüentemente, do deslocamento do bloco:

$$U_E = \frac{1}{2}kx^2 .$$

A partir da posição de equilíbrio (necessariamente tido como o referencial $x = 0$) ao alongar ou comprimir a mola: $W_E < 0$ e $U_E > 0$. Fora da posição de equilíbrio, a mola, ao relaxar: $W_E > 0$ e $U_E < 0$.

2.7.3 OUTRAS FORMAS DE ENERGIA POTENCIAL

Um outro tipo importante de energia potencial está associado à posição relativa de cargas elétricas dentro de um campo. Quando uma carga inicia um determinado deslocamento devido às interações ocorridas dentro de um campo elétrico, pode-se admitir que a mesma varia sua energia cinética devido à atuação de uma força de natureza elétrica sobre ela advinda da energia armazenada do sistema campo-carga elétrica.

Em nível microscópico, a energia química dos combustíveis (fósseis, pilhas e alimentos) também é energia potencial. Quando ocorre uma alteração das cargas elétricas dentro e entre as moléculas da substância, a energia contida torna-se disponível para ser transformada em energia cinética e vice-versa. Essas formas, no entanto, não serão objetos nesta dissertação.

2.7.4 FORÇAS CONSERVATIVAS E A LEI DE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA

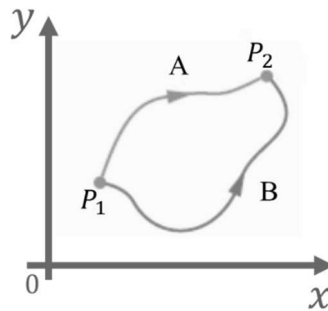
As seções precedentes tratam de situações em que os sistemas são constituídos por corpo que realiza ou sobre o qual é realizado trabalho devido à atuação de uma força sobre ele e o restante do sistema. Qualquer variação observada na configuração desse sistema está, de fato, relacionada de alguma maneira a realização de um trabalho através de uma força capaz de transferir energia para aumentar (digamos W_1 , transferida do sistema para o corpo) ou diminuir (digamos W_2 , transferida do corpo para o sistema) a velocidade desse corpo durante seu movimento.

A observação de situações em que $W_1 = -W_2$ está diretamente relacionada ao conceito de força conservativa e de energia potencial, pois somente as forças ditas conservativas devem ser relacionadas a esse conceito de energia. Se a condição $W_1 = -W_2$ não for observada, essa associação não é possível e as forças são denominadas dissipativas. São exemplos dessas as forças de atrito cinético e de arrasto, que são associadas a energia térmica, que por sua vez, não é uma forma de energia potencial.

É possível mostrar que o trabalho devido à uma força conservativa atuando em um caminho fechado é igual a zero e independe do caminho quando atua para deslocar um corpo de uma posição p_1 para uma outra posição p_2 . O caminho pode ser interpretado como o tipo de interação; por exemplo, uma interação gravitacional poderia levar o corpo de p_1 para p_2 e depois o corpo ir de p_2 para p_1 devido a atuação de uma força de natureza elástica. De fato, a força gravitacional e a força elástica são exemplos de forças conservativas.

Para verificar isso, considere a ilustração mostrada na figura 2.13.

Figura 2.13 Atuação de uma força conservativa. o trabalho devido à uma força conservativa atuando em um caminho fechado igual a zero e independe do caminho quando atua para deslocar um corpo de uma posição p_1 para uma outra posição p_2 .



Fonte: Adaptado: Halliday, 2018, p. 179.

Note que indo de p_1 para p_2 por A e retornando por B, tem-se que

$$W_{12,A} + W_{21,B} = 0 \quad \Rightarrow \quad W_{12,A} = -W_{21,B} \quad ,$$

e indo de p_1 para p_2 por B e retornando também por B, tem-se que

$$W_{12,B} + W_{21,B} = 0 \quad \Rightarrow \quad W_{12,B} = -W_{21,B} \quad ,$$

e, portanto, $W_{12,A} = W_{12,B}$.

As interações por forças de natureza conservativa fornecem uma relação fundamental na física e que está diretamente relacionada a variação da energia cinética que acompanha a variação na energia potencial do sistema devido à realização de um trabalho. Nesse caso, o fato de $W = \Delta E_c$ implicar numa variação da energia potencial da forma $\Delta U = -\Delta E_c$, informa que

$$U_f - U_i = -(K_f - K_i)$$

o que pode ser reescrita na forma

$$E = K_i + U_i = K_f + U_f = Cte ,$$

e é chamada de **Lei de Conservação da Energia** Mecânica E de um sistema. O estudo das interações de natureza conservativa, assim como a análise das manifestações das diferentes formas de energia que obedecem a essa lei, possibilitam a compreensão e uma descrição mais elegante dos fenômenos da natureza. Seu uso associado as diferentes formas de energia torna-se elemento essencial para o progresso e desenvolvimento tecnológico de um país; as leis de conservação, em suas diferentes formas, são capazes de contribuir para deixar equipamentos mais eficientes e também auxiliam na previsão de resultados empíricos.

3. A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS

Em muitos momentos nos preocupamos em como identificar e descrever as vias pelas quais o conhecimento científico dos discentes estaria sendo produzido. A reflexão sobre essa construção e as suas limitações podem nos orientar metodologicamente na identificação e correção de fragilidades que possam comprometer o processo de aprendizagem e construção adequada dos conceitos físicos. Para isso, recorremos a Teoria dos Campos Conceituais para analisar a episteme que envolve a diversificação de situações para a necessária construção dos conceitos físicos que, em particular para esta dissertação, envolvem temas abordados em Mecânica Clássica, mas que constituem a base para os cursos subsequentes da área de física e de sua interdisciplinaridade (VERGNAUD, 1996). Devido à sua abordagem diversificada dos mesmos conceitos, essa teoria pode nos auxiliar a identificar não somente as fragilidades, mas também como os discentes pensam, identificam e procuram solucionar as situações envolvendo os conceitos de Trabalho e Energia, e até mesmo a realidade ingênua ou não desses estudantes em relação a esses temas e como a própria realidade social, econômica e cultural desses interfere nesse processo.

O francês Gérard Vergnaud é autor de uma das mais recentes teorias de aprendizagem, tida atualmente como padrão para a prática da formação em Ciências, principalmente para jovens estudantes. Embora esse conjunto de ideias não seja, de fato, uma teoria didática, traz importantes observações pelo fato de indicar a necessidade, no trabalho do professor, de ver a aprendizagem do seu aluno desde a perspectiva da complexidade, da diversidade, da evolução, e do repertório. Ela também trata os conceitos num quadro psicológico operatório, fugindo do conceito filosófico de uma abordagem lógica:

A lógica também não é um quadro suficientemente operatório para esclarecer a complexidade relativa das tarefas e subtarefas, dos procedimentos e das representações simbólicas. Ela é muito redutora, situando no mesmo plano objetos matemáticos que, embora incluídos no mesmo padrão lógico (predicado de primeira ordem, classes de funções proposicionais de certo tipo, lei de composição...) não geram os mesmos problemas de conceitualização (VERGNAUD, 1993 (2008), p. 9).

A Teoria dos Campos Conceituais tem grande influência de outros grandes teóricos como David Paul Ausubel (aprendizagem significativa), Jean William Fritz Piaget (com a definição de esquema) e Lev Semionovitch Vygotsky (quando coloca o professor como o grande mediador).

A criação e definição do conhecimento pelo discente não é uma atividade rápida, linear. Muito pelo contrário, ela é lenta, com idas e vindas, quebras, avanços e desistências. O conhecimento prévio é uma importante ferramenta no entendimento de um conceito, porém, pode também atrapalhar esse processo. Muitas das ideias errôneas do aprendiz resultam do fato de que certas palavras utilizadas no cotidiano não correspondem ao mesmo conceito em ciências. Também deve-se considerar que esses

significados podem variar de uma ciência para outra. Como exemplo, podemos citar, na Física, as grandezas massa, peso, trabalho, energia, calor, potência, entre outras.

As ideias de Vergnaud sobre a importância do conhecimento prévio como base de novos conhecimentos científicos, e sobre a manutenção e quebras na estrutura do conhecimento, assemelha-se muito com a teoria da aprendizagem significativa (MOREIRA, 1999). Porém, ao contrário de Ausubel, a teoria de Vergnaud pretende pontuar e estudar conservações e rompimentos entre conhecimentos do ponto de vista conceitual. Não é uma teoria de ensino de conceitos diretos e padronizados, embora tenha oculta a ideia de que os conhecimentos contidos podem se desenvolver, no decorrer do tempo, para conhecimentos científicos mais claros e diretos. Os campos organizados de Ausubel, para Vergnaud, são campos conceituais.

Embora tenha sido aluno de Piaget, Vergnaud discorda deste quando toma como base o próprio objeto do conhecimento e o estudo conceitual dos elementos desse conhecimento. Justifica isso, inclusive, pelo fato de Piaget não ter estado em sala de aula, trabalhando diretamente com os alunos. Entretanto, ele valoriza o estudo do funcionamento cognitivo do "sujeito-em-situação". E acredita na grande importância na elaboração de esquemas (VERGNAUD, 1996).

A função do professor mediador é essencial. Sua função é a de auxiliar os discentes a desenvolver seu conjunto de esquemas e reproduções de ideias, mostrando novos eventos e fenômenos (de aprendizagem) estimuladores e enriquecedores. Os novos esquemas desenvolvidos tornam os alunos capazes de encarar situações cada vez mais detalhadas e complicadas. A montagem de vários esquemas de ação, ou seja, a evolução do cognitivo, e o destaque da importância do professor, mostra também que a teoria de Vergnaud tem também forte influência vigotskyana.

3.1 CAMPO CONCEITUAL

Um campo conceitual é um grupo simples, natural e diversificado de problemas, eventos, definições, relações, estruturas, ideias e formas de pensamento. Esses elementos são ligados entre si e, provavelmente, misturados durante o desenvolvimento do saber. Podemos dizer que na Física, cada ramo – a Mecânica, o Eletromagnetismo e a Termodinâmica, por exemplo – é um campo conceitual. Esses campos conceituais são dependentes entre si e um pode ser fundamental para o entendimento do outro. É útil analisar, contudo, campos conceituais diferentes quando cada um deles puder ser solidamente descrito. É muito difícil, na prática, estudar fenômenos de maneira isolada, ou seja, construir conceitos separadamente. Por isso, é preciso fazer ligações e é nesse sentido que os campos conceituais são unidades de estudo positivas para dar sentido aos problemas de absorção do conteúdo e conceitualização.

Um campo conceitual pode ser definido também como um grupo de problemas e eventos cuja análise necessita de definições, experimentos e representações de várias formas, mas diretamente relacionados. Para Vergnaud, entretanto, o domínio total de um campo conceitual não acontece em um período de tempo definido.

3.2 A TEORIA

A definição de campo conceitual é fundamentada em três pontos:

- um fenômeno não se estuda com apenas um conceito;
- um conceito é originado dentro de um só fenômeno;
- a elaboração e compreensão de todas as características de um conceito ou de todos os pontos de uma fenômeno ocorre lentamente, com semelhanças e conflitos entre procedimentos e verificações.

O desenvolvimento cognitivo deriva de representações, eventos e definições convenientes. São os fenômenos que dão significado às definições. Uma definição torna-se compreendida através de um conjunto de eventos, mas o sentido não está nos eventos, assim como não está nem nas palavras, nem nos símbolos utilizados nas respectivas representações.

Um fenômeno é uma atribuição. Assim, um fenômeno heterogêneo é um arranjo de atribuições (tarefas), com suas origens e problemas próprios. Os processos cognitivos e as respostas do aluno ocorrem em função dos fenômenos apresentados. Deve-se considerar que algumas dificuldades surgem quando certas palavras remetem a situações antigas (fator histórico) com diferente significado. Outras concepções podem ser fruto de experiências frustradas. São o que se denomina, respectivamente de história e variedade. Situação também pode significar problema. A absorção de novos conhecimentos é regida pelos fenômenos e dificuldades anteriormente compreendidos e superados.

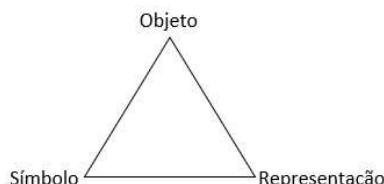
Um conceito é definido em três partes representadas por três grupos: (S, R, I) onde:

- S → Sistema de fenômenos que dão base ao conceito;
- R → Representações simbólicas usadas (linguagem, gráficos e sentenças);
- I → Invariantes operatórios (elementos, características e relações).

Um conceito torna-se importante quando pode ser aplicado em uma variedade de fenômenos, não sendo percebido em um caso isolado. A função mediadora do professor é importantíssima.

A relação entre objeto, símbolo (fórmulas ou letras relacionadas a uma grandeza) e representação durante o processo de conceitualização pode ser representada através do triângulo epistemológico clássico (Figura 3.1).

Figura 3.1 Triângulo epistemológico do processo de conceitualização



Fonte: Adaptado: Vergnaud, 1994, p.33.

Deve-se, no entanto, evitar reducionismos. A conceitualização de um tema específico deve ser real e exata com relação ao conteúdo tratado. Não deve ser diminuída nem às definições matemáticas gerais, nem resumida exageradamente, alterando a forma do entendimento real da informação.

As Representações (R) que definem o conceito podem ser propostas como dois elementos correlacionados do pensamento: um é o sistema simbólico: um grupo de signos ou operadores sobre partes do conjunto. Outro é o que os alunos fazem desses símbolos.

Um esquema (definição de Piaget para formalizar e organizar tanto as habilidades sensório-motoras como das habilidades intelectuais), dá origem à ação e é regido por leis. Deve-se observar, no entanto, que ele não é exato, não é um rótulo estereotipado. A forma e sequência das ações depende dos parâmetros do fenômeno. Deve ocorrer uma correspondência entre o esquema e a situação e não uma relação sujeito-objeto (opondo-se mais uma vez a Piaget). Portanto, a educação deve favorecer o desenvolvimento de um repertório amplo e variado de esquemas, evitando que um esquema seja pertinente e útil a apenas um único caso.

É preciso, pois, tomar como objetos de pesquisa conjuntos relativamente amplos em situações e conceitos, classificando os tipos de relações, classes de problemas, esquemas de tratamento, representações linguísticas e simbólicas, e os conceitos matemáticos que organizam o conjunto (VERGNAUD, 1993, p. 25).

É importante salientar que um esquema não é um conjunto de setas, ou um organograma (fluxograma) com o intuito de ligar nomes e características. É uma definição, uma delimitação do que vem a ser determinado objeto ou ideia. A partir da geração correta de um esquema, o aprendiz poderá diferenciá-lo de outro e ainda usá-lo como base para a ampliação do conhecimento. O desenvolvimento e criação de novos esquemas deve acontecer com o uso de novos símbolos operacionais. Tanto eles como a linguagem são importantes nesse processo. Os professores usam simulações, palavras e sentenças para expor situações, elaborar perguntas, separar características e informações, sugerir objetivos, gerar expectativas, propor leis. Deve-se considerar as particularidades e aspectos teóricos, filosóficos, históricos e epistemológicos.

Há professores que acreditam que o ensino de Física consiste em uma aula organizada, baseada em um rigor matemático único e exagerado. Usam rígidas teorias formais. Entretanto, quando apenas isso é feito, não existe a certeza da aprendizagem por parte dos alunos. Agindo assim, esses professores estarão fora da realidade. É através da apresentação e da análise de problemas que os conceitos se desenvolvem. A observação das situações, na problematização de fatos e na resolução de problemas é que os conceitos se desenvolvem de forma significativa para os alunos. O formalismo exagerado afasta o aluno. Todas essas situações, por outro lado, fazem parte e são essenciais para o desenvolvimento de conceitos. Ou seja, as formalidades são necessárias, mas deve-se tomar cuidado para que o aluno não perca o objetivo e se distancie da aula.

3.3 COMPETÊNCIAS DO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM

A Teoria dos Campos Conceituais é cognitivista e tem como objetivo ofertar um ponto de vista mais lucrativo ao estudo do desenvolvimento da aprendizagem de competências diversas. Os conceitos fundamentais dessa teoria são as definições e uso de esquemas, situações, invariante operatório (o que é preservado nos conceitos) e o próprio conceito de campo conceitual.

O aprendiz, após verificar vários fenômenos que podem estar relacionadas entre si, vai desenvolvendo progressivamente o conhecimento implícito. Este, sem ser substituído, vai evoluindo para o conhecimento explícito. O processo, contudo, pode ser demorado. Neste sentido, o campo conceitual é progressivo e não substitutivo.

O professor – motivador – tem uma função essencial nesse processo, quando apresenta ao aluno várias situações, de vários campos. Usando simulações, palavras, sentenças, regras e leis, ele torna-se o agente na formulação de esquemas por parte dos alunos. Ele desenvolve o potencial do aluno em descrever, analisar, interpretar e relacionar conhecimentos na sala de aula e na vida real.

4. DESCRIÇÃO METODOLÓGICA

Esta dissertação é composta por um conjunto de ideias desenvolvidas para promover o estímulo ao estudo de temas geralmente abordados no campo da Física Clássica e suas interdisciplinaridades, através da interação virtual e aparatos experimentais construídos com material de baixo custo, capazes de simular situações envolvendo os conceitos relacionados ao princípio de conservação da energia mecânica. Ele foi pensado para que o desenvolvimento cognitivo e das competências esperadas não fossem comprometidas pela situação socioeconômica dos estudantes e, nesse sentido, esta proposta pode ser facilmente adaptada a realidade de cada escola. Como ele é possível estabelecer e aprofundar o diálogo entre os estudantes e o objeto de conhecimento da aula, com ênfase na compreensão dos conceitos e de sua relação com a diversidade cotidiana desses estudantes, tudo em consonância com as competências guiadas pela base do ensino brasileiro (BNCC, 2021).

As atividades devem ser agrupadas na seguinte sequência: Simuladores e kits artesanais. Cada conteúdo trabalhado estará dividido em tópicos (e quando necessário, em subtópicos), sempre iniciados com a descrição teórica, destacando as definições importantes para a compreensão do ambiente discutido (virtual ou com o aparato experimental). A sequência didática da apresentação deve ser acompanhada, sempre que possível, de sugestões de adaptações que possam ser feitas, assim como medir e tratar os dados, quando for o caso. Isso possibilita, entre outras coisas, a repetição da simulação com detalhes mais elaborados e a reprodução dos kits pelos estudantes, com suas próprias adaptações e situações. Os encontros podem ocorrer presencialmente ou sincronamente (plataforma de preferência), em aulas de 40-50 minutos de duração cada.

Os simuladores aqui tratados são mecanismos virtuais destinados a reproduzir um ambiente real de estudo de Física. Cada vez mais útil para o processo de ensino-aprendizagem, com eles conseguimos fazer com que os estudantes interajam com tecnologias que promovem um ensino mais eficiente através da modelagem de situações interativas baseadas em conteúdos e pesquisas que exploram a intuição, a curiosidade e a descoberta.

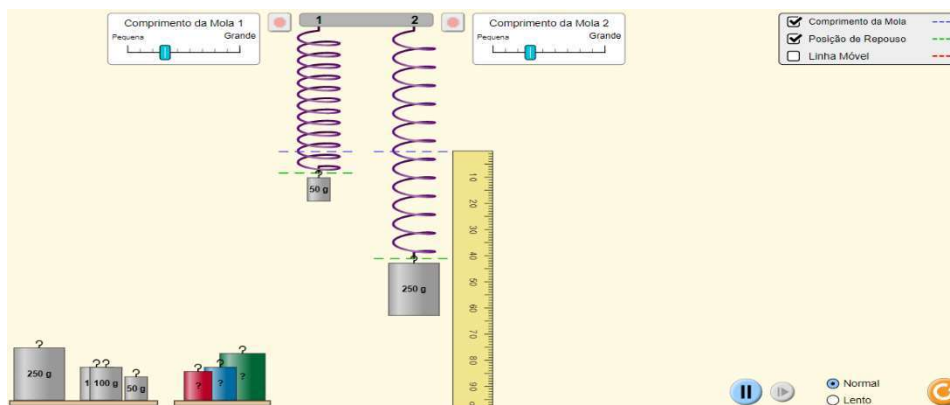
Escolhemos aqueles disponibilizados em sites da internet e que são de uso livre. O projeto *PHET INTERACTIVE SIMULATIONS* da *University of Colorado Boulder* oferece um pacote de simulações interativas de temas variados em ciências exatas. Criada em 2002 pelo físico estadunidense Carl Wieman, essa plataforma virtual oferece acesso a simuladores específicos, compartilham dicas, experiências em sala de aula e recursos para o ensino de ciências. Uma série de simuladores também estão disponibilizados no endereço www.vascak.cz, mas não encontramos maiores detalhes sobre a origem e descrição desse projeto, apenas que é de autoria de Vladimir Vascak. Aqui apenas citamos alguns de seus simuladores sem maiores detalhes.

A estratégia para estimular os estudantes a entrarem no assunto do conteúdo é destacar, sempre que possível, a menção de algum invariante operatório (intrínseco do conteúdo) enunciado pelos estudantes. Isso ajuda a iniciar um tópico e fazer com que o estudante se sinta valorizado. Por exemplo, projetar uma pergunta para estimular a

associação da energia a partir da palavra “Movimento” enunciada pelos estudantes nos leva naturalmente a trabalhar o conceito de energia cinética.

Os ambientes dos simuladores possibilitam a implementação gradual dos conceitos. Veja na Figura 4.1, por exemplo, como as interfaces de simulação são apresentadas para o sistema massa-mola.

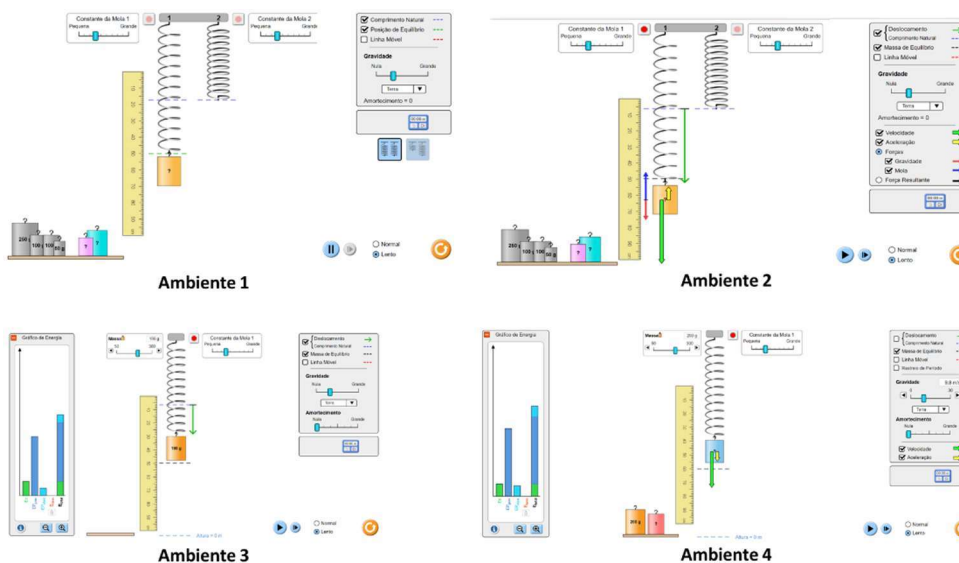
Figura 4.1 Interface de simulação do Phet para o sistema massa-mola



Fonte: <https://phet.colorado.edu/>

Pode-se com isso, por exemplo, discutir a influência causada pela massa e a constante elástica da mola na variação do movimento (Ambientes 1, 2, 3 e 4), realizar a análise vetorial do deslocamento, da velocidade e da aceleração do corpo em pontos distintos da oscilação (Ambiente 2), verificar a contribuição das diferentes formas de energia em cada ponto do movimento da massa (Ambiente 3), com diagrama sensorial da energia cinética, potencial, dissipada por atrito da mola com o meio (térmica) e total do sistema (figura 4.2).

Figura 4.2 Ambientes de simulação Phet para o sistema massa-mola



Fonte: <https://phet.colorado.edu/>

Dentro dessa apresentação, procuramos associar o conceito das grandezas a uma realidade mais próxima do estudante. Desse modo, se o tema da aula for, por exemplo, TRABALHO, definimos a grandeza Trabalho como um processo associado a muitos dispositivos criados com o objetivo de reduzir ou suprir a necessidade de se realizar um esforço grande para se executar tarefas muitas vezes impossível para uma pessoa e que dominar a tecnologia que esses conceitos carregam proporciona uma vida melhor para as pessoas. As aulas podem ser finalizadas com a quantificação desses conceitos com o auxílio das simulações, disponibilização de materiais (se houver) e a localização histórica das situações/temas.

Em verdade, a ordem ideal é aquela em que o estudante reconheça os invariantes operatórios e utilize esquemas para absorção do conteúdo. Isso deve respeitar o ritmo de aprendizagem do estudante e o professor-aplicador deve acompanhar atenciosamente esse processo para poder entender como seus alunos aprendem e ser capaz de organizar a estratégia adequada para esse perfil de estudante. Não pode ser desprezada a importância do repertório desses. O aspecto matemático e a capacidade interpretativa dos mesmos são fundamentais. Devem ser executados, caso necessário, alguns encontros de “nivelamento” após a percepção de falhas ou ausências nos conteúdos prévios. As perguntas e colocações do professor não devem sugerir respostas óbvias e comuns. Deve-se também respeitar a capacidade de absorção de cada grupo ou indivíduo: como mencionado, o acompanhamento (observação) do professor é fundamental.

Na visualização dos primeiros simuladores é conveniente o aplicador lembrar que tudo, inclusive o movimento, é relativo. De onde “se olha” algo é fundamental. Relembrar também os conceitos de Massa e Força (forças Peso, Tração, Normal, Elástica e Atrito) e Campo gravitacional. Não se deve definir Energia nem apontar as transformações sofridas pela mesma. Esse conceito e as várias transformações devem ser desenvolvidos no decorrer das visualizações/interações. Após esse momento inicial, o professor deve definir também outros invariantes operatórios esperados, mas não mencionados pelos estudantes, complementando a construção do conhecimento discutido na aula.

O Produto não é um roteiro fechado; ele deve acompanhar e ser flexível ao programa (aula a aula) da escola, inserido dentro de seu Plano Anual. Cada aula descrita no Produto compõe um encontro completo (um tempo de aula: 40 min ou 50 min). Caso o professor-aplicador já faça o acompanhamento do grupo de alunos, ou seja, o professor já conheça o grupo pois já vem a algum tempo trabalhando com o mesmo, o repertório já não será necessário. A teoria dos Campos Conceituais visa o aprendizado de um grupo de alunos, não a demonstração de conteúdos absorvidos pelos mesmos. Muito menos a competição.

O esboço da sequência didática ou utilização do produto é a seguinte:

- Análise dos conhecimentos prévios;
- Demonstração de situações (simuladores, YouTube);
- Sugestão de definições acerca de Energia;
- Definições de Trabalho e Energias;
- Quando possível, conectar o estudo da Mecânica e as outras áreas da Física;
- Conectar o conteúdo estudado com o cotidiano dos estudantes.

Se conveniente, a realização de questionário deve estar estruturada em níveis de dificuldade introdutório, intermediário e avançado, em que é importante perceber o regime de dificuldades dos estudantes ao trasladar sobre campos conceituais diferentes (MOREIRA, 2002). O questionário deve apresentar situações diferentes explorando conceitos relacionados a um invariante operatório alvo. Poderia ser, por exemplo, a atuação da força da gravidade sobre um corpo. Embora os problemas possam nem mencionar explicitamente sua atuação, não é possível solucionar as questões sem o conhecimento da natureza da interação e nem aplicar a forma simbólica correta. Além disso, deve-se observar a importância do domínio do conceito tratado, estimulado sempre que possível no início do questionário (ver questão 01 do modelo aplicado no próximo capítulo). Consideramos isso estratégico, embora insuficiente para alguns estudantes, em que nos é exigido atentarmos para alguma outra estratégia precedente a deficiência diagnosticada e que nos ajude a combatê-la. Essa é a ideia que gostaríamos de repassar ao se elaborar um questionário. É importante que todo o desenvolvimento seja acompanhado pelo professor-aplicador, fazendo perguntas indiretas para estimular a menção à invariantes operatórios e o uso modelado de esquemas que ajudem o aprendizado.

Os simuladores nem sempre possibilitam a realização de medidas diretas da energia cinética e potencial (quase nunca, em verdade), mas isso pode ser obtido indiretamente. Para isso, sugere-se a construção de gráficos e o auxílio do programa *Tracker* para se confirmar os resultados. Dessa forma, sugerir a medida de dados como a altura do objeto observado no sistema massa-mola artesanal (ou simulador) ou de qualquer grandeza envolvida na descrição do movimento de um pêndulo ou ainda de uma esfera realizando um looping, é importante para capturar, entender e refletir sobre o repertório científico dos estudantes. Verificar como eles descrevem e compreendem (ou não) esses movimentos nos auxiliará para que a proposta de ensino tenha êxito. Deve-se notar se o conhecimento matemático dos estudantes faz relação com a Física (por exemplo, os estudantes conseguem compreender que uma expressão, por exemplo, $F(x) = -kx$ ou $s(t) = v_0 + s_0 t$, são funções do primeiro grau (lineares)? Os alunos conseguem entender o que os problemas pedem? Essa última é por vezes a maior preocupação dos docentes.

Diante das possibilidades para se discutir um tema sem a perda de raciocínio por deficiência conceitual, o passo seguinte são os recortes a partir do campo conceitual trabalhado. Para isso, poderíamos sugerir a sequência de tópicos (ou subcampos) habitual dos livros:

- (i) Teorema Trabalho-Energia Cinética
- (ii) Energia Potencial
- (iii) Princípio de Conservação da Energia

Como Carvalho Junior (2011) também sugere, vamos descrever o esquema de situações para o ensino dos principais conceitos envolvidos na discussão do Princípio de Conservação da Energia Mecânica em consonância com a nossa proposta para o Ensino Médio, baseado no **conjunto de situações e compreender e a tratar**, nos **conceitos em ação** e nos **teoremas em ação** que, juntos, compõem os invariantes operatórios. Do mesmo modo, entendemos que uma situação deve ser um problema a ser resolvido pelo

estudante, mas além disso, que a natureza epistemológica deve ser intimamente estabelecida pela capacidade e modo de interpretação do estudante (CARVALHO JUNIOR, 2011, p. 64). Os questionários, como proposto neste trabalho, podem ser uma conexão para se analisar o padrão cognitivo dos estudantes e como o processo de ensino-aprendizagem aqui adotado contribui para o conhecimento adquirido, investigando-se as percepções e se/como as informações se relacionam com a experiência de vida dos estudantes.

É na diversificação de situações que estarão os sentidos dos conceitos. Nesse sentido, podemos destacar classes de situações relacionadas a:

S1: fatores que influenciam na variação do estado de movimento de um objeto: a variação da velocidade, a massa, a distância (altura) e as constantes de natureza intrínsecas a situação.

S2: transferência, conversão e conservação da energia, e como esses podem ser descritas e compreendidas considerando os conceitos de trabalho, energia cinética e potencial.

Os conceitos-em-ação podem advir das próprias classes de problemas e situações propostas ou discutidas em sala de aula. Devem estar ou são disponíveis no repertório dos estudantes. Desse, seleciona-se a parte necessária (a adequada) para a realização de cada ação (VERGNAUD, 1998; CARVALHO JUNIOR, 2011, p. 65; MOREIRA, 2002). Nesse sentido, podemos destacar os conceitos-em-ação em menções do tipo:

C1: movimento, movimentar, deslocar, ...

C2: subir, descer, horizontal, vertical, inclinado, queda ...

C3: variação, mudança, trocar, ...

C4: manter, parecer, equivaler, conservar, ...

C5: puxar, empurrar, forçar, liberar, apertar, esticar, ...

C6: aumentar, diminuir, rápido, devagar, ...

C7: força, gravidade, massa, peso, energia, velocidade, ...

C8: objeto, corpo, coisa, algo, ...

C9: criar, destruir, desaparecer, transformar, mudar, converter ...

C10: local, posição, altura, ...

Por fim, é através dos teoremas-em-ação que os conceitos-em-ação auxiliam os estudantes na construção das proposições que acreditam serem verdadeiras (mas podem ser falsas), podendo aparecer de modo implícito ou explícito nos enunciados dos estudantes (VERGNAUD, 1998; CARVALHO JUNIOR, 2011, p. 66; MOREIRA, 2002).

Será essa base que nos permitirá chegar as informações necessárias para modelar uma meta de ensino com ações contundentes e consoantes com o êxito esperado pela BNCC.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O produto educacional tem por finalidade oferecer uma sequência didática capaz de introduzir e estimular discussões de temas relacionados ao ensino de ciências. Em particular, a proposta desta dissertação contribui na área de Física compreendendo o estudo do Trabalho e Energia, tendo como base a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud.

O público alvo é o 3º ano do Ensino Médio, mas nada contraindica sua aplicação no 2º ano, desde que haja o conhecimento prévio dos princípios fundamentais e aplicações de Dinâmica. O uso de tais requisitos deve promover o acompanhamento da evolução do conhecimento, em particular conceitual, do discente. A abordagem central é o conceito de Energia, aqui dividido em três pontos: Trabalho de uma Força, Energia Cinética e Potencial, Lei de conservação da Energia.

5.1 O PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional proposto é um conjunto de atividades constituído por simuladores, tratamentos de vídeos, análise de vídeos e kits de fabricação artesanal.

a) **Simuladores**

Estes estão disponibilizados em sites da internet e são de uso livre. Entre esses, destacamos:

i) Sistema massa-mola horizontal e vertical

Nestes simuladores pode-se discutir tópicos como as Leis de Newton e suas aplicações, a Lei de Hooke, conceitos relacionados à Energia e sua Lei de Conservação, além da realização de medidas, tratamentos de dados com construção de gráficos e planos vetoriais (Figura 5.1).

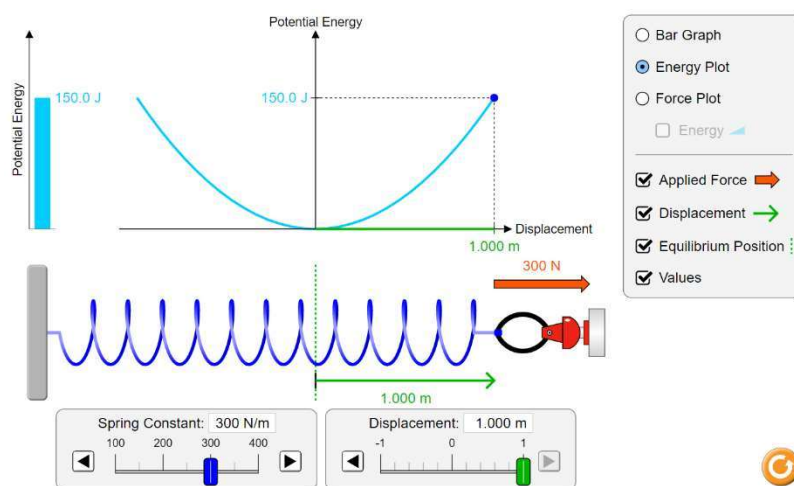
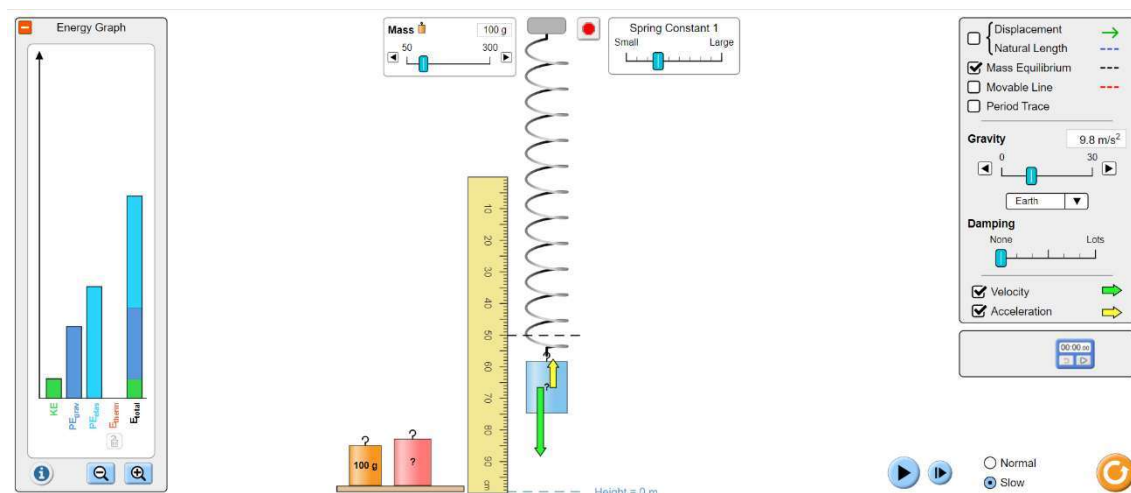
Com as atividades destes simuladores é possível estimular a aprendizagem através da determinação dos fatores que afetam o movimento de um corpo preso a uma mola e como obter e descrever a relação entre os parâmetros envolvidos na observação do movimento em várias posições. O tratamento dos dados pode ser escalar ou vetorial, pois é possível identificar e relacionar, por exemplo, grandezas físicas como posição, deslocamento, tempo, energia cinética e potencial, velocidade, aceleração (inclusive da gravidade), além de ser possível estimar a massa do corpo preso a mola e a própria constante elástica da mola. Além disso, esses simuladores possibilitam descrever como o diagrama de corpo livre muda ao longo da oscilação do corpo (vertical ou horizontal). Portanto, esta é uma atividade capaz de estimular os discentes a relacionar os conteúdos de cinética e dinâmica com os de energia em suas várias formas e a importância delas para o princípio de conservação da energia, como abordados em Mecânica Clássica.

Sites relacionados:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/masses-and-springs

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/hookes-law

Figura 5.1 Sistema massa-mola horizontal e vertical



Último acesso: 10/03/2022

Fonte: <https://phet.colorado.edu/>

ii) Parque energético para skate

Neste simulador pode-se discutir tópicos como as Leis de Newton e suas aplicações, conceitos relacionados à Energia e sua Lei de Conservação, além da realização de medidas, tratamentos de dados com construção de gráficos e planos vetoriais (Figura 5.2).

Com esta ferramenta é possível modelar um ambiente capaz de estimular a aprendizagem dos estudantes a partir de um parque de skate que trabalha os conceitos relacionados ao princípio de conservação da energia, com descrições gráficas sensorial e diagramas ilustrando a energia potencial elástica e gravitacional, além da obtenção dessas grandezas em qualquer posição do movimento do corpo (esqueitista). Nesta simulação é possível descrever como a mudança da massa, ou mesmo a aceleração da gravidade, afetariam o movimento do corpo.

O controle dos valores dos parâmetros relacionados neste estudo podem ser acompanhados através de um gráfico de barras de energia ou de tortas, em que são

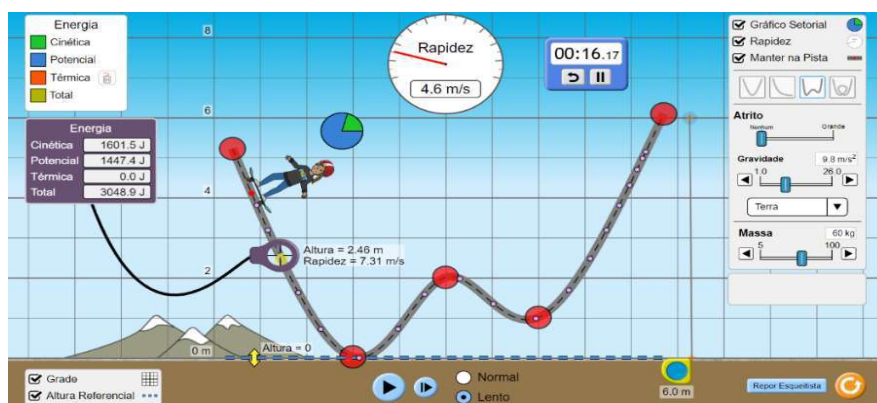
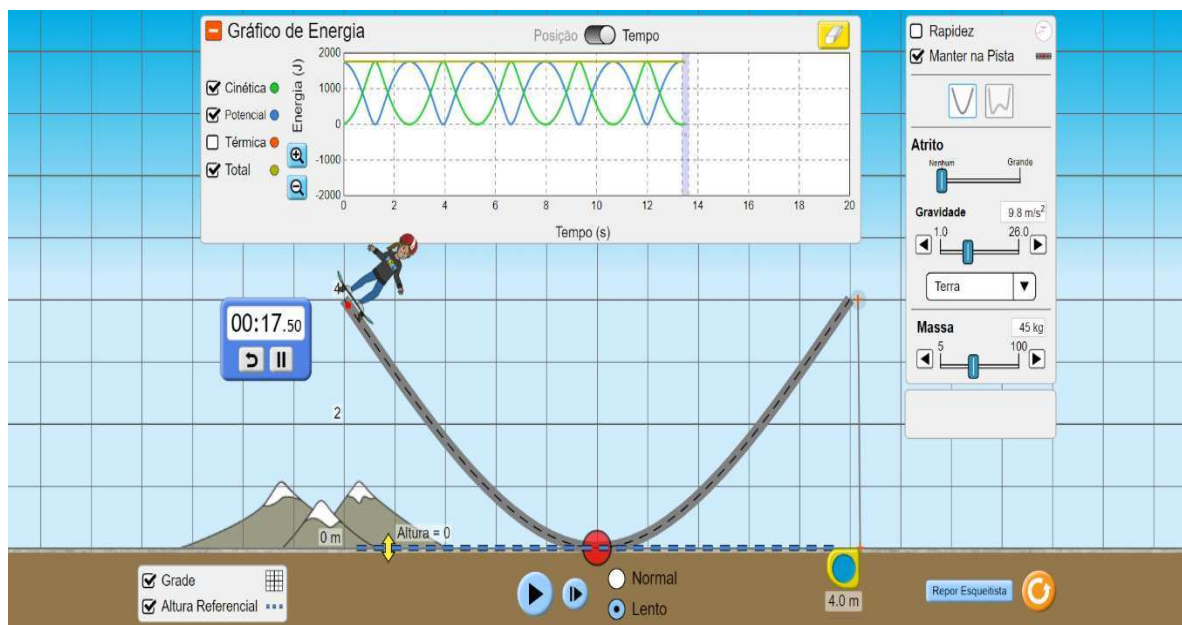
mostradas estimativas da energia cinética, potencial gravitacional, total, além da velocidade e o tempo decorrido durante o movimento, em cada posição desejada, independente do formato da trajetória, na qual o estudante pode, inclusive, modelar livremente. Essa interação estimula os estudantes a fazerem estimativas envolvendo a análise gráfica e cálculos de suas próprias modelagens, descobrindo o que acontece com o sistema quando qualquer um de seus parâmetros são modificados, desde a altura ou uma informação sobre uma posição diferente.

Sites relacionados:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/energy-skate-park

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/energy-skate-park-basics

Figura 5.2 Parque energético para skate



Fonte: <https://phet.colorado.edu/>

iii) Laboratório do pêndulo simples

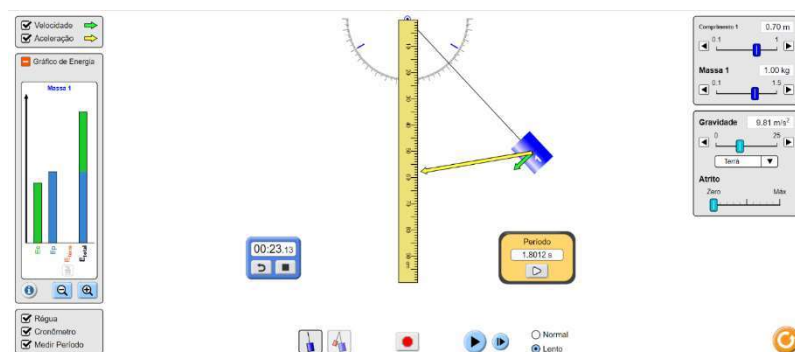
Este simulador torna possível investigar elementos da física newtoniana e os conceitos relacionados à Energia e sua Lei de Conservação, além da realização de medidas e análise de dados com construção de gráficos e planos vetoriais envolvendo a força da gravidade, a velocidade e a aceleração de um corpo conectado a um fio preso no teto (Figura 5.3).

Através desta simulação conseguimos modelar um ambiente que incentiva a curiosidade a partir de um sistema constituído por um pêndulo simples (massa e fio inextensível) capaz de explorar os conceitos relacionados ao princípio de conservação da energia, com descrições gráficas sensorial da energia potencial gravitacional, energia cinética e total. Ele é projetado para descrever as variáveis que afetam o movimento de um pêndulo de modo qualitativo e quantitativo, trabalhando conceitos de trigonometria através das projeções do vetor força gravitacional sobre o sistema cartesiano adequado, possibilitando, inclusive, a determinação de grandezas como a aceleração gravidade local.

Site relacionado:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/pendulum-lab

Figura 5.3 Laboratório do pêndulo simples



Fonte: <https://phet.colorado.edu/>

b) Kits artesanais

Estes dispositivos têm o objetivo de auxiliar os docentes de física interessados em disponibilizar atividades laboratoriais diferenciadas para seus estudantes. Eles proporcionam um trabalho alinhado a elaboração e construção de experimentos que supram as necessidades de uma escola, assim como tem a intenção de motivar o interesse em aprender, tornando as aulas mais interessantes e dinâmicas.

A viabilidade de materiais como este ajuda o processo de ensino e aprendizagem e contribui decisivamente para que os resultados satisfatórios desse processo sejam alcançados com êxito. Por isso, as atividades neles contidas almejam alcançar resultados que possam ser capazes de serem reproduzidos e, porque não dizer, aprimorados.

Dentro desse contexto, esta dissertação propõe o desenvolvimento de dois dispositivos capazes de explorar as concepções, obter o repertório e estimular a

curiosidade de estudantes por temas relacionados à Física. As atividades que este material pode proporcionar não têm limites e podem ser adaptadas facilmente a realidade de cada escola (são de baixo custo) ou pressuposto pedagógico.

De um modo geral, este material constitui-se em adaptações ou replicações dos simuladores ou atividades teóricas encontradas em livros didáticos. Mas além disso, recorreremos a dispositivos tecnológicos que facilitem a visualização e a obtenção de dados que, sem esses, praticamente não seríamos capazes de ir além da admiração visual. Neste caso, estamos falando do *Tracker*, um *software freeware* que tem por finalidade a vídeo-análise de eventos, principalmente físicos, como o movimento de partículas e corpos. Há a possibilidade, nesse *software*, de montagem rápida de gráficos a partir de dados obtidos em vídeos. O *software* examina um *frame* (quadro) da filmagem por vez (com intervalos mínimos de 0,033s de um *frame* para outro) e, a partir disso, pode determinar a posição e instantes de tempo com os dados obtidos e inferir outros parâmetros.

Inicialmente, em um aparelho celular ou computador com o programa *Java* já instalado, baixa-se o *software Quick Time* e em seguida realiza-se o *download* da versão *jnpl* do *Tracker*. Isso pode ser feito, respectivamente, nos endereços listados abaixo:

<https://www.apple.com/quicktime/download/>

<https://physlets.org/tracker/>.

Para a filmagem é importante que a câmera mantenha uma direção normal ao plano da trajetória descrita pelo objeto observado. O primeiro passo na análise de um vídeo é, após calibrar a escala do vídeo, marcar o ponto de massa do objeto filmado. Para mudança de quadro mantém-se a tecla *shift* pressionada e clicamos no botão esquerdo do *mouse*. Após a marcação dos pontos, o *Tracker* confecciona automaticamente os gráficos e tabelas, “restando” ao professor auxiliar os estudantes na interpretação dos resultados obtidos.

iv) Looping

Este dispositivo consiste em fazer uma esfera deslizar sobre uma superfície de metálica (alumínio ou ferro), (Figura 5.4).

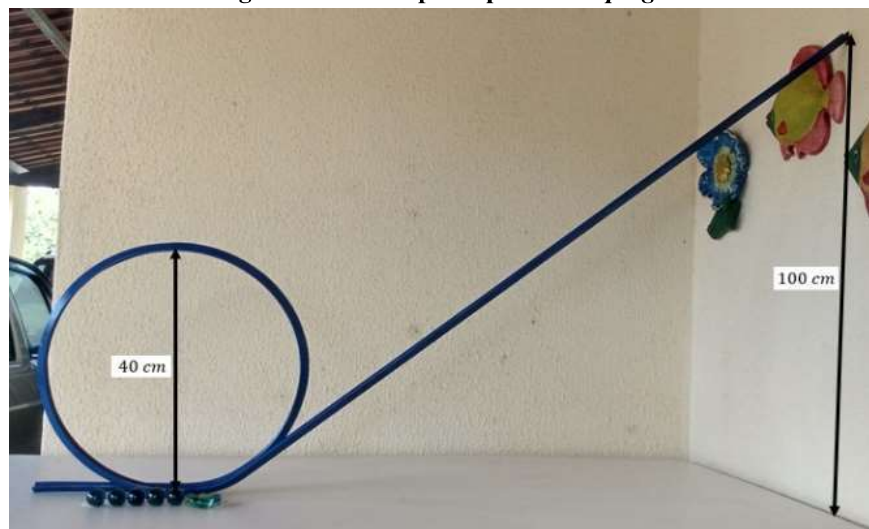
Figura 5.4 Looping



Fonte: Próprio autor.

A esfera pode ser metálica (aço), uma bola de gude ou similar, de massa m e que pode deslizar em uma pista com um mínimo de atrito (isso pode ser alcançado pintando e passando cera de uma vela sobre as superfícies da calha). Como mostrado na Figura 5.5, este aparato pode ser reproduzido a partir de uma canaleta com secção em “L”, com a parte circular medindo 40 cm de diâmetro. Para fazer a curvatura recomenda-se procurar uma metalúrgica que possua a máquina apropriada para fazer a dobra (curvatura do looping), processo esse denominado de “calandrar”. O comprimento total da canaleta, feita nesse caso de aço 3 mm, é de 2,5 m. Importante salientar também que entre o ponto mais baixo e o mais alto deve existir uma altura vertical de 100 cm, no mínimo.

Figura 5.5 Partes principais do *looping*



Fonte: Próprio autor.

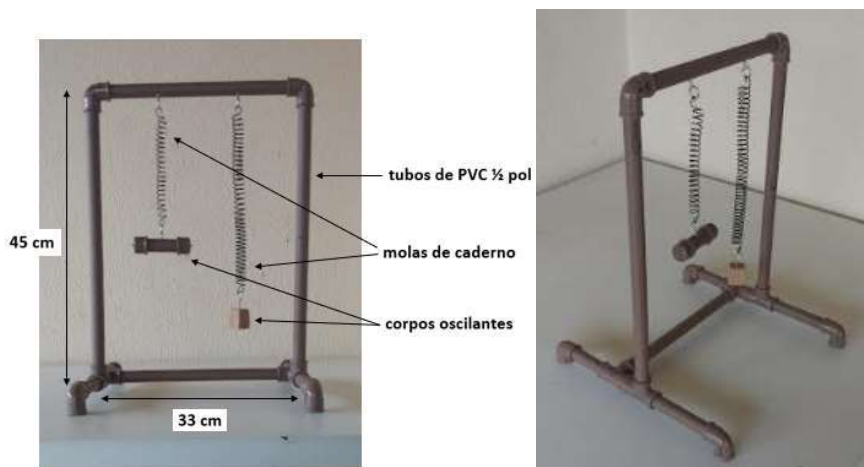
Uma série de atividades podem ser realizadas com este aparato experimental, pois ao ser liberada a partir do repouso (ou não) de um ponto h acima da base do dispositivo, pode-se exercitar conteúdos que enfatizem o cálculo do trabalho realizado sobre a esfera pela força da gravidade quando, por exemplo, a esfera se desloca da altura h para um ponto h_1 mais alto do *loop* (ou a meia altura $h_1/2$ do looping) ou mesmo variar o referencial do potencial gravitacional do sistema (terra-esfera), tomando como zero em outro ponto $h > 0$ e se refazer os cálculos, inclusive mostrando que o fato de a esfera ser liberada ou não a partir do repouso leva a observação de que as equações usadas para descrever o movimento da esfera mostram-se ser independentes da velocidade e que, desse modo, os resultados não são afetados por essa condição inicial. Embora esse resultado possa decepcionar alguns estudantes, ele é um ótimo exercício para verificar a representação simbólica deles. Pode-se estimar a altura mínima para que a esfera realize o loop com sucesso.

v) Sistema massa-mola vertical

Este é um dispositivo que promove exercícios que estimulam os estudantes em verificar o trabalho realizado sobre um corpo devido à uma força constante (gravidade) e uma força variável (elástica) exercida por uma mola, simultaneamente. Consiste em um

pequeno corpo preso a uma das extremidades de uma mola que, por sua vez, é conectada a uma estrutura de cano PVC pela outra extremidade (Figura 5.6).

Figura 5.6 Partes principais do sistema massa-mola vertical



Fonte: Próprio autor

Entre as atividades que este aparato experimental pode oferecer, enfatizamos aquelas que exercitam a compreensão do trabalho realizado sobre o bloco pela força da gravidade e pela força restauradora da mola quando, por exemplo, o bloco se desloca da altura h para uma outra altura h_1 mais alta (ou mais baixa) da oscilação. Variar o referencial do sistema, tomando como zero em outro ponto diferente daquele em que h é igual a altura h_0 de relaxamento da mola e se refazer os cálculos é interessante e um exercício para verificar a representação simbólica dos estudantes, acompanhando a interpretação e a percepção desses sobre a influência que esses fatores podem ter sobre a medida/contribuição da energia potencial elástica e gravitacional nesse processo de subida e descida do bloco, verificando que as forças tem naturezas distintas e contribuem de maneira peculiares no movimento do bloco: uma varia e a outra atua no bloco sempre com a mesma magnitude; ambas atuam na mesma direção, porém a força elástica pode atuar em dois sentidos e a força gravitacional somente em um.

6. APLICAÇÃO DO PRODUTO

O produto foi aplicado nas turmas de 3º ano do Ensino Médio, na Escola de Ensino Médio Alice Moreira de Oliveira, localizada em Sítios Novos, no município de Caucaia-CE. Participaram efetivamente do processo 30 alunos com idade acima de 17 anos, a grande maioria deles estudantes de baixa renda e veteranos da mesma escola. Deve-se mencionar que o conhecimento e domínio dos conteúdos, por parte dos estudantes, é insatisfatório devido principalmente ao calendário de aulas e ao ensino remoto forçado pela pandemia. Um fator que prejudicou a aplicação deveu-se as sucessivas mudanças nas datas das aulas por conta dos vários decretos de afastamentos sociais. Isso impossibilitou a aplicação dos kits artesanais e gravações dos vídeos diretamente com os estudantes e a subsequente coleta e análise de dados com o *software Tracker*.

A aplicação do produto, portanto, limitou-se no estudo e análise das simulações e foi dividida em sete momentos que seguiram uma lógica racional de complementariedade e aconteceu no segundo semestre do ano de 2021. Os encontros ocorreram semanalmente, ao longo de cinco semanas, com aulas de 40 minutos de duração cada, pelo *google meet*.

Antes do produto ser desenvolvido junto às turmas, formalizamos a proposta deste trabalho à gestão da escola, assim como informamos que a aplicação do produto educacional não traria qualquer prejuízo ao programa curricular da escola, uma vez que o assunto abordado faz parte do programa curricular da turma. Entretanto, observamos que até o momento da aplicação do produto os alunos simplesmente não conheciam a maior parte dos conceitos. Assim, como sabido, propomos uma sequência para o ensino na qual pudéssemos analisar e contribuir para o processo de aprendizagem a partir da teoria dos campos conceituais de Vergnaud.

Para isso, apresentamos a seguir a sequência de atividades dos conteúdos de Trabalho-Energia nas formas gravitacional, elástica e do princípio de conservação que esses obedecem em Mecânica Clássica, deixando explícito a estratégia de verificação do repertório e reflexão. Quando necessárias, as perguntas terão o objetivo de estimular a mediação didática que, apropriadamente, serão importantes para facilitar e fortalecer a aprendizagem dos estudantes.

6.1 OS ENCONTROS

AULA 01

O primeiro encontro foi planejado para ser trabalhado em sala de aula, tomando como base o campo do conhecimento previamente ensinado em anos anteriores, que é o caso dos conceitos do teorema Trabalho-Energia, as manifestações e natureza das forças e, por fim, a importância do princípio de conservação em física.

Nesse campo de estudo, optamos por sondar a habilidade dos estudantes em primeiramente definir, e depois, distinguir os parâmetros envolvidos nesse conteúdo. Essa escolha se fez importante porque esse estudo pode ser lido como uma maneira ou técnica diferente para se resolver os mesmos problemas já vistos em seus primeiros contatos com a física. Dito de outro modo, os conceitos de Trabalho e os carregados pela Lei de Conservação da Energia dão início a uma abordagem relacionada intrinsecamente com o estudo do movimento, mas descrita por uma representação simbólica diferente.

A verificação dessas conexões e o registro do repertório de conhecimentos prévios dos estudantes tornaram-se possíveis com a interação remota, via *Google Meet*, dialogicamente com a diversificação de situações, com o auxílio de simuladores computacionais, como descrito mais a frente. Poderia, porém, ser realizada ainda, com vídeos disponibilizados no *YouTube* e aplicativos de celular. As análises foram auxiliadas pelas seguintes simulações:

- Parque Energético para Skatistas, disponível em:
https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/energy-skate-park
- Massas e Molas, disponível em:
https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/masses-and-springs

Observou-se, neste momento de interação, uma grande defasagem no conhecimento. Além disso, as conexões esperadas seriam aquelas relacionadas aos efeitos de uma força sobre um corpo e conceitos de energia cinética e energia potencial. Observamos a seguir a transcrição de alguns estimuladores e de algumas respostas, quando existiram:

Tipos de Situações: Envolvendo os conceitos de força e movimento

Invariante operatório analisado: Aqueles relacionados ao que causa/permite o movimento de um corpo

Ambiente 1

Nesta discussão, o diálogo foi contextualizado a partir do ambiente (*interface*) das simulações envolvendo sistemas do tipo massa-mola e corpo (esqueitista)-Terra. Pensamos isso no sentido de, inicialmente, explorar as possibilidades de conexões a partir do ambiente do simulador, inclusive a relação desse com o cotidiano dos estudantes. Para nós isso era um primeiro passo importante, pois visualizaríamos as situações/estratégias para projetar a sequência das atividades de modo mais relacionado com a realidade dos estudantes e de modo a conferir sentido aos conceitos físicos trabalhados.

Diante do silêncio inicial, foi comentado com os estudantes que se tratava de ambientes que nos possibilitaria estudar situações de movimento de corpos. Algumas vezes esse movimento seria a partir do repouso e em outras para uma situação repouso, ou mesmo situações em que o movimento seria observado apenas em um intervalo de tempo suficiente para que o corpo nem estivesse em repouso e nem precisasse ir para o estado de repouso. Nesses casos, então, “**o que poderia causar/permitir o movimento de um corpo?**”. Pode-se destacar a menção de alguns invariantes operatórios enunciados pelos estudantes:

“...algo que puxa para algum canto.”

“A gravidade.”

“Ocorre quando alguém empurra uma coisa.”

“...foi por causa da pista não ser horizontal.”

“...depende do peso do objeto.”

“...a uma força.”

O que é “fazer força”?

Destacamos os seguintes invariantes operatórios enunciados pelos estudantes:

“...quando alguém empurra alguma coisa.”

“É fazer um esforço.”

“É quando algo está em movimento.”

Ambiente 2

Os corpos foram postos em movimento.

Haveria algum tipo de energia capaz de explicar/descrever o corpo entrar ou sair de um estado de movimento? Aqui, quem respondeu associou energia à eletrocussão:

“...quando a pessoa leva um choque elétrico...”

Ambiente 3

As barras gráficas de energia foram adicionadas a *interface*.

Será que existe alguma relação entre movimento e uma energia que ninguém consegue ver? Se ela existir, o que precisaríamos para poder vê-la ou detectá-la? Após a visualização das barras dos gráficos de energia nos simuladores, quase todos responderam:

“Sim.”

É possível que a energia possa ser transformada de uma forma em outra, criada ou destruída? Quem respondeu, apenas concordou com a pergunta:

“...pode ser transformada, criada e destruída.”

O intuito deste último ambiente era verificar o domínio do conceito de Trabalho, porém, qualquer menção a isso foi feita. É importante mencionar que os simuladores apresentados nesta, e as próximas aulas, não fazem qualquer menção ao trabalho. Esse conceito, de fato implícito, deve ser construído junto com os estudantes. Também não foi observado representações simbólicas até este momento.

AULAS 02 E 03

Tipos de Situações: Envolvendo o conceito de Trabalho

Invariante operatório analisado: Aqueles relacionados ao conceito de trabalho

Ocorreram remotamente, via *Google Meet*. Nestes encontros, além do uso de slides com exposição de conteúdo (Anexo II), tivemos o auxílio de mais um simulador:

- Work:

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech_prace&l=en

Nesta aula projetamos a apresentação da definição de Trabalho como mecanismo imaginado para transferir energia e também uma descrição quantitativa desse conteúdo. A seguir são apresentados os estimuladores e algumas respostas (nenhuma pergunta, aqui, ficou em branco). Como havíamos deixado implícito que estaríamos tratando de situações em que o conceito de energia seria importante para a descrição dos movimentos, acreditamos que os estudantes poderiam realizar uma pesquisa ou estudo após a aula anterior. Por isso, julgamos importante verificar se essa estratégia seria projetada nas atividades seguintes, novamente, de modo relacionado com a realidade dos estudantes (se realizada, foi em livro, celular, tablet, computador, ..., individual ou em grupo, quais sites acharam mais interessantes e porquê).

Na aula anterior deixamos “no ar” que o conceito de energia seria necessário para a descrição dos movimentos. Desse modo, como poderíamos compreender o que é energia? Isso existe mesmo? Como poderíamos associar ela a descrição de um movimento de um corpo?

“É algo relacionada ao movimento.”

“Depende do local onde o corpo tá.”

“...está ligada a forma de trabalhar.”

“...pode definir a velocidade de um objeto.”

Nesse último enunciado, já é possível identificar um invariante operatório mais robusto.

Uma energia pode ser observada/identificada? Se sim, como?

“...quando há movimento.”

“...basta ter um corpo que pode entrar em movimento.”

“Tudo depende do objeto e de onde ele está.”

Aproveitamos esse último enunciado como ponte de partida para estudar a energia potencial. Antes, porém ainda preferimos explorar um pouco mais o potencial de conhecimentos dos estudantes sobre o tema e projetamos uma pergunta para estimular a

associação da energia com o movimento. A pergunta seguinte nos levou a trabalhar o conceito de energia cinética.

O que um corpo seria capaz de realizar quando ele possui energia?

“...qualquer coisa que ele quisesse, inclusive mudar de lugar.”

“Movimento.”

“Trabalho.”

Foi possível, então, aproveitar o segundo enunciado para se trabalhar a definição de energia cinética.

Existe alguma condição para a energia poder ser transformada? Qual seria a necessidade para isso ocorrer? É um processo espontâneo ou sempre deve existir um agente externo atuando? Quando isso é possível?

Após a observação da existência do atrito nas simulações, o que não era previsto inicialmente, a resposta foi quase unânime para a primeira parte da pergunta:

“Sempre.”

A maioria teve dificuldade, no entanto, para responder sobre a necessidade para a ocorrência e ficaram em silêncio. Todos concordaram que deve existir a ação de uma força para tornar possível o uso de energia.

Aproveitando essa atividade inicial, pudemos explorar esse repertório para discutir a constante busca da física para compreender a essência do conceito de energia. Embora seja frequentemente falado no cotidiano, a energia não passa de um conceito matemático útil atribuído a aquilo que é comumente relacionado a capacidade que um corpo tem de realizar trabalho. Embora carregue uma definição matemática, a ciência usa essa definição para descrever diversos fenômenos/sistemas, inclusive com consequências fundamentais para o funcionamento de muitas atividades do nosso dia-a-dia. Entre as mais importantes, pode-se citar a transformação da energia potencial da queda das águas em energia elétrica nas hidroelétricas, a conversão de energia radiante do Sol em elétrica através do fenômeno fotovoltaico.

Buscamos associar o conceito de trabalho a mecânica clássica e a uma realidade mais próxima desses estudantes. Desse modo, definimos a grandeza Trabalho como uma forma de se transferir energia de um sistema para um corpo (ou outro sistema), e vice-versa, para variar seu estado de movimento (aumentar ou diminuir sua velocidade), ou seja, a transferência e a transformação de energia são conceitos intimamente relacionados.

No cotidiano, houveram citações complementares, entre essas, aplicações no transporte de objetos (guindastes, na construção civil e por veículos terrestres, aéreos ou aquáticos), nos esportes (chutar uma bola ou lançar um objeto), giro das hélices dos cata-ventos em parques eólicos, funcionamentos dos motores de carros, estilingue, montanha russa, sistema de molas em telas de projeção ou canetas, sistemas de amortecimento de veículos (amortecedores), balanças ou mesmo apoiar objetos. Esta aula foi finalizada com

a quantificação desses conceitos com o auxílio da simulação supracitada e os slides disponibilizados no Anexo II desta dissertação.

AULAS 04 E 05

Tipos de Situações: Envolvendo os conceitos de Trabalho, Energia Cinética, Energia Potencial e o Princípio de Conservação da Energia.

Invariante operatório analisado: Aqueles relacionados ao princípio de conservação da energia mecânica e seus fatos históricos

Ocorreram remotamente, via Google Meet. Aqui foram definidos os principais conceitos envolvendo trabalho, a realização de trabalho com a variação de energia cinética, energia potencial (gravitacional e elástica), assim também como diferenciar sistemas conservativos e não conservativos. Como a aula foi expositiva, foram também usados slides (Anexo II). Durante a aula, os alunos foram indagados sobre a importância dos fatos históricos que levaram a algumas conceitualizações. Os alunos ficaram divididos:

“...essa aula é de História ou de Física?”

“...é sempre bom saber de onde surgiu determinada ideia.”

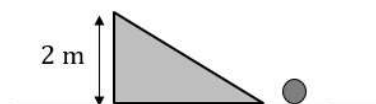
Mas houve uma reclamação recorrente: *“Cadê as simulações professor?”*

Ou ainda: *“...e os joguinhos, não vai ter mais não?”*

Esta aula foi finalizada com um questionário, em que os conceitos trabalhados foram explorados. Com ele pretendíamos confrontar as interpretações baseadas nos esquemas científicos propostos nesta dissertação com aqueles que permeiam a realidade dos discentes, verificando correspondências capazes de fornecer informações sobre o desenvolvimento da aprendizagem. Isso nos possibilita, entre outras coisas, avaliar o que foi compreendido pelo aluno, ajudando-nos a (re)organizar a proposta de ensino e a tomar medidas mais interessantes para recuperar o discente e/ou melhorar a forma e a qualidade de apresentar/avaliar os conteúdos e a aprendizagem desse. Cada questão foi apresentada, respondida e discutida completamente pelo docente antes da próxima questão, em seguida, seguiu-se o mesmo procedimento para as demais.

QUESTIONÁRIO

01. Qual a diferença entre a definição física de trabalho com o significado de trabalho no nosso dia a dia?
02. Um estivador levanta uma saca de soja e a mantém erguida sobre sua cabeça. Ele estará realizando trabalho durante a manutenção da saca sobre sua cabeça?
03. Diferencie trabalho de energia potencial gravitacional.
04. Considere uma pequena caixa de peso igual a 50 N. Quanto trabalho é necessário para erguê-la a uma altura de 2 m? E a uma altura de 4 m?
05. Observe a rampa e a esfera representadas abaixo:

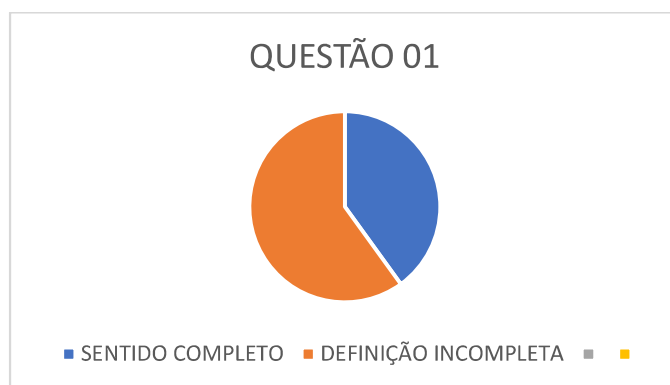


Sabendo que o peso da esfera é de 40 N, Calcule:

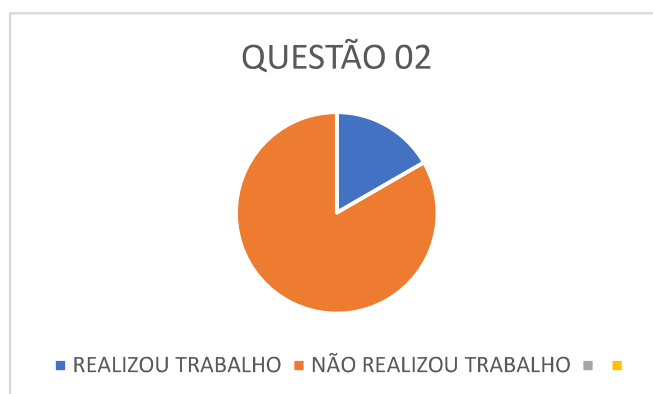
- o trabalho necessário para erguê-la a uma altura vertical de 2 m;
- o trabalho necessário para empurrar a esfera ao longo da rampa, percorrendo 4 m (a força necessária para tal é de 20 N);
- o aumento da energia potencial da esfera nos dois casos.

Analisando as respostas dos alunos, observamos que:

Questão 01: Todos os alunos, de uma forma ou de outra, afirmaram que para a física a definição de trabalho associa a execução de uma força e o respectivo deslocamento causado por ela, o que reproduz meramente a simbologia do conteúdo: *“prá ter Trabalho tem que ter força e movimento.”* Para doze alunos foi importante salientar também a transformação de energia envolvida no processo, ou seja, um sentido completo do conceito foi compreendido. No cotidiano, a execução de trabalho foi relacionada a uma forma de manutenção da vida (trabalho braçal ou um esforço associado a um salário ao fim do mês).



Questão 02: Talvez por influência da questão anterior, os alunos foram categóricos em afirmar que o estivador estava trabalhando no sentido comum da palavra. Apenas cinco alunos não relacionaram a não ocorrência de movimento com a realização de trabalho do ponto de vista da Física.



Observação: Aqui foi necessário esclarecer o que é a profissão de estivador para alguns alunos.

Questão 03: Essa foi a questão de pior rendimento. Apenas três alunos acertaram e um deles afirmou que: “...para ter energia potencial gravitacional, o objeto mesmo parado, precisa apenas estar a uma certa altura de um local. Para ter trabalho tem que estar em movimento.”

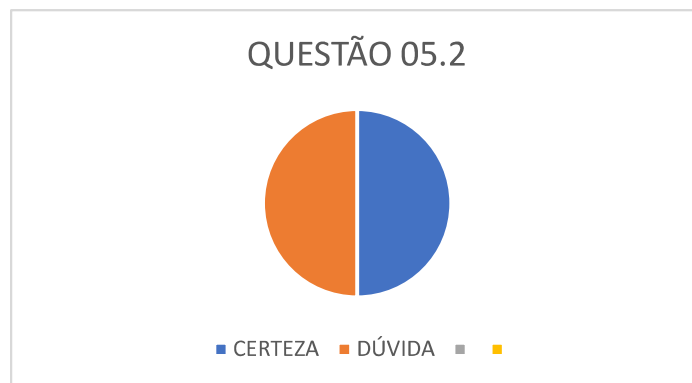


Questão 04: Embora extremamente simples, dezesseis alunos não fizeram corretamente a questão, simplesmente por não saberem diferenciar peso de massa: “Professor, eu uso quanto de gravidade?”. Mesmo sabendo que a questão poderia ser melhor elaborada, por exemplo, deixar claro que o movimento da caixa seria na vertical, tal deficiência comprometeria do mesmo modo a solução.

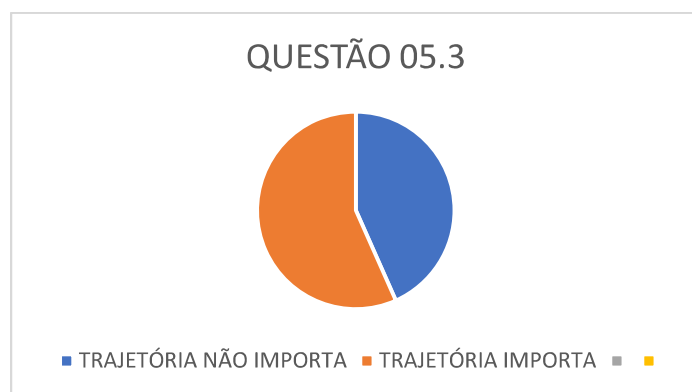


Questão 05: Vamos dividir essa questão em três partes:

- Na primeira, embalados pela discussão da questão anterior, todos os alunos acertaram;
- Na segunda parte, embora todos tenham acertado, quinze alunos não confiaram em suas próprias respostas: “Como pode ser o mesmo trabalho se o caminho é diferente?” ou ainda: “...era para ser mais fácil empurrando pela rampa, assim se gastava menos energia!”



- Após um breve e necessário esclarecimento sobre o tipo de energia potencial – a gravitacional – todos concordaram que em ambos os casos a variação deveria ser a mesma. Entretanto, treze alunos afirmaram que a trajetória não importava: “...a gente só olha de onde o objeto saiu e para onde ele chegou!”, ou ainda: “...só interessa o ponto inicial e o ponto final...”. Mas transpareceu ser uma simples repetição de opiniões comuns.



Entre as questões desse questionário as mais importantes são as três primeiras. As demais tinham apenas caráter simbólico, ao menos era o que se esperava. Surpreendeu, porém, o fato de conhecimentos mais simples não serem de domínio do estudante: não saber diferenciar massa de peso é verdadeiramente preocupante para um estudante do último ano do Ensino Médio. Isso, de fato, foi uma entre várias deficiências identificadas.

Embora as questões propostas não fossem complexas, o ponto fundamental dessa avaliação, a nosso ver, foi apresentar situações diferentes explorando conceitos relacionadas a atuação da força da gravidade sobre um corpo. Os problemas não mencionam explicitamente sua atuação, mas não há como solucioná-los sem esse conhecimento. Desse modo, a interpretação tinha uma função fundamental nesse tipo de questionário; sem o conhecimento da natureza da força atuando sobre o bloco o estudante não haveria de aplicar a forma simbólica (matematicamente) adequada para encontrar a magnitude do trabalho necessário para erguer ou empurrar o corpo até uma certa altura. Além disso, observe a importância do domínio do conceito de trabalho, estimulado na primeira questão. Isso foi, de fato, estratégico, embora insuficiente para alguns estudantes. Para esses precisamos nos mobilizar com alguma outra estratégia que preceda a deficiência e que ao mesmo tempo ajude a combatê-la. Essa é a ideia que gostaríamos de repassar ao se elaborar algum questionário.

7. CONCLUSÕES

Este é um momento de reflexão em que podemos destacar e discutir possíveis problemas com a forma tradicional de ensinar. Vamos identificar, do nosso ponto de vista, alguns incômodos como, por exemplo, o conteúdo é apresentado nos livros. Não que esses estejam errados, mas como a ausência de exemplos do cotidiano ou distantes da realidade dos estudantes, ou mesmo a ausência de sugestão de experimentos ou fórmulas incompreensíveis ou que não fazem sentido, podem comprometer o êxito em um processo de ensino-aprendizagem de Física.

Algumas grandezas físicas, e isso talvez seja o que mais incomoda, não são bem definidas com relação ao seu próprio significado. A definição de Trabalho, por exemplo, não é relacionada à transformação de energia, o que é fundamental em seu conceito. Esse fato não caracteriza, de fato, um erro. Está mais ligado a uma forma tradicional de lidar com o tema. A forma que é repassada a definição, no entanto, conduz o aluno a pensar erroneamente que a energia vem ou surge de uma força. Há sim, por outro lado, a citação de muitos exemplos e questões (principalmente) contextualizadas. Existem também demonstrações simples das referidas equações. Porém, não são sugeridos práticas e/ou experimentos sobre o assunto. Nem mesmo são mostradas simulações. Falta também um contexto histórico, uma localização cronológica que explique também – se for o caso – a necessidade de se definir tal ideia.

Outro incômodo surge da não ligação da Mecânica com a Termodinâmica (e outros ramos da Física). Quando mostramos, por exemplo, o Trabalho termodinâmico, frequentemente recebemos a indagação: “Professor, esse Trabalho aí é o mesmo que nós vimos ano passado, no 1º ano?” Ou ainda quando abordamos as Leis da Termodinâmica: “...o que é que tem a ver a 2ª Lei da Termodinâmica com realização de Trabalho professor?”.

Alguns outros trabalhos já retrataram o conteúdo do tema desta dissertação através de problemas que despontam no Ensino de Ciências e na História das Ciências (CAMPOS, 2014). Ao investigarem as dificuldades do processo de aprendizagem do conceito de energia, os autores procuraram mostrar evidências epistemológicas que dessem notoriedade ao conceito. Para isso, orientaram-se por indícios teóricos e empíricos que os conduzissem a descrição e a discussões sobre os problemas que envolvem a instrução do tema Conservação da Energia Mecânica, tratado pelo seu desenvolvimento histórico, daqueles encontrados nos manuais do Ensino Superior e nas pesquisas que discutem seu aprendizado.

Sem tirar qualquer mérito da proposta e das conclusões desses autores, esta dissertação é complementar a esse trabalho no sentido de que foi aplicado a um grupo consideravelmente maior de estudantes do Ensino Médio (dois entrevistados contra trinta com aplicação do produto virtual) e a uma outra realidade – a sala de aula brasileira (os autores tratam também com dados americanos). Do mesmo que eles, destacamos com preocupação a ausência de mecanismos de diversificação em cima da discussão dos conceitos envolvidos no princípio de conservação da energia mecânica e sua relação com outras áreas da Física.

Na rede pública os livros utilizados resumem muito os temas analisados em cada capítulo. Algumas definições conceituais e demonstrações matemáticas são simplesmente ignoradas. Muitas vezes não há, inclusive, uma ordem crescente de dificuldade na aplicação de itens (questões). Não há uma localização temporal de fatos históricos. Tudo leva o aluno a “entender” que a Física é apenas um conjunto de fórmulas não associadas ao cotidiano.

Deve-se salientar que o uso forçado e contínuo de instrumentos digitais, como computadores e celulares (por conta do ensino remoto causado pela pandemia) diminuiu o já pequeno gosto pela leitura dos alunos. A capacidade interpretativa das pessoas em geral, proporcionalmente, diminuiu.

Por outro lado, o problema do tempo (falta dele nos atuais calendários conteudistas) não favorece, mesmo na escola privada, o uso de simulações e a prática de experimentos. Mesmo quando o uso de pequenos e simples aparatos ocorre, ele é executado pelo próprio professor. O aluno quase nunca tem a oportunidade de manusear instrumentos que tem o objetivo de estimular o aprendizado.

Identificar a forma como os discentes interpretam os problemas podem nos ajudar a planejar métodos de intervenções capazes de superar interferências de ordem, inclusive, socioeconômica. É muitas vezes com o uso de materiais de baixo custo ou encontrados em sucatas e lixos, que se consegue construir aparatos experimentais capazes de suprir deficiências ou ausência desses no ambiente escolar. Com isso pode-se, inclusive, conscientizar esta geração sobre a produção, o uso e as consequências ambientais e sociais ocasionadas pelo uso sem zelo da energia, nas suas várias formas e transformações.

A escola e a sociedade, por sua vez, valorizam exageradamente o imediatismo com o uso de símbolos, dando-se pouca atenção à realidade. Esta dissertação visou aumentar o poder interpretativo e a descrição fenomenológica do estudante, buscando uma maior correlação entre os campos conceituais através da diversificação de situações, levando esse estudante a uma evolução no desenvolvimento cognitivo e no processo de construção do seu conhecimento.

É óbvio que nem todos esses estudantes demonstraram a mesma aprendizagem nem a mesma velocidade de absorção. No construtivismo, observamos uma teoria que foca no erro e assim surgem algumas perguntas: Por que certo aluno não acertou o processo? Por que ele caminhou numa direção diferente da indicada?

O mesmo raciocínio deve ser usado nas demais plataformas e situações vividas pelo estudante, pois a compreensão do caminho percorrido por ele até alcançar o raciocínio construído e apresentado, contribuirá para facilitar o diagnóstico e análise histórica do fenômeno conceitualmente descrito por esse estudante (HOERNIG, 2018).

O que dificultou a aplicação desse Produto, além das alterações de horários e tempos de aula já citados foi, de forma geral, o pouco discernimento matemático e baixa capacidade interpretativa de textos. Alguns não conseguiam montar uma simples regra de três.

Existem vários passos no desenvolvimento das estratégias. O primeiro é conhecer o aluno. O repertório dos alunos é fundamental nesse processo. Tendo essa base, dever ser mostradas algumas situações onde podem ser observados realização de Trabalho e

conservação ou não da Energia Mecânica. Em seguida são definidos e equacionados os conceitos, localizando historicamente cada situação.

Na escola, muitas vezes e infelizmente, não é possível fazer um diagnóstico prévio dos alunos. Por outro lado, mesmo escolas públicas já dispõem de internet rápida, computadores e projetores em sala de aula. Isso torna possível a visualização de muitas situações e a utilização de simuladores sobre o tema. Há, inclusive, a doação pelo Governo de tablets aos alunos de escolas públicas. O tempo destinado às aulas e as constantes alterações de horários (devido a decretos de afastamento social) diminuíram e restringiram a análise de todas as situações necessárias ao entendimento completo do tema.

O acompanhamento do professor pode melhorar a absorção de conteúdos por parte dos estudantes. Por outro lado, aprendizagem e a cognição verificadas comprovaram que a diversificação de situações verificadas com o uso dos simuladores, foram válidas e fundamentais. Esses dois elementos possibilitaram a identificação, de fato, das grandezas envolvidas na descrição da situação, inclusive com a linguagem científica adequada, destacando-se a conexão com a construção formal do conhecimento tratado (teoremas-em-prática). Como destacado por Campos (p. 269, 2014), não há uma articulação bem definida das ideias dos estudantes com o conceito formal no campo de conhecimento da grandeza.

Os simuladores ajudaram não só na visualização dos invariantes operatórios relacionados às situações apresentadas mas, principalmente, na especificação completa da definição de Trabalho, desprezada pelos autores das obras mais utilizadas no Ensino Médio: a ideia de transformação de energia. Fugimos assim da falsa ideia de que a energia vem de uma força. Com a diversidade de fenômenos observados nesses, houve também uma facilidade maior e mais abrangente na absorção dos aspectos linguísticos e terminológicos. Além disso, há ainda a possibilidade de comparação de resultados (por exemplo: valores das intensidades das velocidades atingidas pelas partículas) no cenário virtual e no cenário real – simuladores e kits.

A teoria pedagógica levada em consideração nesta proposta é aquela que favorece o aprendizado, pois oferece aos estudantes chances de desenvolvimento de seus próprios esquemas, fazendo inclusive adaptações próprias para novas definições. O professor em cima dos erros deve tentar desenvolver novas estratégias com o objetivo da aquisição correta do conhecimento. O uso de aparatos e simuladores computacionais serviram como estímulos, mostrando que o conhecimento e a experiência estão exteriorizados. Não estão presos dentro de cada mente. Isso leva à necessidade de separação entre o verdadeiro do falso.

O Produto educacional desenvolvido nesta dissertação pode ser aplicado tanto presencialmente como remotamente (utilizando, no caso, somente as simulações sugeridas). Ele é viável, concreto e pode ser utilizado em sala de aula. Não é algo rígido e imutável. Inclusive é bem maleável, sendo possível alterar seu conteúdo; pode ser utilizado em aulas do 1º ano (apenas a parte relacionada a Mecânica), no 2º (Mecânica ligada à Termodinâmica) ou no 3º (Mecânica, Termodinâmica e Eletricidade

correlacionadas). E ainda: a teoria de aprendizagem de Vergnaud é aplicável em qualquer Ciência.

REFERÊNCIAS

ARAGÃO, E. M. C. A.; ARAGÃO, P. H. A. **Física: Ensino Médio**, Brasília: CIB – Cisbrasil, 2005.

BOREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. Disponível em: <<https://www.bipm.org/en/about-us/member-states/>> . Acesso em: 02 dez 2021.

BNCC - Base Nacional Comum Curricular. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>>. Acesso em: 15 dez 2021.

CALÇADA, C. S.; SAMPAIO, J. L. **Física Clássica: Mecânica**. São Paulo: Editora Atual, 2012.

CAMPOS, A. **A Conceitualização do Princípio de Conservação da Energia Mecânica: os processos de aprendizagem e a Teoria dos Campos Conceituais**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, 2014.

CARVALHO JUNIOR, G. D. **Aula de física: do planejamento à avaliação. 1 ed.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

DOCA, R. H.; FOGO, R.; BÔAS, N. V. **Tópicos de Física: Conecte Live**. 3ª ed., São Paulo: Saraiva, 2018.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDAS, M. **Lições de física de Feynman**, v.1. Porto Alegre: Bookman, 2008.

GAMOW, G. **Biografia de la Física**. Alianz Editorial, 1980.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: mecânica**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 12 ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

HOERNIG, A. F.; MASSONI, N. T. História e Epistemologia da Ciência: alguns aprofundamentos e enriquecimentos que podem ser úteis a futuros professores de Física. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, UFRGS, v. 29, n. 6, 2018.

MOREIRA, M. A. **Teoria de aprendizagem** / Marco Antônio Moreira. – São Paulo: EPU, 1999

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**. V7(1), pp. 7-29, 2002.

NOVO SI. **O novo Sistema Internacional de Unidades (SI)**. Sociedade brasileira de metrologia. Sociedade Brasileira de Física. Disponível em: <https://metrologia.org.br/wpsite/wp-content/uploads/2019/07/Cartilha_O_novo_SI_29.06.2029.pdf>. Acesso em: 02 dez 2021.

VERGNAUD, G. La théorie de champs conceptuels. *Recherches en Didactique de Mathématiques*, 1990, v. 10, n.2.3, p. 133-170. Pensée Sauvage: Grenoble, França.

VERGNAUD, G. *Homomorphismes réel-représentation et signifié-signifiant: Exemples en mathématiques*. Didaskalia, n. 5, p. 25-34, 1994.

VERGNAUD, G. A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. Revista do GEMPA, Porto Alegre, Nº 4, pp. 9-19, 1996.

VERGNAUD, G. *A Comprehensive Theory of Representation for Mathematics Education*. JMB, 17 (2), 167-181, 1998.

VERGNAUD, G. **A teoria dos Campos Conceituais**. In: NASSER, L. (Ed.). Seminário Internacional de Educação Matemática, I, 1993, Rio de Janeiro, Anais do Seminário de Educação Matemática, 2008.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **FÍSICA I: Mecânica**. 14 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2018.

ANEXO I

SIMULAÇÕES

Veja: A RAMPA:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/the-ramp

Veja: ENERGIA NA PISTA DE SKATE:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/energy-skate-park-basics

Veja: PARQUE ENERGÉTICO PARA SKATISTAS:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/energy-skate-park

Veja: WORK:

<https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mechanics&l=en>

Veja: FORMAS DE ENERGIA E TRANSFORMAÇÕES:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/energy-forms-and-changes

Veja: MASSAS E MOLAS:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/masses-and-springs

Veja: LABORATÓRIO DO PÊNDULO:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/pendulum-lab

Veja: LEI DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA:

<https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mechanics&l=pt>

ANEXO II

SLIDES

TRABALHO DE UMA FORÇA (W)

Para uma força constante e um movimento retilíneo na mesma direção da força, define-se o Trabalho que a força aplicada realiza sobre um objeto como o produto do valor da força pela distância ao longo da qual o objeto foi movimentado:



Quando um corpo se move ao longo de um deslocamento $\vec{d}$ enquanto uma força constante $\vec{F}$ atua sobre ele na mesma direção e no mesmo sentido:

$$\text{Trabalho} = \text{força} \times \text{distância}$$

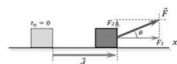
TRABALHO DE UMA FORÇA (W)

$$W = Fd$$

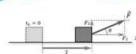
Trabalho

↳ Transformação de **ENERGIA**.

Entretanto, pode-se imaginar uma força formando um ângulo θ com o seu deslocamento. Nesse caso, $\vec{F}$ possui um componente $F_1 = F \cos \theta$ paralelo à direção do deslocamento e um componente $F_2 = F \sin \theta$ perpendicular ao deslocamento. Outras forças podem e devem atuar sobre o objeto ao longo de $\vec{d}$, mas não na direção de $\vec{F}$:



Trabalho realizado por uma força constante que forma um ângulo θ em relação ao deslocamento.



Trabalho realizado por uma força constante que forma um ângulo θ em relação ao deslocamento.

Como o interesse é apenas no trabalho que a força realiza, deve-se considerar apenas o componente paralelo F_1 que é o responsável pelo movimento. Assim o Trabalho é definido como o produto desse componente da força pelo módulo do deslocamento (supondo que F e θ permanecem constantes):

$$F_1 = F \cos \theta$$

$$W = F_1 d = (F \cos \theta) d$$

$$W = Fd \cos \theta$$

Observa-se, então, que o trabalho é uma grandeza escalar e sua unidade de medida é o *newton – metro*. No Sistema Internacional, a unidade de Trabalho é o *joule (J)*, dado em homenagem ao físico inglês James Prescott Joule (Reino Unido, 1818 - 1889).

ENERGIA CINÉTICA (E_C)

$$E_C = \frac{mv^2}{2}$$

TEOREMA DA ENERGIA CINÉTICA (TEC)

$$W = \Delta E_C$$

TRABALHO DA FORÇA ELÁSTICA

$$W = \frac{kx^2}{2}$$

onde:

- $k \rightarrow$ constante elástica;
- $x \rightarrow$ deformação observada.