



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL
EM ENSINO DE FÍSICA

MADISON LUIS CANÊJO DA SILVA

**LABORATÓRIO ABERTO INVESTIGATIVO DE FÍSICA: proposta de ensino da
energia mecânica a partir do brinquedo de *hot wheels***

Caruaru
2020

MADISON LUIS CANÊJO DA SILVA

LABORATÓRIO ABERTO INVESTIGATIVO DE FÍSICA: proposta de ensino da energia mecânica a partir do brinquedo de *hot wheels*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Formação de Professores de Física em Nível de Mestrado

Orientador: Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira

Caruaru
2020

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

S586l Silva, Madison Luis Canêjo da.
Laboratório aberto investigativo de física: proposta de ensino da energia mecânica a partir do brinquedo de *hot wheels*. / Madison Luis Canêjo da Silva. – 2020.
141 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Augusto César Lima Moreira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, 2020.
Inclui Referências.

1. Aprendizagem ativa – Vitória de Santo Antão (PE). 2. Ciência – Estudo e ensino – Vitória de Santo Antão (PE). 3. Laboratórios experimentais – Vitória de Santo Antão (PE). 4. Aprendizagem baseada em problemas – Vitória de Santo Antão (PE). 5. Análise de interação na educação. 6. Brinquedos educativos – Vitória de Santo Antão (PE). I. Almeida, Fernando Emílio Leite de (Orientador). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.)

UFPE (CAA 2020-191)

MADISON LUIS CANÊJO DA SILVA

LABORATÓRIO ABERTO INVESTIGATIVO DE FÍSICA: proposta de ensino da energia mecânica a partir do brinquedo de *hot wheels*

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: 11/12/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. AUGUSTO CESAR LIMA MOREIRA (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. GUSTAVO CAMELO NETO (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. GEOVANI FERREIRA BARBOSA (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Dedico esta dissertação a esposa
Catharina Peres e ao filho Rodrigo Canêjo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua infinita misericórdia. Soli Deo Gloria.

Ao Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira, por ter dedicado tempo e paciência na árdua tarefa de orientação.

A Universidade Federal de Pernambuco, Campus Acadêmico do Agreste.

A Sociedade Brasileira de Física – SBF.

A comissão nacional de pós-graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF.

Aos professores e professoras Dr. João Freitas, Dr. João Eduardo, Dr. Gustavo Camelo, Dra. Kátia Calligaris, Dra Tassiana Carvalho, Dr. Jehan Nascimento e o Dr. Paulo Peixoto, pelas contribuições que deram ao aprendizado e a dissertação.

Ao Colégio Nossa Senhora da Graça por ter permitido a aplicação da proposta pedagógica, bem como o uso da sua estrutura física.

Aos alunos e alunas das turmas de primeiro ano do ensino médio do ano de 2019 por terem participado da aplicação da proposta pedagógica.

Aos pais, Severino e Carmita e irmãos, Elaine e Ricardson, por todo o incentivo material e imaterial para que o processo de crescimento pessoal e intelectual se execute.

Ao amigo Dr. Paulo Rauli Caribé pelas sugestões propostas na melhoria da dissertação.

Ao amigo e irmão Pr. Leonardo Rodrigues, pelo incentivo espiritual e moral durante esses anos.

RESUMO

O processo de ensino e aprendizagem é tema constante no debate das práticas pedagógicas em sala de aula. Nessa conjuntura, a academia tem marcado seu terreno com pesquisas que têm se materializado em sugestões metodológicas a serem aplicadas em diversas escolas no intuito de propor mudanças na estrutura de aulas estritamente expositivas que provocam desatenção e até mesmo alienação diante do conhecimento científico, por isso, o presente estudo tem o objetivo de propor uma interação entre aulas expositivas e experimentais com o uso de brinquedos para que os aprendizes possam transferir para a prática a aplicação do conhecimento teórico vivenciado nas aulas teóricas. Levando-se em consideração o que preconiza a aprendizagem significativa crítica, o professor e o estudante se relacionarão de maneira diferente, este, de maneira ativa, construindo o seu conhecimento de maneira sólida, aquele, mediando o aprendizado do estudante, sendo um guia no caminho do conhecimento científico. Para que a aprendizagem seja consolidada na mente do aprendiz, tem-se a proposta do ensino problematizador, em que o agente provocador é o brinquedo de *Hot Wheels*. A metodologia adotada é a combinação de aulas expositivas e experimentais investigativas e problematizadoras como forma de mediação entre o aprendiz e a construção de um conhecimento significativo. Como resultados, ver-se-á que essa aquisição e ressignificação do conhecimento não se dá de maneira fácil, uma vez que existe uma tradição de ensino voltado estritamente para a exposição que aliena cientificamente o estudante. Na conclusão, perceber-se-á que a proposta contribui significativamente no aprimoramento das aulas de Física, para isso, é apresentado como produto educacional um manual de laboratório experimental que poderá ser aplicado nas salas de aula e que contribuirá para o engajamento científico de professores e alunos

Palavras-chave: Aulas expositivas. Aprendizagem significativa. Conhecimento científico

ABSTRACT

The teaching and learning process is a constant theme in the debate on pedagogical practices in the classroom. In this context, the academy has marked its ground with research that has materialized in methodological suggestions to be applied in several schools in order to propose changes in the structure of strictly expository classes that cause inattention and even alienation in the face of scientific knowledge. The present study aims to propose an interaction between expository and experimental classes with the use of toys so that learners can transfer to practice the application of theoretical knowledge experienced in theoretical classes. Taking into account what critical learning advocates, the teacher and the student will relate in a different way, the latter in an active way, building their knowledge in a solid way, the former, mediating the student's learning, being a guide in the path of scientific knowledge. For the learning to be consolidated in the learner's mind, there is the proposal of problematizing teaching, in which the provocative agent is the Hot Wheels toy. The methodology adopted is the combination of expository and experimental investigative and problematizing classes as a means of mediation between the learner and the construction of meaningful knowledge. As a result, it will be seen that this acquisition and reframing of knowledge does not happen easily, since there is a teaching tradition focused strictly on the exhibition that scientifically alienates the student. In the conclusion, it will be noticed that the proposal contributes significantly to the improvement of Physics classes, for that, an educational laboratory manual is presented as an educational product that can be applied in classrooms and that will contribute to the scientific engagement of teachers and students.

Keywords: Expository classes. Meaningful learning. Scientific knowledge.

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | MUDANÇA DE PARADIGMA | 12 |
| 3 | APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA | 14 |
| 3.1 | A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA | 16 |
| 4 | ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO | 20 |
| 5 | A LUDICIDADE NO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO | 28 |
| 6 | CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA | 30 |
| 6.1 | EVOLUÇÃO DA IDEIA DE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA | 30 |
| 6.2 | MODELO PARA A CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA | 32 |
| 6.2.1 | Trabalho de uma Força | 34 |
| 6.2.2 | Forças Conservativas | 37 |
| 6.2.3 | Gradiente da Energia Potencial | 39 |
| 6.2.4 | Forças Não-Conservativas | 41 |
| 7 | METODOLOGIA | 43 |
| 7.1 | A ESCOLA, SEU CORPO DE FUNCIONÁRIOS E ESTUDANTES | 44 |
| 7.2 | APLICAÇÃO METODOLÓGICA | 45 |
| 8 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 54 |
| 8.1 | CONTEXTUALIZAÇÃO | 56 |
| 8.2 | ANÁLISE | 57 |
| 8.3 | CONTEXTUALIZAÇÃO | 60 |
| 8.4 | ANÁLISE | 61 |
| 8.5 | CONTEXTUALIZAÇÃO | 63 |
| 8.6 | ANÁLISE | 63 |
| 8.7 | CONTEXTUALIZAÇÃO | 65 |
| 8.8 | ANÁLISE | 66 |
| 8.9 | CONTEXTUALIZAÇÃO | 68 |
| 8.10 | ANÁLISE | 69 |
| 8.11 | CONTEXTUALIZAÇÃO | 72 |
| 8.12 | ANÁLISE | 73 |
| 8.13 | CONTEXTUALIZAÇÃO | 75 |
| 8.14 | ANÁLISE | 75 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 9 | CONCLUSÃO | 77 |
| | REFERÊNCIAS | 82 |
| | APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL | 86 |
| | APÊNDICE B – MATERIAIS UTILIZADOS NO PRODUTO EDUCACIONAL | 131 |
| | APÊNDICE C – LISTA DE EXERCÍCIOS APLICADA | 136 |
| | APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO AVALIATIVO | 139 |

1 INTRODUÇÃO

O processo de ensino e aprendizagem é tema constante no debate das práticas pedagógicas em sala de aula, muitas são as pesquisas acerca do aprimoramento metodológico nas mais variadas áreas do conhecimento. Nessa conjuntura, a academia tem marcado seu terreno com pesquisas que têm se materializado em sugestões metodológicas a serem aplicadas em diversas escolas, considerando-se os cursos de pós-graduação *strictu sensu* voltados para a área pedagógica, seja das ciências humanas, saúde ou exatas, a exemplo do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, que todo ano amplia seu banco de dissertações e produtos educacionais com o fim de aprimorar a aplicação do conhecimento científico, desde os níveis iniciais da educação básica até o superior.

O capítulo 2 começará propondo uma mudança de paradigma no sentido de modificar a metodologia de aulas tradicionais com o uso de aulas expositivas que provocam desatenção e até mesmo alienação diante do conhecimento científico, uma vez que o conteúdo ensinado passa a não fazer sentido para o estudante, para essa mudança, o estudo tem o objetivo de propor uma interação entre aulas expositivas e experimentais com o uso de brinquedos para que os aprendizes possam transferir para a prática o uso das equações vivenciadas nas aulas teóricas.

No capítulo 3 será abordada a base teórica em que repousa a presente pesquisa, qual seja, a de que o estudante aprende a partir de informações primordiais que já tem na sua estrutura cognitiva, de maneira que o aprendizado se dá não baseado nos signos conceituais, mas, na essência do conhecimento, para isso, segundo Pelizari et al (2002), o estudante precisa querer aprender e o conteúdo a ser ensinado tem que possuir significado.

Para que a aprendizagem seja consolidada na mente do aprendiz, no capítulo 4, será esboçada a proposta do ensino problematizador, tendo como agente provocador o brinquedo de *Hot Wheels*, que foi aplicado como experimento e cujo embasamento teórico está delineado no capítulo 5. No capítulo 6 será abordada a conservação da energia mecânica como tema a ser desenvolvido nas aulas teóricas e experimentais, por ser um conhecimento de extrema importância em Física e tratado nos materiais didáticos da educação básica na perspectiva da sua conservação, ou

seja, sem levar em consideração os agentes dissipativos que acontecem no modelo real. No capítulo 7 será abordada a metodologia que mescla aulas expositivas e experimentais, tendo o professor como mediador. No capítulo 8 tem-se a discussão dos resultados provenientes da aplicação do experimento. No capítulo 9 trará a conclusão de que a proposta contribui significativamente no aprimoramento das aulas de Física, para isso, é apresentado como produto educacional um manual de laboratório experimental que poderá ser aplicado nas salas de aula e que contribuirá para o engajamento científico de professores e alunos. Como destacado anteriormente, no próximo capítulo, serão elencados os objetivos da presente pesquisa.

2 MUDANÇA DE PARADIGMA

Há muito tempo existe uma sensação de inquietação nos professores da educação básica, uma frustração diante do pouco sucesso do seu trabalho como educador. Vale salientar que tal inquietação compreende não só a educação básica, mas também a superior, todavia, a análise sobre esse problema se limitará a área de Física na educação básica, devido aos objetivos do presente trabalho.

As experiências vivenciadas se devem ao fato de que os alunos aprendem os conteúdos cada vez menos; é notório o desinteresse pelos estudos científicos. As causas para esse problema recaem sobre a estrutura física ou pedagógica das escolas, na educação adotada pelos pais para com os filhos, que delegam às escolas responsabilidades que são suas, ou mesmo na tecnologia dos *smartphones*, através das redes sociais, que acabam sendo mais atrativas do que as aulas em si. Embora essas características sejam verdadeiras, há pesquisas que demonstram a necessidade de se adotar maneiras para trabalhar melhor o conteúdo vivenciado em sala de aula e provocar uma mudança, ainda que tênue, nas atitudes dos alunos. Segundo Pozo e Crespo (2009), boa parte das dificuldades de aprendizado surgem do próprio trabalho educacional das escolas na tentativa de solucionar seus problemas pedagógicos, essas ações acabam tendo como centro de atenção a aplicação de tarefas costumeiras que produzem pouca significação científica.

A perda de sentido da educação científica limita o interesse por parte dos alunos que, com isso, acabam assumindo atitudes inoportunas. Tais atitudes produzem falta de interesse pelo estudo da ciência, mas, vão além, acabam produzindo também uma conduta inapropriada para com o trabalho científico de maneira geral, ou seja, passam a esperar respostas prontas ao invés de dá-las. Os professores vivenciam isso em sala de aula, quantas vezes os professores de Física passam listas de exercícios e os alunos não respondem esperando que o mesmo corrija e com isso possam copiar as respostas prontas do educador, isso acontece porque a escola e os professores acabam concebendo a aprendizagem como algo cumulativo, esquecem que os seres humanos possuem características diversas e específicas, que acabam condicionando a maneira como se aprende.

Frente a outras espécies, que dispõem, em um alto grau, de condutas geneticamente programadas para se adaptar a ambientes muito estáveis, os seres humanos precisam se adaptar a condições muito mais variáveis e imprevisíveis, em grande medida devido à própria intervenção da cultura, e, portanto, precisam dispor de mecanismos de adaptação mais flexíveis, que não podem estar pré-programados. Em resumo, nós precisamos de processos de aprendizagem muito potentes.” (POZO; CRESPO, 2009)

Os alunos não são máquinas que absorvem a informação e depois as passam para uma prova, oral ou escrita, de maneira literal. Segundo Pozo e Crespo (2009), eles têm uma capacidade de interpretação das informações que ainda falta às máquinas, sua capacidade de recuperação dessas informações é muito dinâmica e realizada de maneira construtiva, por isso mesmo, há a necessidade de se trabalhar a transmissão do conhecimento nessa perspectiva não literal, o aprendiz precisa entender que o conhecimento científico acontece como um processo, não é algo acabado transformado nas suas teorias ou modelos matemáticos, ou seja, deve aprender ciência de maneira mais profunda, buscando seu significado e a sua essência, não de maneira repetitiva, mecânica.

Como motivar os estudantes a se empenhar na busca do conhecimento científico? Por muitos anos essa motivação foi de natureza externa, realizada através de prêmios e punições, isso produziu um aprendizado superficial, sustentado apenas na busca da premiação e na tentativa de se evitar os castigos, ou seja, não provocou um aprendizado com significado. Por isso mesmo, a melhor maneira de se trabalhar os conteúdos científicos deverá ter origem interna, para isso, há a necessidade de deixar que o aluno seja mais autônomo, que possa ter a maturidade e a capacidade para decidir a melhor maneira de abordar e resolver um problema real, que tenha a ver com o conteúdo que está sendo estudado, faz-se necessário o entendimento, por parte do aluno, de que ele deve ser responsável por definir suas metas de resolução dos problemas para que possa aplicá-las e, com isso, resolvê-los. Tal motivação interna pode ser conseguida ao se mudar as prioridades dos estudantes, aplicar os conhecimentos partindo dos interesses e preferências dos mesmos, é o que demonstra a aprendizagem significativa, uma teoria construtivista que leva em consideração os conhecimentos prévios de quem deseja aprender.

3 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Como foi visto, deve haver uma mudança de padrões na relação professor/estudante para que a educação científica possa ser vivenciada de maneira mais significativa, fazendo sentido ao aluno, tirando do professor toda a carga de responsabilidade pela comunicação do conhecimento, para que o estudo venha fazer sentido e saia da tradicional repetição de informações e intermináveis resoluções de listas de exercícios apresentados como problemas.

Para isso, faz-se mister um ensino voltado para dentro do aprendiz, cuja principal característica seja a relação que esse estabelece entre o novo conhecimento e o que advém das experiências cognitivas de quem aprende. É nessa perspectiva que se apresenta a aprendizagem significativa que é um método cognitivista proposto por David Ausubel¹, cuja essência, segundo Distler (2015), está na interação entre os procedimentos expositivos as metodologias mais dinâmicas de ensino.

A aprendizagem significativa leva em consideração o conhecimento que o indivíduo já tem organizado na mente, por isso mesmo, esse conhecimento prévio é o mais importante fator da aprendizagem. Por isso mesmo, a pessoa que aprende significativamente o faz de maneira ativa, ou seja, deixa de ser um absorvedor de informações e instruções sem qualquer sentido.

Segundo Moreira (2000), na aprendizagem com significado, ideias mais abrangentes e gerais são tratadas antes de conceitos mais específicos, essa é a chamada diferenciação progressiva. Isso se dá devido ao fato de que é mais fácil entender um conteúdo mais macro, partindo depois para conceitos micro. Essa abordagem faz com que os conceitos já existentes na estrutura cognitiva se reorganizem e adquiram novos significados diante das novas informações.

O processo de aprendizagem significativa se dá de maneira não-arbitrária, ou seja, a relação entre o novo conhecimento e o já existente na mente do estudante só acontecerá se esse novo saber conseguir se concatenar com conhecimento particularmente significativos que Ausubel denomina de subsunçores.

¹ David Paul Ausubel foi um psicólogo da educação americano, discípulo de Jean Piaget, que desenvolveu a teoria da Aprendizagem Significativa.

Outra característica essencial da aprendizagem significativa é a substantividade. Para Ausubel, o que é adicionado na estrutura de conhecimento de quem aprende é o próprio substrato do conhecimento, não os mecanismos utilizados para comunicar os conceitos. Por isso, na aprendizagem com significado, a cognição não irá depender de particularidades de signos, mas sim nos princípios que estão sendo informados.

Em contraposição a aprendizagem significativa, segundo Moreira (2000), está a aprendizagem mecânica, que é o método de aprendizado em que as informações são memorizadas arbitrariamente e através de signos particulares, produzindo um “aprendizado” não significativo em que o aprendiz é apenas um receptor passivo de informações.

Moreira (2000), destaca ainda quatro princípios facilitadores da aprendizagem significativa. O primeiro deles é o princípio da diferenciação progressiva em que os conceitos mais gerais são apresentados inicialmente e só a partir daí é que vai especificando, detalhando as informações.

À medida que o conteúdo vai partindo do geral para o específico deve haver uma interação entre diferenças e semelhanças entre o que está sendo abordado, ou seja, o professor deve chamar a atenção para possíveis fragilidades que um conteúdo possa apresentar produzindo uma harmonização entre o que é real ou fictício, esse é o princípio da reconciliação integradora.

Outro princípio importante é a organização sequencial em que o docente deve organizar o conteúdo a ser estudado de maneira lógica e com coerência, dividindo-o em proporções equilibradas para facilitar o estudo.

Por último, tem-se a consolidação que é o princípio em que para que um novo conhecimento venha a ser proposto, dever-se-á ter a certeza de que o conceito antigo está fixado de maneira significativa na mente do aprendiz.

Nessa perspectiva, o professor poderá utilizar o que Moreira (2000) define como organizadores prévios, que nada mais são do que materiais de aprendizagem, utilizados de maneira introdutória, para ligar o que o estudante já tem internalizado com o novo conhecimento, por isso, esse organizador prévio deve ter o conteúdo relacionado da maneira mais abstrata e geral possível.

Agora que já se tem a noção do que vem a ser a aprendizagem significativa, ter-se-á uma abordagem sob uma perspectiva que servirá de fundamentação teórica para a presente pesquisa, qual seja, a aprendizagem significativa crítica, como denominada por Moreira (2000).

3.1 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA

Na aprendizagem significativa crítica o estudante consegue estar constantemente atento ao processo dinâmico da aprendizagem sem que o mesmo recaia num processo mecânico, mesmo estando envolvido pelos princípios norteadores da aprendizagem significativa que foram elencados nos parágrafos anteriores, como o próprio Moreira (2000) descreve “**é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela²**”.

Nesse tipo de perspectiva da aprendizagem o estudante poderá vivenciar a mudança de pensamento construtivo sem permitir que o mesmo o controle, em outras palavras, quem aprende poderá manipular o conhecimento sem que se sinta fragilizado diante da velocidade e do fluxo de informações que são repassadas.

Para facilitar a aplicação e o envolvimento do sujeito com a aprendizagem significativa crítica Moreira (2000) destaca, a guisa do que foi destacado como princípios de facilitação da aprendizagem significativa, uma série de técnicas facilitadoras da aprendizagem significativa crítica. São onze princípios norteadores, quais sejam:

- a) **Princípio do conhecimento preexistente:** esse princípio é a base para qualquer aprendizagem significativa, ou seja, o aprendiz só poderá ter uma ação crítica diante de qualquer conhecimento se aprender a partir do que já sabe.
- b) **Princípio da inquirição:** a relação entre professor/aluno e entre aluno/aluno se dá a partir de perguntas, não de respostas prontas. Essa abordagem é

² Grifo do autor

contrária ao ensino mecânico que se dá através de respostas do professor para o aprendiz, quando ministra suas aulas, e do estudante para o professor ao responder as avaliações. Há uma constante negociação de conceitos entre os envolvidos nesse processo, deixando-o muito mais dinâmico e transformando o aluno em agente construtor do seu conhecimento.

- c) **Princípio da não exclusividade do material didático:** este princípio ajuda a tirar do material didático adotado pelas escolas a autoridade única e central do conhecimento. Há um uso exagerado e indiscriminado dos materiais didáticos que ajuda a criar na mente do estudante a noção de que o conhecimento só está guardado nesses materiais a espera de que venham a sua procura. Vale ressaltar que a ideia não é condenar os materiais didáticos, antes, utiliza-los como devem ser, isto é, como um auxílio da aprendizagem, não como única fonte dela.
- d) **Princípio do aprendiz como assimilador/executor:** é o princípio em que a assimilação de um conteúdo é realizada a partir da percepção de quem aprende, a partir daí, ele o representa. Nessa perspectiva, a maneira como o aprendiz irá receber o conteúdo não tem importância, o que irá importar é como ele irá perceber, interpretar e executar esse conhecimento.
- e) **Princípio do conhecimento linguístico:** a linguagem, segundo Moreira (2000) “tanto em termos de seu léxico como de sua estrutura, representa uma maneira singular de perceber a realidade”. Para que se possa ter acesso a um conhecimento em qualquer área do saber, faz-se necessário entender a sua linguagem. Tendo essa noção em mente, conhecer a disciplina de Física parte do mesmo princípio, ou seja, para que haja uma aprendizagem significativa será mister conhecer os símbolos que representam seus conceitos, para que o aprendiz venha a ter sua cosmovisão modificada pelo contato com essa linguagem.
- f) **Princípio da importância dos significados:** esse princípio permite que o sujeito do aprendizado tenha em mente que os significados existentes no conhecimento foram atribuídos por pessoas a partir das suas experiências. Aqui há a corroboração da necessidade do conhecimento anterior que cada um tem. Para que a aprendizagem significativa crítica aconteça, tanto o aluno quanto o professor devem possuir a capacidade de compartilhar os vários significados existentes no conteúdo vivenciado.

- g) **Princípio da aprendizagem a partir do erro:** todos sabem que é natural do ser humano errar, na relação de ensino/aprendizagem não é diferente, mesmo que haja uma conscientização por parte do professor de que o aprendiz aprende com o erro, é sabido que esse evento é tratado pelo estudante como algo que inviabiliza seu conhecimento.

Ajuda muito nesse fato a ação de punir o erro por parte das escolas, isso faz com que o aluno tenha a errada noção de que existe um conhecimento acabado, uma verdade absoluta. O princípio em tela permite que o sujeito do aprendizado use o erro como escada para um aprendizado significativo crítico, isso porque ele passa a ter uma noção de que errar é algo corriqueiro e passível de superação.

- h) **Princípio do esquecimento:** muitas vezes o estudante não consegue relacionar bem o novo conhecimento com o já existente em sua estrutura cognitiva, dificultando que o aprendiz venha a captar bem os significados contidos nesse novo conceito. Outra dificuldade relacionada ao conhecimento preexistente é o fato de que se vive em um ambiente social em constante transformação, isso afeta o aprendizado significativo.

Na aprendizagem significativa crítica, o estudante precisará ter a maturidade para distinguir o que é ou não relevante nos seus conhecimentos prévios para que possa abjurar do que é irrelevante e focar no que é importante no conhecimento prévio e com isso, produzir uma aprendizagem com significado.

- i) **Princípio do conhecimento incerto:** segundo Moreira (2000) o conhecimento é possível a partir das perguntas que são realizadas, das definições construídas e das metáforas utilizadas para construir o pensar.

Para que haja uma aprendizagem significativa crítica, o sujeito do conhecimento precisa ter a noção de que as perguntas determinam a substância das respostas e que essas respostas dependem da limitação da linguagem do observador.

As definições, por sua vez, não são autoridades generalizadas do conhecimento, elas dependem do entendimento de que foram criadas para um fim e que definições alternativas poderão servir ao mesmo propósito do aprendizado.

Por fim, as metáforas são construções que auxiliam no pensamento. Na Física é comum seu uso para construir os modelos que representam os conceitos. É justamente por ser um instrumento perceptivo que a metáfora também produz um conhecimento incerto.

Como pode ser observado, o conhecimento é produzido a partir da relação entre as perguntas formuladas, as definições construídas e as metáforas utilizadas nessas construções, por isso mesmo, é um conhecimento incerto.

- j) **Princípio do não uso do método tradicional de ensino:** aqui se tem a ideia de que qualquer método que recaia num processo repetitivo e mecânico deve ser evitado. Um conhecimento significativo crítico só é construído baseado em técnicas diversas que permitam uma participação ativa do estudante, isto é, que produzam uma aprendizagem centrada no aluno.
- k) **Princípio do abandono da exclusividade da explicação:** este último princípio é um complemento do anterior e o que está explícito é a necessidade de diversificar as aulas com metodologias que tenham o objetivo de produzir uma aprendizagem com significado no aprendiz. Quando se fala em ensino centrado no aluno faz-se necessário que esse ensino seja realizado de tal forma que o estudante seja o protagonista da aprendizagem, para isso, é mister que as aulas deixem a exclusividade da exposição e passem a ter mais elementos que proporcionem uma maior interação por parte de quem aprende.

É sabido que o principal componente para que haja uma aprendizagem com significado é o conhecimento prévio do sujeito que aprende e o fato de que este sujeito precisará querer aprender, para isso, o conteúdo deverá fazer sentido para ele, nessa perspectiva, a aplicação da aprendizagem significativa crítica será uma importante ferramenta no aprendizado significativo.

4 ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO

Trabalhar os conteúdos de Ciências, mais especificamente os de Física, tem sido uma árdua tarefa para os professores da educação básica, como dizem Pozo e Crespo (2009), essa tarefa tem provocado uma sensação de inquietação ou mesmo de frustração pelo baixo sucesso por parte dos mestres em ensinar o conteúdo aos alunos. Há um desinteresse generalizado e isso tem provocado uma crise na educação em ciências. Para tentar mitigar esse problema, tem-se visto cada vez mais trabalhos acadêmicos que envolvem a abordagem do conteúdo científico na perspectiva do ensino por investigação. Nas palavras de Solino e Sasseron (2018), na tentativa de alfabetizar os estudantes cientificamente, a aplicação do ensino por investigação tem como expectativa a superação do modelo tradicional de ensino baseado em sua maior parte do tempo de aula, na exposição de conteúdo, muitas vezes realizados de maneira incongruente das práticas científicas.

A ciência ensinada na escola é completamente distante da ciência praticada em laboratórios de pesquisa, mas, como aproximar essas práticas? Para Carvalho³:

É necessário introduzir os alunos no universo das Ciências, isto é, ensinar os alunos a construir conhecimento fazendo com que eles, ao perceberem os fenômenos da natureza sejam capazes de construir suas próprias hipóteses, elaborar suas próprias ideias, organizando-as e buscando explicações para os fenômenos (2011, p. 253)

Munford e Lima (2007), destacam que certos autores defendem não existir algo de novo no ensino por investigação, isso se dá devido ao fato de que, ao se realizar as observações, trazer à tona questões pertinentes a essas observações e investigá-las, são a mais fundamental abordagem realizada para entender o mundo. Todavia, como destaca Carvalho⁴, ao se ensinar Ciências através da investigação, os aprendizes têm oportunidades de encararem os problemas que os cercam produzindo “estratégias e planos de ação” (2011, p. 253).

O ensino de Física é visto, muitas vezes, como cansativo e desinteressante, mesmo diante de vasta contribuição de pesquisas no campo do ensino de Física. Os

³ Citação do capítulo 18 do livro *O Uno e o Diverso na Educação*, de Marcos Longhini, Editora da Universidade Federal de Uberlândia.

⁴ *Ibidem*.

Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) enfatizam que o aprendizado da Física deverá promover a articulação de visões de mundo, ampliando a compreensão tanto para fatos cotidianos quanto os cósmicos (BRASIL, 2000), o que ainda se vê é uma área do conhecimento científico vivenciada nas escolas de tal forma que tem como principal enfoque o ensino de modelos matemáticos para que os estudantes passem nos exames de seleção, a exemplo do Enem, isso cria no aprendiz uma concepção desvirtuada da ciência, como desenvolve os PCNs.

O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas. (BRASIL, 2000)

Em outras palavras, faz-se necessário, como destaca Carvalho, “Um ensino que tenha por objetivo levar os alunos a se alfabetizarem cientificamente” (2010, p. 57), ou seja, como a autora continua a discorrer, deve-se preparar o estudante para a sociedade, com uma mentalidade crítica para que o mesmo possa ter um caráter diligente. (CARVALHO, 2010).

Trabalhar o ensino de Física por investigação é confrontar os alunos com a resolução de problemas, não na perspectiva em que os mesmos são trabalhados em sala de aula, através das apostilas ou livros didáticos, onde são apresentadas questões que buscam avaliar o conhecimento matemático aplicado a Física onde os estudantes os encaram como simples exercícios rotineiros, realizados de maneira repetitiva e sem qualquer significado. Para Borges,

Um problema, diferentemente de um exercício experimental ou de um de fim de capítulo do livro-texto, é uma situação para a qual não há uma solução imediata obtida pela aplicação de uma fórmula ou algoritmo. Pode não existir uma solução conhecida por estudantes e professores ou até ocorrer que nenhuma solução exata seja possível. Para resolvê-lo, tem-se que fazer idealizações e aproximações. Diferentemente, um exercício é uma situação perturbadora ou incompleta, mas que pode ser resolvida com base no conhecimento de quem é chamado a resolvê-lo. (2002, p. 303)

Resolver problemas em Física vai além de solucionar testes matemáticos que, por pura repetição, provocam no aprendiz um conhecimento desconectado da realidade científica, para Carvalho, propor um problema que o aluno possa resolver se tornará o divisor de águas entre a exposição do conteúdo pelo professor e o ensino em que o aluno raciocina e constrói o seu conhecimento (2017, p.135).

Vale ressaltar a não intencionalidade de condenar o tipo de abordagem metodológica baseada na exposição; como visto anteriormente, na perspectiva ausubeliana, essa maneira mecanicista de se trabalhar os conteúdos acarreta a formação de subsunçores, a crítica que se faz é ao uso indiscriminado desse tipo de conduta.

O professor deve deixar de lado a atitude de único dono do saber científico e passar a ser um condutor do processo de ensino-aprendizagem, ou seja, deverá fomentar um comportamento reflexivo e crítico por parte dos alunos, Carvalho (2017) afirma que ao colocar um problema diante do aprendiz, a ação de raciocínio passa a ser do estudante, com isso, a exposição do conteúdo deixa de ser o foco do educador e agora o ensino e a aprendizagem se dão através da orientação e da reflexão acerca do problema proposto, tudo isso para que o novo conhecimento venha a ser construído.

Para isso, faz-se necessária uma abordagem investigativa, onde o aprendiz deve se sentir impelido a resolver o problema, este deve ter um significado para o estudante, nas palavras de Solino e Sasseron, os problemas devem produzir uma situação de dificuldade em que não há uma solução imediata, com isso, quem investiga deve se mobilizar intelectualmente na busca de resolvê-lo (2018, p. 106). Nesse momento de envolvimento com a problemática levantada, o conhecimento passará a fazer sentido para quem o busca, tornando-se significativo. Nas palavras de Azevedo⁵

Para que uma atividade possa ser considerada uma atividade de investigação, a ação do aluno não deve se limitar apenas ao trabalho de manipulação ou observação, ela deve também conter características de um trabalho científico: o aluno deve refletir, discutir, explicar, relatar, o que dará ao seu trabalho as características de uma investigação científica. (2004, p. 21)

⁵ Citação tirada do capítulo 2 do livro Ensino de Ciências. Unindo a pesquisa e a prática. Editora Cengage. Autora Organizadora Anna M. P. de Carvalho e referenciada ao final da dissertação.

Para que se tenha uma abordagem investigativa significativa, é necessário o uso de atividades que estejam sendo estudadas pelos alunos, tanto para que os mesmos possam interagir através dos seus conhecimentos prévios no intuito de modifica-los, quanto para que os problemas venham a fazer sentido para os mesmos, com isso, como relata Azevedo⁶, verifica-se que a aprendizagem atitudinal e procedimental é tão importante quanto a aprendizagem conceitual (2004, p.21).

Envolver o aluno com o conhecimento científico através de atividades investigativas é fazer com que o mesmo se sinta motivado a sair de sua atitude passiva para uma atividade que o fará construir seu conhecimento de maneira mais sólida e perene. Ao se adotar o ensino por investigação, segundo Carvalho, faz-se necessário esclarecer que há diferenças entre o estudante de Física da educação básica e o cientista em relação aos objetivos de cada um com o conhecimento (2015, p. 250), por isso, não há uma expectativa de que o estudante se transforme num cientista, uma vez que o mesmo não tem idade e maturidade para agir como um, nem tampouco conhecimentos específicos,

Não se pode pensar que a simples realização dessas atividades leva os alunos a construírem todos os conceitos científicos envolvendo a teoria relacionada ao experimento, nem que seja suficiente para a descoberta de uma lei física, nem tampouco que o aluno passe por todas as etapas do processo de solução de maneira autônoma, mas que possa, na interação com os colegas e com o professor, expor e repensar suas concepções prévias. (CARVALHO, 2014, p.47)

Destaque-se também o papel do professor no uso das atividades investigativas, que será o de criar as condições necessárias para que a metodologia investigativa aconteça a contento, ou seja, preparar o ambiente para que a aplicação do experimento ocorra e mediar os aprendizes nos debates que surgirão a partir da proposta investigativa que será abordada, para isso, faz-se necessário um planejamento prévio para que a atividade transcorra bem. Carvalho destaca

Que os professores saibam construir atividades inovadoras que levem os alunos a evoluírem, em seus conceitos, habilidades e atitudes, mas é preciso também que eles saibam dirigir os trabalhos dos alunos para que estes realmente alcancem os objetivos propostos. O saber fazer nesses casos é, bem mais difícil do que o fazer (planejar a atividade) e merece todo um trabalho de assistência e de análise crítica dessas aulas (2004, apud Carvalho, 1996, p. 9)

⁶ *Ibidem.*

Como se vê, o professor tem um papel de extrema importância diante do desafio de implementação de atividades investigativas porque será o responsável por conduzir os estudantes diante da aquisição de novos conhecimentos frente ao trabalho experimental.

Azevedo⁷ explica que as atividades investigativas podem ser divididas segundo o quadro 1 a seguir:

Quadro 1. Divisão de atividades investigativas e suas características

| Atividade | Características |
|------------------------------|--|
| Demonstrações investigativas | São demonstrações de experimentos, cujo objetivo é ilustrar alguma teoria |
| Laboratório aberto | São utilizados para procurar resolver questões através de experimentação |
| Questões abertas | São questões levantadas pelo professor que tenham relação com o cotidiano do aluno e o conteúdo vivenciado, visa-se com isso que o estudante desenvolva seu poder de argumentação e redação. |
| Problemas abertos | São situações apresentadas aos estudantes onde se discutem as soluções para as mesmas. Aqui, diferentemente da resolução de exercícios, há a necessidade de se investigar a situação problema, o que faz a atividade ser demorada. A situação deve provocar interesse por parte do aprendiz pois o mesmo deverá buscar “elaborar hipóteses, identificar situações de contorno e limites de suas hipóteses.” (AZEVEDO, 2018, p.25-32) |

Fonte: Carvalho (2004)

Nota: Criada pelo autor, Apud Maria Cristina P. Stella de Azevedo, a partir do texto no livro Ensino de Ciências, unindo a pesquisa e a prática. Editora Cengage

⁷ *Ibidem*. Pág. 23

Embora seja uma ferramenta poderosa no envolvimento dos estudantes com os conteúdos científicos, Lima e Munford (2007), defendem que alguns temas são mais apropriados para a abordagem investigativa do que outros. A prática dessa metodologia procura diversificar o ensino-aprendizagem de maneira inovadora.

Seja para temas específicos ou mesmo uma abordagem com vários temas, as atividades por investigação, segundo Moraes e Carvalho

Devem propor: problema, preferencialmente em forma de pergunta que estimule a curiosidade científica do estudante; levantamento de hipóteses, que devem ser emitidas pelos alunos por meio de discussões; coleta e análise de dados, em que podem ser utilizados gráficos e textos, para que os alunos possam realizar a explicação desses dados; conclusão, quando os alunos formulam respostas ao problema inicial, a partir dos dados obtidos e analisados (2018, apud AZEVEDO, 2006, CARVALHO; SASSERON, 2012, p. 411)

Outra característica importante que deve ser levada em conta pelo professor na aplicação do ensino investigativo é o que Carvalho chama de grau de liberdade intelectual dos alunos (2004, p. 54-55), ou seja, em quais tipos de atividade a execução compete ao professor e em quais essa execução competirá ao aluno. Essa diferenciação é importante porque para cada série da educação básica existe uma maturidade por parte do estudante e isso deve ser levado em consideração no momento do planejamento do ensino investigativo, em muitos casos, alunos mais avançados não terão condições de se envolver em uma atividade investigativa porque nunca foram instigados a resolver um problema. É o que pode ser verificado no quadro 2 em seguida, elaborado por Carvalho e baseada na pesquisa de vários estudiosos.

Quadro 2. Graus de liberdade de professor (P) e alunos (A) em atividades experimentais

| | Grau I | Grau II | Grau III | Grau IV | Grau V |
|-------------------|--------|---------|----------|---------|--------|
| Problema | P | P | P | P | A |
| Hipóteses | P | P | P | A | A |
| Plano de Trabalho | P | P | A | A | A |
| Obtenção de dados | A | A | A | A | A |
| Conclusões | P | A | A | A | A |

Fonte: Carvalho (2011)

Nota: Criada pelo autor a partir do texto no livro Ensino de Física, Coleção Ideias em Ação. Editora Cengage Learning. (2004, p.55)

Como evidenciado no quadro 2, para cada grau de liberdade intelectual que o professor oferece, o aluno tem a oportunidade de adquirir experiência científica na tentativa de resolver o problema delimitado pela liberdade que lhe é dada. A sistematização de graus de liberdade é necessária porque nem todos os estudantes terão maturidade para encarar os desafios da resolução de problemas investigativos de maneira homogênea.

Carvalho explica que no grau 1 o professor realiza quase toda a montagem e resolução da atividade, restando aos alunos a obtenção dos dados. Esse grau de liberdade é muito eficaz quando os alunos estão tendo os primeiros contatos com o ensino investigativo, onde ainda não têm ideia de como esse tipo de atividade se desenvolve. No grau 2, observa-se um domínio ainda grande da atividade por parte do professor, mas, ao aluno já cabe uma liberdade maior, uma vez que os mesmos já podem discutir com o professor as hipóteses e os planos de trabalho e juntamente com o professor e os colegas debater as conclusões, esse tipo de abertura serve para a aplicação com alunos que já adquiriram um certo domínio das técnicas de atividades investigativas. No grau 3, temos o ensino por investigação propriamente dito, onde o professor propões apenas o problema e as hipóteses, todo o resto das atividades têm participação ativa do aluno. No grau 4, o aluno já terá domínio das atividades por investigação e com isso, a partir do problema proposto pelo professor irá desenvolver todo o processo de hipótese, plano de trabalho, obtenção de dados para que enfim possa debater as conclusões. No grau 5, tem-se uma realidade mais voltada para o ensino superior ou mesmo a pesquisa a nível de pós-graduação, onde os estudantes são responsáveis desde a proposição do problema até o debate da sua conclusão. (2004, p. 54-56)

Vê-se no trabalho de ensino por investigação um total envolvimento do alunado no tema proposto, os estudantes deixam de ser agentes passivos esperando absorver o conhecimento vindo do professor e passam, eles mesmos, a construir significativamente seu conhecimento; sendo confrontado pelo problema, é impelido a tentar resolvê-lo, levantando hipóteses, testando e debatendo, com isso, há a construção de um caráter mais ativo e crítico no aprendiz.

Essa mudança metodológica terá como pano de fundo para a sua execução a aplicação do laboratório investigativo a partir de objetos que tornem as aulas mais atrativas, que incitem os estudantes à curiosidade, para isso, como demonstram

Santos, Silva e Rocha (2015), a utilização de ferramentas lúdicas seria o agente facilitador do processo de ensino-aprendizagem, justamente porque aproxima os estudantes do conhecimento científico de maneira satisfatória, permitindo que os mesmos venham a discutir conceitos abstratos através da utilização dos brinquedos.

5 A LUDICIDADE NO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

O uso do lúdico na educação pode ser uma excelente ferramenta para uma maior interação do aprendiz com o conteúdo que se deseja ensinar. Segundo Massa, a palavra ludicidade não existe no dicionário da língua portuguesa, todavia é muito utilizada dentro do contexto educacional, semanticamente, “vem do latim *LUDUS*, que significa jogo, exercício ou imitação” (2015, p.113). É justamente no contexto do brincar, geralmente associado as crianças, que se encaixa o seu papel pedagógico, tem um “objetivo de desenvolver o aprendizado de forma mais atrativa para o aluno” (SANT’ANNA; NASCIMENTO, 2011, p.22), para Cristino, o aspecto do lúdico

é uma necessidade do ser humano em qualquer idade e não pode ser vista apenas como diversão. O desenvolvimento do aspecto lúdico facilita a aprendizagem, o desenvolvimento pessoal, social e cultural, colabora para uma boa saúde mental, facilita os processos de socialização, comunicação, expressão e construção do conhecimento. (2016, p.24 *apud* SANTOS, 2007, p.60).

Empregar jogos físicos, brincadeiras, games ou quaisquer tipos de outros brinquedos no processo de ensino e aprendizagem irá ajudar ao aprendiz na difusão da sua capacidade cognitiva “Por meio das atividades lúdicas, o indivíduo forma conceitos, seleciona ideias, estabelece relações lógicas, integra percepções e se socializa” (CRISTINO, 2016).

Utilizar brinquedos como suporte metodológico nas disciplinas, em especial no estudo dos conceitos de física tende a levar os estudantes a um maior envolvimento com os conhecimentos que podem ser abordados a partir do manuseio desses brinquedos, nas palavras de Cristino, ao se inserir brinquedos “e experimentos científicos como uma alternativa metodológica, deve levar os estudantes a descobrir a Ciência que está por trás dos brinquedos e experimentos” (2016, p.27).

Pelos fatos elencados no parágrafo anterior, faz-se mister o esclarecimento de que um dos objetivos da presente pesquisa é a de utilizar uma atividade lúdica, para facilitar a transposição, por parte dos estudantes, dos modelos teóricos vivenciados nas aulas expositivas, para o modelo real que se apresenta com o experimento, para que os mesmos possam verificar que a informação trazida pelos materiais didáticos carece de uma crítica mais realista.

Muitas são as alternativas nesse espectro, usar um *spinner*, para aprender movimento circular ou mesmo os carrinhos e pistas de *Hot Wheels* para estudar o movimento ou mesmo, como a presente pesquisa aplicou, o estudo das energias, são excelentes instrumentos de apoio pedagógico, é o que se verá abordado partir da próxima seção.

6 CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA

A presente seção trata do desenvolvimento teórico que envolve a energia mecânica, de maneira que, para quem já é familiarizado com o modelo matemático que envolve a conservação, pode passar para a seção que trata da metodologia aplicada, na página 43.

O debate acerca do conceito de energia é antigo e ainda persiste nos nossos dias, não há um conceito formal que venha a abranger a sua definição mais exata, seja nos manuais utilizados na educação básica ou no ensino superior, observa-se a tentativa de descrever seu conceito, mas, sempre com o aviso de que o trabalho é incompleto. Halliday, Resnick e Walker afirmam que o termo energia é muito abrangente e fica difícil escrever uma definição cristalina, em seguida, complementa “energia é uma grandeza escalar associada ao estado (ou condição) de um ou mais objetos. Contudo, essa definição é muito vaga para nos ajudar no momento.” (2006, p. 153).

O professor Feynman, em seu livro Lições de Física de Feynman, ao responder o que é energia, a associa a uma certa quantidade, após descrever uma analogia com blocos para explicar a sua conservação, ele conclui que na física da atualidade não se tem uma concepção exata do que é energia, sabe-se que ela se apresenta de diferentes formas e que há diferentes equações que nos ajudam a calcular suas quantidades numéricas “É algo abstrato no sentido de que não nos informa o mecanismo ou a razão para as várias fórmulas.” (2008, p. 54).

Tipler (2014, p.171), assim como Nussenzveig (2013, p. 141) a definem como a capacidade de realizar trabalho sem se deter a qualquer problematização acerca da definição. O interesse aqui, entretanto, não é o de tentar definir energia, mas, produzir uma pequena reflexão acerca da sua conservação partindo da evolução da ideia de conservação da energia.

6.1 EVOLUÇÃO DA IDEIA DE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

A ideia da conservação de alguma coisa primordial é antiga, Ponczek relata que desde os mitos cosmogônicos judaicos ou babilônicos, que descreviam o início

do universo, vê-se a transformação do caos pela ação divina de um Deus ou mais deuses, ao se sobrepor aos mitos, a filosofia reflete acerca da construção do universo a partir de um elemento primordial, o arché, defendido por filósofos como Thales, Anaximenes, Anaximandro e Empédocles, traz a concepção dos quatro elementos primordiais. Já os atomistas, a ideia de que não exista algo que venha surgir do nada. Nessas breves descrições, se vê desde os primórdios “que todas essas antigas concepções já continham em si o embrião da ideia de conservação de algo primordial que é indestrutível” (2015, p. 92).

Avançando um pouco mais no desenvolvimento histórico acerca da conservação da energia, chega-se a uma controvérsia interessante entre os defensores das ideias de Descartes e de Leibniz, que com suas formulações acerca das forças, abrem caminho para uma melhor definição da conservação da energia. Na sua segunda formulação das leis fundamentais da natureza, Descartes discorre que um corpo, ao se mover em direção a um objeto mais forte do que ele, tal objeto não perderia seu movimento, todavia, se encontrasse outro mais fraco iria transferir parte do seu movimento para esse corpo, estabelecendo a lei da conservação do movimento descrito pelo produto da massa pela velocidade. Leibniz defende “que a massa vezes a velocidade não deve ser a verdadeira medida de uma ‘força’ e, sim, a massa pelo quadrado da velocidade” (PONCZEK, 2015). Ponczek segue comentando que Huygens, ao observar o movimento de objetos que colidiam, comenta que após a colisão entre os corpos rígidos há uma conservação da “soma das vis viva” de tais corpos (2015, p. 97), produzindo intenso debate sobre a conservação do movimento. A vis viva que Huygens define como o produto da massa pelo quadrado da velocidade e que era conservada nas colisões dos corpos rígidos foi denominada por Lord Kelvin, no século XIX, de energia cinética

As descobertas de Leibniz e Huygens foram assim embrionárias para a construção de um dos mais importantes princípios da física: o da conservação de energia que só foi formulado em meados do século XIX, num enunciado em que a energia do universo não pode ser criada nem destruída. O conceito de energia generalizou-se, então, a partir da vis viva, para abarcar todas as outras formas de energia, como, por exemplo, a vis viva latente ou vis mortua como é hoje conhecida a energia potencial. (PONCZEK, 2015)

O debate entre as afirmações de Descartes, Leibniz e Huygens, com o avançar do pensamento histórico foram evoluindo e a partir do século XX, com o advento da

Teoria da Relatividade, espaço e tempo são unificados com um tratamento matemático sem diferenças a partir da Teoria da Relatividade, a quantidade de movimento e a energia passam a fazer parte de uma mesma essência. Ponczek conclui:

O princípio da conservação da quantidade de movimento, estabelecido por Descartes, e o princípio da conservação das forças vivas, cujo conceito foi estabelecido por Leibniz e Huygens, e que hoje são tidos como interdependentes e igualmente verdadeiros, marcam dois fatos de fundamental importância na história da ciência e na história dos princípios fundamentais da Mecânica. (2015, p. 100)

Ao se fazer uma reflexão acerca dessa evolução do conceito de conservação da energia mecânica a pesquisa passa agora para o desenvolvimento do modelo matemático que descreve seu conceito.

6.2 MODELO PARA A CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA

Segue-se agora o desenvolvimento do modelo para a conservação da energia mecânica que foi trabalhado, a nível de educação básica, na aplicação do produto pedagógico. Vale salientar que o referido modelo foi adaptado durante a aplicação, devido ao limitado conjunto de informações matemáticas necessárias para aplicá-lo da maneira mais genérica possível, uma vez que na educação básica não se abrange muitos dos princípios matemáticos referentes ao cálculo diferencial e integral que é utilizado na educação superior.

Segundo Kittel et al. no campo da física, existem inúmeras leis de conservação “algumas exatas, outras aproximadas” (1970, p. 127), para ele, a lei de conservação se dá, geralmente, devido a simetrias do universo. Ao elencar os motivos pelos quais as leis de conservação serem ferramentas importantes, chama a atenção o primeiro motivo, “As leis de conservação são independentes dos detalhes da trajetória e, freqüentemente, dos detalhes da força. Estas leis, são, portanto, uma maneira de enunciar conseqüências muito gerais e significativas das equações do movimento” (Kittel et al. 1970).

Vale ressaltar, antes de iniciar a modelagem do sistema conservativo, o que comenta Symon acerca da força de atrito, em que ao tecer uma análise sobre as leis

de conservação do momento linear, do momento angular e da energia, ele infere que para os objetos macroscópicos e microscópicos analisados na Terra, o atrito se torna um componente importante pelo fato de que, se não puder ser desprezado, a conservação de energia não poderá ser verificada. O autor continua sua reflexão mostrando que a partir dos trabalhos de Joule ao associar energia ao calor, a lei de conservação da energia pode ser analisada mesmo quando o atrito não pode ser desprezado, uma vez que, a energia mecânica do sistema passa a ser contabilizada pela soma da energia cinética, potencial e térmica (1996, p. 199).

Kittel descreve que o atrito parece não ser uma força conservativa em sentido limitado, contudo, mesmo que dois corpos sofram colisões inelásticas e que a energia cinética sofra uma dissipação em que se transforma em energia térmica no interior dos corpos que colidiram, se as forças fundamentais do sistema forem conservativas, todo o movimento deverá ser diante de uma análise minuciosa, com isso, o atrito passaria a ser um detalhe mais contábil. Kittel infere que se uma certa quantidade de energia na análise de um determinado movimento se dissipa numa outra forma de energia que não nos será útil, “a soma da energia cinética e a de excitação interna das duas partículas, foi denominada de energia total e admitiu-se que era conservada” (1970, p. 141).

Tipler destaca que na perspectiva macroscópica atuam forças não-conservativas como o atrito cinético que possuem a tendência de diminuir a energia mecânica de um sistema. Essa diminuição da energia mecânica é acompanhada por um correspondente aumento da energia térmica, analogamente, forças de deformação de objetos e forças associadas a energias químicas também resultam em energia térmica, devido a capacidade de aferição dessa energia, ao soma-la com a energia cinética e potencial, conclui que a energia total do sistema se conserva

Mesmo quando a energia térmica e a química estão incluídas, a energia total do sistema nem sempre permanece constante, porque energia pode ser convertida em energia de radiação, como ondas sonoras e ondas eletromagnéticas. Mas *o acréscimo ou o decréscimo da energia total de um sistema pode sempre ser contabilizado pelo desaparecimento ou pelo aparecimento de energia fora do sistema*. Este resultado experimental, conhecido como a **lei de conservação da energia**, é uma das mais importantes leis de toda a ciência⁸. (TIPLER, 2016)

⁸ Grifos do autor.

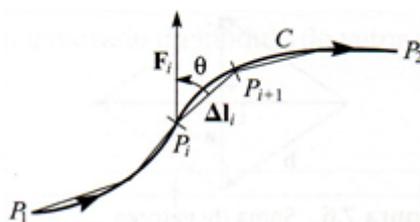
Daí vem, segundo o mesmo Tipler, uma afirmação alternativa “A energia total do universo é constante. Energia pode ser convertida de uma forma para outra, ou transferida de uma região para outra, mas energia nunca pode ser criada nem destruída.” (1996, p. 214)

A lei de conservação de energia leva em consideração conceitos de energia cinética, potencial, de trabalho, por isso, uma revisão acerca dessas energias é realizada levando-se em consideração o caso geral em três dimensões.

6.2.1 Trabalho de uma Força

Ao se levar em consideração uma partícula que se move sobre uma curva C qualquer sob a ação de uma força \vec{F} como mostrado na figura 1 abaixo

Figura 1. Integral de linha apresentada por Nussenzveig



Fonte: Nussenzveig (2013)

Nota: Livro Curso de Física Básica, volume 1. Editora
Blucher

A partícula se desloca entre os pontos P_1 e P_2 , sobre a curva orientada C , de P_1 para P_2 . Ao se tomar a curva C em pequenos segmentos de reta lineares infinitesimais com extremos nos pontos P_i e P_{i+1} , em que P_{i+1} representa o i -ésimo segmento parcial sobre o qual a curva C fica subdividida. Se os pontos P_i e P_{i+1} forem próximos o suficiente, poder-se-á aproximar a força aplicada \vec{F} por uma constante e $F(l) \approx F_i$ (*cte*) sobre o segmento de reta, além disso, também terá como aproximar a distância entre os pontos citados por uma corda que, dependendo do intervalo infinitesimal que se tome, poderá ser aproximado por $P_i P_{i+1} \equiv \Delta l_i$, com isso, o trabalho referente a esse arco poderá ser escrito como

$$W_{P_i \rightarrow P_{i+1}} \approx \vec{F}_i \cdot \Delta \vec{l}_i \quad (1)$$

O trabalho total entre os extremos P_1 e P_2 na curva C será apresentado sobre todos os segmentos da linha poligonal ao se fazer $\Delta l_i \rightarrow 0$:

$$W_{P_1 \rightarrow P_2}^{(C)} = \lim_{|\Delta L_i \rightarrow 0|} \sum_i F_i \cdot \Delta l_i = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}_{(C)} \quad (2)$$

O limite da equação (2) define a integral de linha $\vec{F} \cdot d\vec{l}$ entre os pontos P_1 e P_2 na curva C. Os deslocamentos infinitesimais $d\vec{l}$ na curva C terão as projeções os deslocamentos infinitesimais sobre os eixos, ou seja, $d\vec{l} = dx\hat{i} + dy\hat{j} + dz\hat{k}$, com isso,

$$\vec{F} \cdot d\vec{l} = F_x dx + F_y dy + F_z dz \quad (3)$$

E

$$\int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}_{(C)} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_x \cdot d\vec{x}_{(C)} + \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_y \cdot d\vec{y}_{(C)} + \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_z \cdot d\vec{z}_{(C)} \quad (4)$$

Ao aplicar a Segunda Lei de Newton, que é um caso particular quando não existe variação de massa, a cada componente do lado direito da equação (4), chegaremos à generalização que se segue,

$$\vec{F}_{res} = m \cdot \vec{a} \quad (5)$$

Para cada componente tem-se $F_x = ma_x$, $F_y = ma_y$ e $F_z = ma_z$, multiplicando ambos os termos de cada equação pelos seus respectivos deslocamentos infinitesimais, tem-se:

$$F_x dx = ma_x dx = m \frac{dv_x}{dt} dx \quad (6)$$

Como $v_x = \frac{dx}{dt}$, implica que $dx = v_x dt = \frac{dx}{dt} dt$, com isso

$$F_x dx = m \frac{dv_x}{dt} \frac{dx}{dt} dt = m v_x \frac{dv_x}{dt} dt = m v_x dv_x \quad (7)$$

Analogamente a equação (7), teremos, para cada componente $F_y dy = m v_y dv_y$ e $F_z dz = m v_z dv_z$. Ao integrar os dois lados da equação (7) obter-se-á, para a componente x e concomitantemente para as outras componentes

$$\int_{P_1}^{P_2} F_x dx_{(C)} = m \int_{P_1}^{P_2} v_x dx_{(C)} = \frac{1}{2} m v_{2x}^2 - \frac{1}{2} m v_{1x}^2 \quad (8)$$

$$\int_{P_1}^{P_2} F_y dy_{(C)} = m \int_{P_1}^{P_2} v_y dy_{(C)} = \frac{1}{2} m v_{2y}^2 - \frac{1}{2} m v_{1y}^2 \quad (9)$$

$$\int_{P_1}^{P_2} F_z dz_{(C)} = m \int_{P_1}^{P_2} v_z dz_{(C)} = \frac{1}{2} m v_{2z}^2 - \frac{1}{2} m v_{1z}^2 \quad (10)$$

Em que v_1 e v_2 são as respectivas velocidades da partícula nos pontos P_1 e P_2 . De maneira geral, tem-se que

$$\int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}_{(C)} = \frac{1}{2} m (v_{2x}^2 + v_{2y}^2 + v_{2z}^2) - \frac{1}{2} m (v_{1x}^2 + v_{1y}^2 + v_{1z}^2) \quad (11)$$

Onde $v_1^2 = v_{1x}^2 + v_{1y}^2 + v_{1z}^2$ e $v_2^2 = v_{2x}^2 + v_{2y}^2 + v_{2z}^2$, respectivamente, com isso, a partir da equação (2):

$$W_{P_1 \rightarrow P_2}^{(C)} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}_{(C)} = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = K_2 - K_1 = \Delta K \quad (12)$$

Ou seja, o trabalho que uma força realiza sobre uma partícula é igual a sua variação da energia cinética entre os intervalos analisados, no caso demonstrado acima, entre os pontos P_1 e P_2 , que são suas posições inicial e final. (NUSSENZVEIG, 2013, p. 164, 165)

Para a demonstração acerca das forças conservativas, o professor Nussenzveig usa como analogia a interação gravitacional, com a qual evidencia também a conservação da energia mecânica total. Na análise que realiza, comenta

sobre o trabalho do matemático Simon Stevin ao demonstrar o princípio do equilíbrio no plano inclinado através do princípio dos trabalhos virtuais, que foi de “grande importância no desenvolvimento da mecânica” (2013, p. 169).

6.2.2 Forças Conservativas

Para uma partícula de massa m que está em movimento vertical na vizinhança da superfície da Terra, ao se adotar um referencial, o plano de coordenadas cartesianas com o eixo Oz direcionado para cima, a força de interação gravitacional terá as seguintes componentes:

$$F_x = F_y = 0 \text{ e } F_z = -mg \quad (13)$$

A equação (4) poderá ser escrita da seguinte maneira

$$\int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}_{(C)} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_x \cdot d\vec{x}_{(C)} + \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_y \cdot d\vec{y}_{(C)} + \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_z \cdot d\vec{z}_{(C)} = -mg \int_{z_1}^{z_2} dz \quad (14)$$

$$\int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}_{(C)} = -mg(z_2 - z_1) \quad (15)$$

Como se sabe, $\vec{U}(z) = mgz\hat{k} = U(x, y, z) = U(P)$, para qualquer ponto P de coordenadas (x, y, z) , com isso, pela equação (2)

$$W_{P_1 \rightarrow P_2}^{(C)} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}_{(C)} = -[U(P_2) - U(P_1)] = -(U_2 - U_1) = -\Delta U \quad (16)$$

Levando em consideração as equações (12) e (16), podemos então deduzir que

$$\Delta K = -\Delta U \quad (17)$$

Ainda segundo o professor Nussenzveig, para um campo gravitacional uniforme, o trabalho que será realizado sobre uma partícula que percorre um deslocamento qualquer não terá dependência com o caminho seguido pela partícula, esse trabalho só depende das posições extremas inicial e final, com isso, esse trabalho representará a diferença de energia potencial entre essas posições (2013, p. 166)

O professor Nussenzveig continua seu relato informando que, para que uma força seja considerada conservativa, o trabalho por ela realizado entre duas posições quaisquer é independente da trajetória percorrida por um objeto sujeito a essa força, ou seja, o princípio da equação (16) deve ser atendido.

A partir da equação (17), chega-se ao modelo que descreve a conservação da energia mecânica em um sistema isolado em que o atrito é desconsiderado

$$\Delta K + \Delta U = \Delta E = 0 \quad (18)$$

Para a energia potencial, que é uma função de posição, define-se o referencial num ponto escolhido em que o nível zero de energia potencial será correspondente a esse ponto e, com isso, a energia potencial será o negativo do trabalho realizado por uma força para levar um objeto desse referencial inicial escolhido até uma posição final qualquer.

$$U(P) = - \int_{P_0}^P \vec{F} \cdot d\vec{l}, \text{ em que } U(P_0) = 0 \quad (19)$$

Uma outra maneira de apresentar a propriedade de força conservativa a uma interação é considerar uma curva fechada C ligando dois pontos P_1 e P_2 em que essa força percorre essa linha fechada de maneira completa (2013, p. 166).

$$\int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}_{(C)} = - \int_{P_2}^{P_1} \vec{F} \cdot d\vec{l}_{(C)} \quad (20)$$

Conseqüentemente, arrumando a equação (20), tem-se que

$$\int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}_{(C)} + \int_{P_2}^{P_1} \vec{F} \cdot d\vec{l}_{(C)} = 0 \quad (21)$$

Ao percorrer o caminho P_1 e P_2 em um sentido e em seguida no seu sentido inverso, o que se está descrevendo é o caminho fechado C e, com isso, a notação de integral de linha ao longo de um caminho fechado passa a ser descrita por

$$\oint_{(C)} \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0 \quad (22)$$

A partir da equação (21) descrita pela notação da equação (22), chega-se à conclusão “que é necessária e suficiente para que uma força seja conservativa que o trabalho por ela realizado ao longo de qualquer caminho fechado se anule” (NUSSENZVEIG, 2013).

6.2.3 Gradiente da Energia Potencial

Sabe-se que uma força conservativa pode ser calculada ao se conhecer a variação da energia potencial entre duas posições em função das forças envolvidas, para um certo deslocamento, $x + \Delta x$, a equação (16) fornece, em se levando em consideração que $P_1 = P_1(x_1, y_1, z_1)$ e $P_2 = P_2(x_2, y_2, z_2)$

$$U(x_2, y_2, z_2) - U(x_1, y_1, z_1) = - \left[\int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_x \cdot d\vec{x} + \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_y \cdot d\vec{y} + \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_z \cdot d\vec{z} \right] \quad (23)$$

Para uma variação da energia potencial em um deslocamento apenas na direção de x, deixando y e z invariáveis, ou seja, $(x, y, z) \rightarrow (x + \Delta x, y, z)$, implicando, com isso, que $dy = dz = 0$, a equação (23) fica, então,

$$U(x + \Delta x, y, z) - U(x, y, z) = - \int_x^{x+\Delta x} F_x(x', y, z) dx' \approx -F_x(x, y, z) \Delta x \quad (24)$$

Ao se tomar o limite da equação (24), quando $\Delta x \rightarrow 0$, tem-se

$$-F_x(x, y, z) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left[\frac{U(x + \Delta x, y, z) - U(x, y, z)}{\Delta x} \right] = \frac{\partial U}{\partial x}(x, y, z) \quad (25)$$

Como visto, “o limite define a derivada parcial de U em relação a x, calculada no ponto (x,y,z)” (NUSSENZVEIG, 2013). De maneira análoga, em se tendo os deslocamentos nas direções y e z, obter-se-á as outras componentes F_y e F_z ,

$$F_x = -\frac{\partial U}{\partial x}, \quad F_y = -\frac{\partial U}{\partial y}, \quad F_z = -\frac{\partial U}{\partial z} \quad (26)$$

A equação (26) mostra que, em se tendo a energia potencial em função da posição, poder-se-á calcular as três componentes da força. Segundo Nussenzveig, “a descrição em termos de energia potencial é bem mais econômica, pois em lugar de três funções escalares de (x, y, z) (as componentes F_x , F_y , F_z da força \vec{F}) basta conhecermos uma função” (2013, p.170), no caso, segundo o mesmo professor Nussenzveig, estará se trocando um vetor por um escalar. Ao se variar infinitesimalmente U, passando de (x, y, z) para (x + Δx, y + Δy, z + Δz), a variação total advém da soma das três componentes

$$dU = \frac{\partial U}{\partial x} dx + \frac{\partial U}{\partial y} dy + \frac{\partial U}{\partial z} dz = -(F_x dx + F_y dy + F_z dz) = -F dl \quad (27)$$

As equações (24) e (25) demonstram as chamadas derivadas direcionais, que apresentam o quanto uma função varia em certa direção, no caso em tela, da equação (27), ao se executar o produto escalar dos vetores força (F) com o deslocamento (dl), definido por $d\vec{l} = dx\hat{i} + dy\hat{j} + dz\hat{k}$, obtém-se o operador, denominado de gradiente, ou grad U

$$\text{grad } U = \frac{\partial U}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial U}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial U}{\partial z} \hat{k} \quad (28)$$

$$dU = \text{grad } U \cdot d\vec{l} \quad (29)$$

$$\text{grad } U \equiv \vec{\nabla} U \quad (30)$$

E, segundo Stewart, o teorema que define a maximização da derivada direcional demonstra “Suponha que f seja uma função diferenciável de duas ou três variáveis. O valor máximo da derivada direcional $D_u f(\mathbf{x})$ é $|\nabla f(\mathbf{x})|$ e ocorre quando \mathbf{u} tem a mesma direção e sentido que o vetor gradiente $\nabla f(\mathbf{x})$ ” (2007, p. 944)

Levando-se em consideração a equação (29), tem-se que

$$\vec{\nabla}U \cdot d\vec{l} = |\vec{\nabla}U| |l| \cos \theta \quad (31)$$

Em que θ é o ângulo entre $\vec{\nabla}U$ e \vec{l} . Com isso, o valor máximo para o $\cos \theta$ é 1, e tal valor acontecerá quando o ângulo θ for zero, ou seja, para $\theta = 0 \rightarrow \cos \theta = 1$ e isso demonstra que nessa situação \vec{l} e $\vec{\nabla}U$ têm as mesmas direção e sentido, verificando, com isso, a maximização da energia potencial como descrita por Stewart no teorema anterior.

6.2.4 Forças Não-Conservativas

No início da seção 7.2, quando foi tratado do modelo para a conservação da energia mecânica, houve a observação de que a energia mecânica total de um sistema sempre se conserva, mesmo que este seja regido por forças conservativas e não conservativas. Como descreve Nussenzveig (2013), existem forças conservativas como a gravitacional analisada em um campo gravitacional uniforme e a elástica, mas também, existem forças não conservativas como as de atrito e algumas forças elétricas na presença de um campo magnético variável temporalmente.

No caso especificamente da força de atrito cinético é sabido que a sua integral de linha depende da trajetória observada, por isso, ao analisar movimentos que dependem de forças conservativas e não conservativas, deve-se leva-las em consideração no cálculo da conservação da energia mecânica. Por exemplo, num movimento em que existam forças conservativas e não conservativas, a força resultante \vec{F}_{res} será

⁹ Grifos do autor

$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_{conservativa} + \vec{F}_{n\tilde{a}o-conservativa} \quad (32)$$

Levando-se em consideração as equações (12) e (32) sabe-se que

$$\Delta K = W_{P_1 \rightarrow P_2} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_{conservativa} \cdot d\vec{l} + \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_{n\tilde{a}o-conservativa} \cdot d\vec{l} \quad (33)$$

Levando-se em consideração a equação (17) e a existência de forças conservativas

$$\Delta K = U_{P_1} - U_{P_2} + W_{n\tilde{a}o-conservativo} \quad (34)$$

$$K_{P_2} - K_{P_1} - U_{P_1} + U_{P_2} = W_{n\tilde{a}o-conservativo} \quad (35)$$

$$K_{P_2} + U_{P_2} - (K_{P_1} + U_{P_1}) = W_{n\tilde{a}o-conservativo} \quad (36)$$

Como foi visto na equação (18), a variação da energia mecânica é a soma da variação da energia potencial com a variação da energia cinética, com isso

$$E_{P_2} - E_{P_1} = W_{n\tilde{a}o-conservativo} \quad (37)$$

Com isso, conclui-se que o trabalho realizado pelas forças não conservativas será calculado pela variação da energia mecânica como proposto na equação (37). Como afirma Nussenzveig “Logo, a variação da energia mecânica total da partícula é igual ao trabalho sobre ela realizado pelas forças não conservativas” (2013, p. 180).

Pelo que foi exposto no modelo teórico descrito até aqui, observa-se que a partir do sistema adotado, a energia mecânica não se conserva ao se levar em consideração as ações dissipativas, tendo em mente esse princípio, foi elaborada e aplicada uma metodologia de laboratório aberto investigativo com um grupo de estudantes do 1º ano do ensino médio de um colégio em que o autor da presente pesquisa trabalha e os detalhes dessa aplicação são descritos em seguida.

7 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido aplicando-se um experimento com o brinquedo de *Hot Wheels* para pôr em prática o laboratório aberto investigativo, em que os estudantes partem da inquietação de responder a perguntas problemas que ensejem uma resposta baseada na experimentação.

Para a prática foi escolhido o tema norteador significativo de conservação da energia mecânica e durante a aplicação do experimento, o professor pode mediar os debates em torno das perguntas levantadas pelos alunos e pelo próprio professor. Em seguida, fez-se um questionário com o intuito de verificar a construção do conhecimento de quem praticou a investigação. Pela análise dos participantes da pesquisa optou-se por adotar o laboratório aberto de grau II, uma vez que os aprendizes não tinham qualquer experiência em aulas laboratoriais.

O brinquedo foi devidamente montado e aplicado em aulas específicas na escola em que o autor da pesquisa é professor, por isso, antes de destacar os métodos aplicados, faz-se necessário evidenciar alguns aspectos físicos e humanos da referida escola onde ocorreu a aplicação da metodologia pedagógica.

O método de aplicação do produto foi o da intervenção pedagógica, uma vez que o professor aplicador foi um agente mediador entre o conhecimento a ser evidenciado e o estudante, que de maneira ativa, tem a oportunidade de adquirir e consolidar novos conhecimentos ou mesmo ressignificar conhecimentos prévios. Entende-se a intervenção pedagógica como defendido por Damiani et al, em que há um planejamento e aplicação de mudanças, um direcionamento, cujo objetivo é provocar um aperfeiçoamento no processo de ensino-aprendizagem e “a posterior avaliação dos efeitos dessas interferências” (2013, p. 58).

Antes da descrição da aplicação metodológica, cabe um relato acerca dos elementos com compõem o colégio onde a mesma foi aplicada.

7.1 A ESCOLA, SEU CORPO DE FUNCIONÁRIOS E ESTUDANTES

O Colégio Nossa Senhora da Graça (CNSG), que faz parte da Rede Damas Educacional, pertencente ao grupo ARIC (Associação das Religiosas da Instrução Cristã), é uma escola confessional católica da tradição de Madre Agathe Verhelle, fundadora da instituição, na Bélgica. O colégio está localizado na rua Melo Verçosa, n. 409, bairro, Matriz, na cidade da Vitória de Santo Antão, estado de Pernambuco. A cidade em que o colégio está inserido é a nona mais populosa do estado supra citado, segundo o IBGE, e abriga um forte desenvolvimento econômico baseado na indústria, comércio e agricultura, sendo uma cidade polo para outras vizinhas, além desses fatores, a cidade se destaca por ser também um polo educacional, possui duas instituições de ensino superior público – um campus da UFPE e um do IFPE – além de cinco faculdades particulares. É nesse contexto que está situado o colégio, de estrutura particular, fundado há 91 anos, o que demonstra seu caráter tradicional na educação da referida cidade.

O corpo de estudantes é composto, em geral, por integrantes da classe média, contudo, possui grande oferta de bolsas de estudos, cerca de 41% das matrículas da escola são compostas por bolsistas, segundo o Projeto Político Pedagógico da instituição, o que permite a entrada de estudantes mais carentes através de seleção realizada no início de cada ano letivo; é também referência no ensino a pessoas com deficiência. Abriga desde a educação infantil até o ensino médio.

A estrutura física da escola é formada pelo prédio principal que abriga 21 salas de aulas divididas por períodos e séries, em que a educação infantil e as primeiras séries do ensino fundamental estão localizadas em um bloco separado das demais séries do ensino fundamental e do ensino médio, que se situam num segundo bloco de salas de aulas, todas no térreo.

Para a aplicação do produto pedagógico foi disponibilizada uma sala com condicionador de ar, bem iluminada e ampla em que durante as aulas de aplicação do

experimento as carteiras escolares foram devidamente afastadas para que não atrapalhassem o uso do brinquedo, deixando apenas algumas carteiras para que fossem colocados os instrumentos necessários para a vivência do laboratório investigativo.

Com base no cenário descrito acima, pode-se agora inferir sobre a aplicação da proposta metodológica e seus frutos que serão elencados na análise dos resultados no capítulo 8.

7.2 APLICAÇÃO METODOLÓGICA

Para a aplicação da metodologia foi escolhida uma atividade presente no produto educacional como forma de aprofundar o que lá está proposto, o produto está anexado no Apêndice A, essa atividade foi realizada com o brinquedo de *Hot Wheels*, a partir de um plano inclinado conectado a um *loop*, tal atividade foi aplicada nas três turmas do primeiro ano do ensino médio totalizando 100 aprendizes distribuídos da seguinte maneira: 31 estudantes que faziam parte do primeiro ano, turma A, 34 estudantes do primeiro ano, turma B e 35 estudantes do primeiro ano, turma C. A aplicação completa do produto ocorreu entre o dia 30 de outubro de 2019 e o dia 26 de novembro de 2019, totalizando 20 dias úteis desde a primeira aula expositiva até a aplicação do questionário avaliativo no dia 26 de novembro de 2019.

Vale ressaltar que a contagem de dias com relação aos dias úteis se dá pelo fato de que nesse período ocorreu a quantidade de dias letivos que a escola teve, uma vez que não houve aulas nos dias de sábado, domingo ou feriado. Destaque-se também que o professor aplicador do produto tinha uma carga horária distribuída entre a segunda e a quinta-feira, mesmo assim, como a escola dispõe de aulas às sextas-feiras, foi levado esse dia em consideração na contagem devido ao fato de que ali também os alunos estavam sendo confrontados com a aquisição de novos conhecimentos de outras áreas.

A configuração de aulas semanais de física nas turmas dos primeiros anos do ensino médio na referida escola estão destacadas no quadro 3.

Quadro 3. Horário de aulas de física no primeiro ano do ensino médio no CNSG

| HORÁRIO | SEGUNDA | TERÇA | QUARTA | QUINTA |
|-----------------------|----------------|--------------|---------------|---------------|
| 07:20 às 08:10 | | | | 1º C |
| 08:10 às 09:00 | | | | |
| 09:00 às 09:50 | 1º A | | | 1º B |
| 09:50 às 10:10 | Intervalo | Intervalo | Intervalo | Intervalo |
| 10:10 às 11:00 | | 1º C | 1º A | |
| 11:00 às 11:50 | | | 1º B | |
| 11:50 às 12:00 | Intervalo | Intervalo | Intervalo | Intervalo |
| 12:00 às 12:50 | | 1º A | 1º C | 1º B |
| 12:50 às 13:40 | | | | |
| 14:40 às 15:30 | | 1º A | | |
| 15:30 às 16:20 | | 1º B | | |
| 16:20 às 17:10 | | 1º C | | |

Fonte: O Autor (2020)

Como observado no quadro 3, o colégio distribuiu para o ano letivo de 2019 quatro aulas de física por semana para cada série do ensino médio. A terça-feira foi percebida como o melhor dia para trabalhar o produto, uma vez que as aulas no período vespertino são mais tranquilas, já que o maior contingente de alunos da escola estuda no período matutino.

As aulas expositivas aconteceram entre os dias 30 de outubro de 2019 e o dia 19 de novembro de 2019, totalizando dez aulas expositivas para cada turma. O conteúdo a ser trabalhado nesse período foi o de energia, incluindo sua conservação, por isso, foi o momento propício para a aplicação do produto que envolve as relações entre o modelo teórico e experimental da conservação de energia usando a prática de laboratório investigativo aberto.

Nas aulas foram abordadas, a partir do material didático do Ferraro; Ramalho e Soares, os conteúdos de energia cinética e o teorema do trabalho e da energia cinética, energia potencial gravitacional e elástica e pôr fim a energia mecânica e a sua conservação, bem como uma abordagem mais superficial sobre as outras formas

de energia (2015, p.318-353). Ressalte-se que os modelos descritos abaixo levam em consideração a conservação da energia mecânica.

$$E_{mec} = K + U = \frac{mv^2}{2} + mgh \quad (38)$$

Levar em consideração que no topo do *loop* $h = 2R$ em que R é o raio do *loop*

$$a_c = g = \frac{v_{\text{topo do loop}}^2}{R} \rightarrow v_{\text{topo do loop}}^2 = Rg \quad (39)$$

Ao se conservar a energia mecânica entre uma altura h no plano inclinado e o topo do *loop* e substituindo (39) em (38), tem-se

$$h_{\min} = 2,5R \quad (40)$$

Durante as aulas expositivas, o professor comentou acerca da relação que existe entre o modelo teórico dos materiais didáticos e o modelo experimental, tal comentário foi necessário para que os estudantes entendam que o modelo teórico indica tendências que podem ou não ser confirmadas no modelo real e que o teórico é importante porque, dentro do escopo de conhecimento a que os aprendizes são submetidos fica inviável tentar explicar um modelo real que carece de um conhecimento mais aprofundado, principalmente quando tal modelo é explicado a partir da matemática envolvida.

Foram necessárias seis aulas para a explanação do conteúdo citado e quatro aulas com aplicações de exercícios envolvendo os temas de conservação de energia, sempre utilizando o quadro branco, os pinceis para quadro branco, mas também com o auxílio de um notebook e Datashow todo o material pedagógico fornecido pelo colégio. Nessa etapa todos os participantes receberam o mesmo tratamento metodológico, os grupos não haviam sido organizados até o dia 12 de novembro de 2019, quando, nas aulas vespertinas foi separado um tempo para que o professor fizesse o sorteio dos grupos.

O sorteio aconteceu de maneira randomizada, a cada estudante é associado um número na chamada eletrônica, com isso, em casa, foram impressos números de um a trinta e cinco e cortados em tamanhos iguais para que não houvesse desequilíbrio durante o sorteio; antes de começar o sorteio, foi informado que aconteceria e de que ao final da aula o professor chamaria o grupo sorteado para uma conversa sobre o motivo do sorteio. Como no primeiro ano, turma A, constavam trinta e um alunos, foram colocados num depósito onde o professor guardava suas canetas os papeis dobrados de um a trinta e um.

A cada número que o professor puxava, verificava na caderneta eletrônica qual o nome que estava associado, com isso, esse ou essa estudante iria fazer parte do chamado grupo experimental, foram necessários sortear nove números devido ao fato de que quatro números sorteados optaram por ficar de fora do grupo selecionado.

Analogamente, foi realizado o mesmo procedimento para as turmas B e C, sendo que na turma B foram sorteados cinco números e os cinco estudantes aceitaram o convite para um total de trinta e quatro pessoas na turma. Na turma C foram sorteados sete números dos quais cinco estudantes num total de trinta e cinco pessoas aceitaram fazer parte do grupo.

Todos os quinze participantes do grupo experimental consentiram em participar da atividade extra e, separados em grupos de cinco participantes por turma, no dia 19 de novembro de 2019, no turno vespertino, em seus respectivos horários de aula, os estudantes do grupo controle foram deixados em sala de aula resolvendo uma lista de exercícios contendo cinco questões envolvendo o conteúdo de conservação de energia mecânica, lista essa que está anexada ao final da dissertação, enquanto o grupo experimental foi encaminhado para a sala onde seria aplicado o experimento com o brinquedo de *Hot Wheels*.

Os grupos foram divididos em dois, a saber, o experimental e o controle, os estudantes que fizerem parte de qualquer um dos grupos serão retratados no presente trabalho com siglas alfanuméricas como se segue: os participantes do grupo experimental serão representados pelas letras GE mais um número associado, que poderá variar de 01 a 15, uma vez que foi a quantidade de pessoas que participaram do grupo experimental, por exemplo, os alunos GE01, GE09, GE11 são os alunos 01, 09 e 11 do grupo experimental, analogamente se fará com o grupo controle, que será representado pelas letras GC, mais os números associados aos componentes do

grupo, que poderá variar de 01 a 85, totalizando assim o quantitativo de participantes da pesquisa, ou seja, 100 estudantes.

No dia 19 de novembro de 2019 foi aplicado o produto nas aulas da tarde; como observado no quadro 3, cada turma, pela ordem de A a C teria uma aula. No primeiro horário os participantes do grupo controle foram recebidos na sala de aula da turma A com a lista de exercícios, que está anexada no Apêndice C da pesquisa, para ser distribuída pelos líderes de turma e o professor foi com os cinco participantes do grupo experimental para a sala onde seria aplicado o experimento, chegando lá os estudantes foram apresentados ao experimento.

Nesse contexto, foi aplicado o roteiro de laboratório aberto de grau II¹⁰, a escolha do grau executado se deveu ao fato de que os estudantes não tinham experiência com aulas experimentais de Física, visto que as aulas são estritamente expositivas, voltadas à preparação dos aprendizes para as avaliações do Enem e do vestibular seriado da UPE. No grau de liberdade II, conforme quadro 2¹¹, aos estudantes, a partir de uma problematização, no caso, a conservação ou não da energia mecânica, coube coletar os dados para uma análise posterior, análise essa mediada pelo professor.

Cumprindo o roteiro destacado na quadro 2¹², isto é, partindo do problema em forma de pergunta sobre a conservação ou não da energia mecânica, os aprendizes testaram a hipótese de sua conservação baseados no modelo teórico vivenciado nos materiais didáticos que eles estudaram, tendo como base o brinquedo de *Hot Wheels*, previamente preparado e testado pelo professor, os estudantes puderam brincar e em seguida testar as hipóteses levantadas, verificando as grandezas envolvidas na conservação ou não da energia que foi abordada na equação (38) do referencial teórico. Testadas as hipóteses, chegaram à conclusão de que a mesma não se conserva e isso gerou novo debate acerca dos elementos envolvidos na dissipação da energia, enfim, o aparato experimental, bem como a descrição de como se desenvolveu a atividade está descrita como se segue nos próximos parágrafos.

Composto por cinco pistas que estavam coladas com cola instantânea de multiuso em duas bases de madeira, cada uma com 95 cm de comprimento e

¹⁰ Como explicitado no segundo parágrafo do capítulo 7.

¹¹ Esse quadro se encontra na página 28 da presente pesquisa.

¹² *Ibidem*.

emendada uma na outra na direção do seu comprimento, totalizando assim 190 cm de comprimento, nela estavam coladas 5 pistas de 30 cm de comprimento que ocupavam 130 cm da base de madeira; em uma delas, na parte direita que ficaria próxima ao *loop*, a pista não estava completamente colada porque seria ali que haveria a conexão do plano inclinado com o *loop*, como pode ser observado nas figuras 2 e 3, as pistas estavam ligadas umas às outras através de conectores, como pode ser verificado na figura 4.

Figura 2. Plano inclinado com as pistas coladas



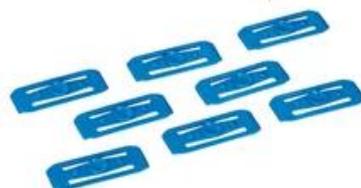
Fonte: O Autor (2020)

Figura 3. Ligação do plano inclinado com o *loop*



Fonte: O Autor (2020)

Figura 4. Conectores de pista



Fonte: site Zattini

Nota: Disponível em: <

<https://www.zattini.com.br/conectores-de-pista-hot-wheels-track-builder-curvas-essenciais-mattel-incolor-EKL-1187-460>>. Acesso em: 02 out. 2020.

O plano inclinado de madeira do tipo compensado foi colocado para diminuir as oscilações da pista quando o carrinho passasse; foi adicionado também uma base de madeira para equilibrar o *loop*, essa base possuía um comprimento de 27 cm por 11 cm de largura, com uma área de 297 cm², isso porque, uma vez que com velocidade suficiente, o carrinho provocou uma perturbação no *loop* fazendo-o oscilar muito; a intenção foi dirimir as perdas de energia devido as oscilações da pista. O *loop* então ficou como na figura 3.

Além do plano inclinado e do *loop* estavam também uma trena de 5 m de comprimento, uma pequena balança digital de fundo de escala 500 g e erro de $\pm 0,1$ g, mais conectores de pistas, também mais pistas e outros carrinhos de massas e dimensões variadas como mostrado nas figuras 5.

Figura 5. Alguns carrinhos de *Hot Wheels* utilizados no dia da aplicação do produto



Fonte: O Autor (2020)

Ao se depararem com os brinquedos muitos dos participantes dos três grupos de 5 estudantes divididos por turma ficaram sem entender o que fazer e começaram a tecer perguntas sobre o que era aquilo, o professor respondeu que eram brinquedos e que poderiam brincar por um tempo para que fossem se adaptando a situação. O professor permitiu essa brincadeira durante aproximadamente cinco minutos e nesse tempo, os participantes puderam soltar ou empurrar os diferentes carrinhos de diversas alturas e de diversos pontos da pista, em alguns casos, ao empurrar os carrinhos, conseguiam que efetuasse o *loop*, em outros casos saíam da pista, a partir de determinada altura perceberam que apenas soltando os carrinhos alguns conseguiam executar o *loop*.

Após os cinco minutos de brincadeiras muitas perguntas surgiram acerca do “peso” do carrinho, ou mesmo de que altura deveriam soltar os carrinhos para que o mesmo efetivasse o *loop*, outra pergunta foi relacionada à necessidade ou não de empurrar o carrinho. Diante de muitas dúvidas, o professor resolveu intervir para mediar os estudantes dentro de uma observação e debate que se mantivesse na linha da conservação da energia mecânica.

Começou com o questionamento acerca da necessidade ou não de se empurrar o carrinho para que o mesmo executasse o *loop*. Pediu que abandonassem os vários carrinhos de alturas diferentes, começando de um ponto mais baixo à escolha deles e soltando até o ponto mais alto, que seria na última pista colada no plano inclinado, assim os participantes fizeram e perceberam que a partir de uma certa altura os carrinhos não precisavam mais serem empurrados. Nesse momento o professor pediu que lembrassem da aula expositiva, quando foi resolvido um exercício com plano inclinado e *loop*. Depois desse primeiro debate, o professor pediu que

usassem uma balança digital para medir a massa dos carrinhos e os soltassem para verificarem se a massa interferiria ou não na execução do movimento.

Na terceira observação o professor lembrou acerca da relação teórica entre a altura mínima de soltura dos carrinhos e o raio do *loop*, nesse momento um dos estudantes pegou a trena, mediu o diâmetro do *loop* e fez o cálculo do que deveria ser a altura mínima para que os carrinhos executassem o *loop*, encontraram uma altura mínima de 35 cm. Soltaram os carrinhos dessa altura e nenhum deles conseguiu, um dos carrinhos, ao ser empurrado conseguiu executar o *loop* a uma altura de aproximadamente 45 cm, outro, ao ser abandonado, só conseguiu a uma altura de 67 cm; durante esse debate com os alunos houve perguntas acerca do porque essa diferença de alturas, foi então que o professor pediu que recordassem do fenômeno da dissipação de energia e pediu que abandonassem os carrinhos novamente e observassem de que maneira essa energia estava sendo dissipada.

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os participantes da pesquisa foram divididos em dois grupos, como detalhado na metodologia, a saber, o grupo experimental que, além de participar das aulas expositivas realizadas de maneira tradicional, também participou da aplicação do experimento com o brinquedo de *Hot Wheels* como forma de aula significativa, e com isso puderam, na prática, ressignificar seus conhecimentos, já o grupo controle teve acesso apenas as aulas teóricas realizadas de maneira tradicional. As aulas tradicionais foram aplicadas concomitantemente para os dois grupos, uma vez que o sorteio para a formação do grupo experimental só foi realizado quando o conteúdo teórico já tinha sido exposto. Faz-se necessária a clareza da informação de que todo o assunto abordado nas questões da avaliação foi apresentado para todos os participantes da pesquisa, seja do grupo experimental ou controle.

Para produzir as observações elencadas abaixo foi elaborado e aplicado um questionário que está anexado no Apêndice D da presente pesquisa, sendo uma delas de cunho algébrico, onde os participantes puderam, com o modelo teórico trabalhado em sala de aula em nível médio, realizar os cálculos solicitados na questão. As outras seis questões foram de cunho qualitativo, com as respostas realizadas de maneira dissertativa, onde se procurou verificar as percepções sobre o conhecimento físico acerca das energias envolvidas em um plano inclinado com um *loop*, bem como a verificação ou não da sua conservação.

Ainda sobre a aplicação da atividade, é importante levar em consideração que a mesma não tem o objetivo de verificar se o participante da pesquisa respondeu de maneira correta ou errada, à exceção fica por conta das questões número quatro e seis, uma vez que na quarta questão lhes é solicitado que elenquem os tipos de energias que formam a energia mecânica, dentro do que foi exposto em sala de aula ou na aplicação da atividade experimental e na sexta questão há a necessidade de utilizar os cálculos matemáticos para se chegar a um resultado numérico, com isso, a avaliação de tais questões se torna mais objetiva.

Também não há intenção de se fazer comparações entre o método experimental e o expositivo na tentativa de mostrar que o experimental é melhor que o expositivo ou vice-versa, a ideia da atividade avaliativa é colher informações que

ajudem a mensurar a importância do uso de experimentos de cunho investigativos para uma melhor compreensão dos fenômenos físicos comparando o modelo teórico com o experimental, ou seja, ajudar, com informações testadas, aos professores da educação básica a construir aulas que vislumbrem aplicações teórico-expositivas e experimentais, como defendem Higa e Oliveira, para que os estudantes venham a adquirir o conhecimento através da problematização e que os mesmos consigam verificar os acontecimentos naturais e artificiais dos fenômenos científicos estudados para favorecer o amadurecimento de análise no aprendiz, bem como, promover uma percepção de que o conhecimento não está pronto, tampouco é definitivo (2012, p.80).

Na análise que se seguirá, os nomes dos participantes não serão revelados, uma vez que não houve tempo hábil para solicitar dos pais ou responsáveis permissão para que fossem utilizados nomes ou imagens dos mesmos, a maneira como serão descritos pode ser observada na metodologia¹³.

O modelo teórico leva em consideração as equações elencadas na metodologia¹⁴. Foi trabalhado um exercício de aplicação e nele observou-se que a força normal só é nula no topo do *loop*, para qualquer outro ponto ela deve ser levada em consideração (FERRARO; RAMALHO; SOARES, 2015, p. 332). Na resolução do exercício supra citado, que trata de um plano inclinado com um *loop*, foi chamada a atenção dos estudantes para o fato de que, embora ao objeto na altura mínima descrita pela equação (40), pudesse ser aplicada uma força inicial no intuito de que o mesmo executasse o *loop*, tal força acabaria por tornar o sistema não conservativo, já que uma força externa ao sistema estaria produzindo o movimento. Por isso, para que se pudesse tratar o sistema conservativo na questão, a própria energia potencial, a partir da ação da força peso, faria o objeto executar o *loop*, conservando a energia, como propunha o modelo teórico trabalhado em sala de aula.

Ressalte-se que em todo o questionário avaliativo, para fins de comparação entre o modelo teórico e o experimental, será tido como base o modelo experimental, justamente por descrever fenômenos reais, isso posto, esse será o norte da avaliação das questões a partir daqui.

¹³ A descrição da organização dos participantes pode ser observada nas páginas 48 e 49.

¹⁴ Conforme o material didático de Ramalho et al, demonstrado na página 47.

Baseado na resolução e explicação do modelo teórico desenvolvido em sala de aula de maneira expositiva como proposto no parágrafo anterior, foi elaborada a primeira pergunta como segue na figura 6 abaixo

Figura 6. Imagem da primeira questão do questionário avaliativo

1. Sobre o looping, empurrar um carrinho do ponto mais alto da trajetória vai influenciar na completa execução do movimento, ou basta abandonar o carrinho do repouso? Explique a sua resposta.

Fonte: Fonte: O Autor (2020)

8.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Na aula em que foi aplicada o experimento, como exposto na metodologia, os estudantes do grupo experimental tiveram acesso ao brinquedo e por um tempo de aproximadamente cinco minutos foi-lhes proposto que brincassem, haviam carrinhos de massas e dimensões diferentes, havia também uma balança digital, mais pistas e uma trena, nesse tempo para brincadeira os participantes puderam pôr em prática o que foi exposto nas aulas e soltaram ou empurraram os diferentes carrinhos de alturas diferentes, findado o tempo proposto, o professor começou a tecer perguntas relativas as exposições feitas em sala para que os aprendizes pudessem ser confrontados com o experimento e testar para verificar se haveria confirmação ou não de tendências relacionadas ao modelo teórico.

Uma dessas perguntas versava sobre a necessidade preponderante de aplicar uma força inicial para que o carrinho executasse o *loop*, tal pergunta se deveu porque nas aulas teóricas expositivas foi observado pelo professor que embora a aplicação de uma força inicial pudesse ajudar na execução do *loop*, bastava abandonar o carrinho do repouso a partir de uma determinada altura mínima que o mesmo iria ter sucesso na execução, como demonstrado nos materiais didáticos utilizados, tanto na educação básica, quanto nas disciplinas introdutórias de Física do ensino superior.

No tocante às questões que tratam de objetos descendo um plano inclinado para executar um *loop*, tal objeto parte do repouso, já que a velocidade necessária para executar o *loop* será determinada pela altura do plano inclinado (TIPLER, 2011; NUSSENZVEIG, 2013; HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2006), isto é, embora uma

força externa interferisse no movimento, esta não seria condição única para que o evento acontecesse, com isso, os participantes começaram a soltar e empurrar diferentes carrinhos em diferentes alturas, para avaliarem se o *loop* seria realizado ou não aplicando uma força inicial e abandonando das alturas testadas.

8.2 ANÁLISE

As respostas do grupo experimental foram de tendência a destacar a não condição única de aplicar uma força inicial; como apresentado na figura 7 abaixo, o participante GE12 destaca que embora a força aplicada inicialmente ajude o carrinho a executar o *loop*, o abandono do carrinho a partir do repouso resultará na execução do *loop*, vale destacar a associação do conhecimento prévio de ganho de energia cinética para que o mesmo tenha velocidade suficiente para o sucesso do evento, evidenciado na penúltima linha da frase escrita pelo participante, evidenciando, com isso, que houve uma “incorporação de conhecimento novo na estrutura cognitiva do estudante” (BRAATHEN, 2012).

Figura 7. Resposta do aluno(a) GE12

Desta abandonar o carrinho em repouso. Ao empurrar aplicamos uma força a qual gera aceleração, isso implica dizer que se empurrarmos o carrinho ele terá aceleração e completará o movimento mais rápido. Porém se apenas soltarmos o carrinho ele também completará a execução do movimento, porque ao soltá-lo a energia cinética aumenta fazendo com que o movimento seja efetuado.

Fonte: O Autor (2020)

A maior parte dos participantes do grupo experimental indicou não necessidade de aplicação de força inicial como mecanismo único de execução do *loop*, embora não a tenham associado a conservação da energia mecânica no sistema, a utilização do brinquedo na aplicação e estudo do fenômeno, fez com que as informações tratadas no experimento fossem ressignificadas na mente dos estudantes porque eles puderam manusear os instrumentos, e a partir do que fizeram e pensaram com o brinquedo, houve uma aquisição de conhecimento mais eficaz, as informações

relacionadas ao abandono do carrinho ou ao empurrão do mesmo, enriqueceram os conhecimentos prévios acerca do movimento (MOREIRA, 2000).

Do grupo experimental, a resposta do GE08, apresentada na figura 8, demonstra o quanto a aplicação indiscriminada de aulas expositivas, como descrevem Assunção, Moreira e o Sahelices, (2018), provocam uma limitação na observação dos fenômenos vistos na prática experimental. Mesmo que a observação realizada em sua resposta esteja correta, uma vez que ao empurrar o carrinho o mesmo irá adquirir maior velocidade, a questão em tela vislumbra um maior aprofundamento do tema por querer que o estudante observe a questão de que abandonar o carrinho do ponto mais alto é o mais viável, uma vez que está se comparando o sistema conservativo ideal com o experimental (não-conservativo).

Figura 8. Resposta do aluno(a) GE04

Você empurrando o carrinho vai ter mais velocidade do que abandonar o carrinho de repouso por conta do impulso no trajeto.

Fonte: O Autor (2020)

No grupo controle, que teve apenas acesso as aulas expositivas onde foi apresentado exclusivamente o modelo teórico e as observações acerca do fato de que as tendências do modelo teórico nem sempre se confirmam no experimental, as respostas dos participantes indicaram uma tendência que aponta à aplicação da força como preponderantemente exclusiva para a execução do movimento. Como destacado no parágrafo anterior, salientando as palavras de Assunção, Moreira e o Sahelices, o método de ensino expositivo, ao não permitir uma participação ativa do estudante no desenvolvimento crítico do conteúdo abordado, não permitirá ao mesmo uma ampliação de “habilidades e competências” (2018, p. 31) necessárias para um aprendizado com significado.

É o que pode ser observado na resposta do GC08 (figura 9), quando o mesmo impõe a necessidade de uma força (enquanto empurrão), já que a “energia potencial gravitacional se mostrará insuficiente” para a execução do movimento.

Figura 9. Resposta do aluno(a) GC08

Para que o carrinho consiga completar o "looping" irá ser necessário a aplicação de uma força, pois a energia potencial gravitacional se mostrará insuficiente para completá-lo.

força da 2ª linha: defini-se como "empurrar do ponto mais alto"

Fonte: O Autor (2020)

Como já evidenciado, durante a exposição do conteúdo, na resolução de uma questão envolvendo um plano inclinado com um *loop*, o professor sempre buscou associar, através de experiências pensamento, o objeto do *loop* com os carrinhos de montanha-russa ou mesmo com os carrinhos dos brinquedos de *Hot Wheels*, na perspectiva do que preconizam Kiouranis, Souza e Santin (2010), ao afirmarem que, metodologicamente falando, a experimentação em si é também uma experiência de pensamento, já que o pesquisador deverá idealizar sua pesquisa. Foi através das experiências de pensamento que houve a tentativa de conduzir os estudantes a mentalizarem o evento acontecendo.

Foi observado, na análise das respostas do grupo controle, o destaque da ideia de que sem a força aplicada, ficará inviável a execução do *loop*, a maior parte das respostas indicaram a preponderância da aplicação da força inicial. Não houve qualquer associação em relação a aplicação da força com a conservação ou não da energia mecânica do sistema, como pode ser observado na figura 10.

Figura 10. Resposta do aluno(a) GC23

Basta abandonar, o loop em seu ponto máximo ainda ocorrerá a descida, que será onde o carrinho terá ~~(o)~~ uma grande velocidade, contudo empurrando o carrinho, ele terá uma velocidade maior.

Fonte: O Autor (2020)

O participante GC23 conseguiu associar a relação explicada em sala de aula entre o abandono do carrinho e a execução do movimento, relatando também que a aplicação da força produzirá uma maior velocidade, tal fato demonstra mais uma vez que a aplicação do experimento não é o único fator preponderante para a melhoria científica educacional que os estudantes precisam, é sim, uma ferramenta de auxílio para que haja uma aprendizagem significativa, isso porque, ao testar o modelo teórico dentro de um modelo real controlado trará um ganho de percepção do fenômeno que ajudará num melhor entendimento do evento em si.

A segunda questão da atividade avaliativa está elencada na figura 11.

Figura 11. Imagem da segunda questão do questionário avaliativo

2. Pelo que foi apresentado nas aulas, a massa do objeto que vai executar um looping influencia no movimento completo? Justifique a sua resposta.

Fonte: O Autor (2020)

8.3 CONTEXTUALIZAÇÃO

Na aula expositiva em que foi resolvido o exercício envolvendo um *loop*, foi demonstrado através da equação (39), que ao se conservar a energia mecânica, a massa do objeto – no caso em tela, fazendo a associação com os carrinhos de montanha-russa ou mesmo os dos brinquedos de *Hot Wheels* – não iria interferir na execução do *loop*; poder-se-ia utilizar carrinhos de massas diferentes que eles iriam conseguir executar o *loop* dentro das condições elencadas no exercício, quais sejam, altura mínima de lançamento e raio do *loop* constante.

Para os participantes do grupo experimental, foi-lhes dada a oportunidade de brincarem o com a pista de *Hot Wheels* e com a aplicação os participantes puderam produzir questionamentos sobre a importância da massa, a partir desse ponto, os estudantes fizeram uso da balança digital para medir as massas dos carrinhos para anotar tais medidas e em seguida procederam com a soltura dos mesmos da altura necessária para a execução do *loop*.

8.4 ANÁLISE

O grupo experimental elencou respostas que indicaram a concordância do que preconiza o modelo teórico com o experimento, como a resposta verificada na figura 12.

Figura 12. Resposta do aluno(a) GE09

Não, porque não depende da sua massa e sim do seu tamanho.
 Por exemplo o ônibus, todos os carrinhos de massas diferentes executaram o looping, menos o ônibus devido ao seu tamanho.

Fonte: O Autor (2020)

As respostas indicaram a não influência da massa para a execução do *loop*; o ônibus descrito por GE09 está demonstrado na figura 13. Em comparação com os outros carrinhos, o ônibus tem um comprimento de 8,5 cm, ou seja, aproximadamente 1 cm maior do que os outros que foram demonstrados na figura 6, no tópico que trata da metodologia.

Figura 13. Ônibus utilizado no *loop* do *Hot Wheels*



Fonte: O Autor (2020)

No grupo de controle, os participantes que evidenciaram a não dependência da massa do carrinho para executar o movimento levaram em consideração a aula

expositiva quando o professor desenvolveu as equações da conservação de energia, as respostas tiveram uma tendência que pode ser observada na figura abaixo

Figura 14. Resposta do aluno(a) GC57

Não, porque a massa irá se cancelar e a partir da altura pegará velocidade suficiente para completar o trajeto.

Fonte: O Autor (2020)

Alguns estudantes do grupo de controle indicaram em suas respostas a não influência da massa na execução do movimento demonstrando a relação entre a altura e a velocidade que o carrinho irá adquirir. A maioria dos participantes, porém, relacionaram a massa com a velocidade, indicando que carrinhos de massa maior terão menos velocidade, como demonstrado na figura 15

Figura 15. Resposta do aluno(a) GC21

Sim, se a massa do objeto é maior, ele não ganha velocidade tão facilmente, se for menor, ele ganha velocidade com mais facilidade.

Fonte: O Autor (2020)

A terceira questão da atividade avaliativa está elencada na figura 16.

Figura 16. Imagem da terceira questão do questionário avaliativo

3. Na teoria vista nos livros didáticos e demonstrada em sala de aula, a altura mínima necessária para que um carrinho possa realizar um loop é descrita pela equação

$$y = \frac{5}{2}R$$

Em que y é a altura mínima necessária para a execução do loop e R é o raio do loop. Na prática, a equação acima consegue descrever corretamente o movimento? Justifique a sua resposta.

Fonte: O Autor (2020)

8.5 CONTEXTUALIZAÇÃO

Como exposto, tanto na metodologia, quanto no início do presente capítulo 8, durante as aulas expositivas foi usada uma questão que envolvia um plano inclinado com o *loop* para desenvolver os cálculos das equações de conservação da energia, tudo realizado de maneira expositiva com os devidos comentários do professor na sala de aula, tais equações estão inclusive elencadas, são as (38), (39) e (40)¹⁵. Na aula foi explicado que a relação da equação (40) só se aplicaria a um sistema em que a energia mecânica se conservasse e que se fosse realizado uma experiência dessas em um laboratório, o resultado da relação entre altura do plano inclinado e o raio do *loop* seria diferente devido às dissipações de energia.

Para os participantes do grupo experimental, foi vivenciada uma aula em que os mesmos puderam utilizar os carrinhos de *Hot Wheels* para verificar se essa relação se confirmava. Com o uso da trena os estudantes mediram o raio do *loop* e a altura em que passaram a soltar os carrinhos, verificaram que precisavam soltar os carrinhos de uma altura superior a 2,5 vezes o raio do *loop*.

8.6 ANÁLISE

Como o grupo experimental teve acesso aos testes com o brinquedo, suas respostas foram de tendência a informar que a relação não acontecia devido às dissipações de energia que aconteciam, como pode ser constatado na figura 17.

Figura 17. Resposta do aluno(a) GE08

não, pois de acordo com os experimentos vistos em sala, esta altura mínima não é a correta, pois os carrinhos não conseguiram fazer o loop com esta altura, pelo fato desta equação não levar em conta as perdas de energia da trajetória.

Fonte: O Autor (2020)

¹⁵ As equações estão descritas na página 47.

De maneira geral, as respostas indicaram uma tendência de que a relação de $5/2$ para a altura mínima do plano inclinado e o raio do *loop* não acontecia na prática devido a dissipação de energia.

Foi solicitado que os participantes tentassem encontrar uma equação matemática que demonstrasse a relação da altura de abandono com o raio do loop e nenhum integrante do grupo experimental conseguiu, com o uso do argumento matemático, encontrar um número que pudesse descrever qual a altura mínima para o abandono do carrinho a partir do raio do loop, como destacado nos parágrafos concernentes a análise 8.2¹⁶, as aulas expositivas em que os modelos matemáticos são expostos e os estudantes resolvem problemas, geralmente de vestibulares anteriores, não garantirão que os aprendizes consigam realizar a transposição do que se vê no quadro ou caderno para a situação real.

No grupo controle as respostas indicaram uma tendência a aceitar a relação, o que é descrito nos materiais didáticos ensinados na escola, como pode ser observado na figura 18.

Figura 18. Resposta do aluno(a) GC08

Sim, pois se não conseguisse não seria ensinada em livros didáticos para o público do Ensino Médio da atualidade..

Fonte: O Autor (2020)

A resposta do participante GC08 evidencia a importância que os aprendizes dão aos materiais didáticos, assim como ele, muitos dos participantes do grupo controle responderam concordando com o modelo teórico. Mesmo os participantes cujas respostas indicaram como não verdadeira a relação de 2,5 vezes o raio do *loop*, justificaram com uma tendência a indicar que a equação estava incompleta; como mostra a resposta do participante GC19 na figura 19. A expectativa por um modelo matemático mais robusto, cheio de variáveis, demonstra a importância do modelo

¹⁶ Página 56.

teórico para os estudantes que só tem acesso a esse tipo de modelo, sem qualquer confrontação com o modelo real.

Figura 19. Resposta do aluno(a) GC19

*Não, pois deveriam existir
mais termos em sua equação.*

Fonte: O Autor (2020)

A quarta questão, como foi informado no parágrafo introdutório ao capítulo 8, é uma das que se poderiam elencar respostas corretas ou erradas, por ter um teor mais objetivo, embora com respostas discursivas, a análise será realizada tendo-se como base a correta descrição das energias envolvidas no movimento do carrinho, segue a figura 20 com a questão.

Figura 20. Imagem da terceira questão do questionário avaliativo.

4. No loop, quais as energias estão envolvidas, formando a energia mecânica?

Fonte: O Autor (2020)

8.7 CONTEXTUALIZAÇÃO

Durante as aulas expositivas em que o modelo foi demonstrado aos estudantes, foram elencadas as energias constituintes da energia mecânica, primeiramente foi exposta, a partir do material didático de Ferraro; Ramalho e Soares, a equação da energia cinética.

$$k = \frac{mv^2}{2} \quad (41)$$

A energia potencial gravitacional.

$$U = mgh \quad (42)$$

E a partir delas a energia mecânica.

$$E_{mec} = K + U \quad (43)$$

Com a conclusão de que “Na ausência das forças dissipativas, a energia mecânica permanece constante, ocorrendo apenas a conversão entre suas formas cinética e potencial” (2015, p. 325). A partir dessa conclusão, foi demonstrada a energia mecânica levando em consideração as energias envolvidas quando a mesma não se conserva, qual seja.

$$\Delta E_{mec} = \Delta K + \Delta U + \Delta E_{térmica} + \Delta E_{Química} + \Delta E_{outras formas} \quad (44)$$

Tal demonstração pode ser observada no material instrucional de Souza (2015, p. 5). O grupo experimental, como em todos os casos, teve a oportunidade de vivenciar essa relação de energias quando brincaram com o *Hot Wheels*, durante a aplicação do experimento foram feitas perguntas pelo professor para se criar uma reflexão nos aprendizes acerca das energias envolvidas no sistema.

8.8 ANÁLISE

Ao observar as respostas dos estudantes que participaram do grupo experimental, se verifica a tendência de descrever as energias cinética e potencial gravitacional, apenas um aprendiz elencou também a energia térmica. Um participante, o GE07, demonstra uma confusão entre energia e força, como destacado na figura 21; mais uma vez, observa-se a dificuldade de relacionar os conceitos teóricos, isso se dá devido ao fato de que, nas palavras de Oliveira, Araújo e Veit, os estudantes estão mais preocupados em memorizar equações para que possam reproduzi-las nas avaliações (2017, p. e3402-2). Para Assunção, Moreira e o Sahelices os docentes ainda têm a mentalidade de que instruir na solução de problemas significa expor uma situação em que o estudante possa resolver através de um algoritmo pré-definido (2018, p. 32), por isso, Oliveira, Araújo e Veit (2017)

propõem que haja uma mudança nessa situação e sugerem o uso dos problemas abertos como ferramenta de mudança na mentalidade de resolução de problemas.

Figura 21. Resposta do aluno(a) GE07.

Cinetica e Atrito

Fonte: O Autor (2020)

Tal resposta demonstra que nem todos os que tem acesso às aulas expositivas e ao experimento conseguirão entender toda a dinâmica de acontecimentos, forças e energias envolvidas, isso mostra que a metodologia não é perfeita e o que se deseja, como já afirmado, é associar seu uso com as aulas expositivas como forma de engajar mais os estudantes nos conhecimentos científicos a partir de experimentos em que os mesmos possam interagir, tecer hipóteses e testá-las no intuito de observar se as mesmas se confirmam ou não.

Como destaca Libâneo, ao descrever o método de exposição pelo professor, as aulas expositivas não necessariamente devem ter o aluno como sujeito passivo, se o docente conseguir transpor essa passividade das aulas expositivas, elas poderão se converter em um considerável meio de aquisição do saber (2013, p.177). Para superar a limitação de passividade dos estudantes, é que se propõe o ensino investigativo de laboratório aberto, tendo como base a aprendizagem significativa.

No grupo controle, embora alguns alunos tenham deixado a questão em branco, todos os outros, não conseguiram elencar as energias envolvidas na energia mecânica, contudo, alguns desses estudantes conseguiram elencar pelo menos as energias, potencial gravitacional e a cinética. Em muitos casos foi observado uma confusão entre energias, como pode ser observado na resposta do participante GC35, apresentado na figura 22.

Figura 22. Resposta do aluno(a) GC35.

energia cinética, potencial, gravitacional e potencial elástica.

Fonte: O Autor (2020)

A questão número cinco possui duas perguntas que se relacionam, ambas têm a intenção de verificar se os alunos entenderam os conceitos envolvidos na conservação da energia. A primeira pergunta se refere à conservação de energia de maneira geral, para qualquer fenômeno observado, a segunda se refere especificamente ao *loop* trabalhado de maneira teórica em sala de aula.

Figura 23. Imagem da quinta questão do questionário avaliativo.

5. Como estudado nos Livros Didáticos de Física, a energia mecânica se conserva, na prática do dia-a-dia, há conservação da energia? Em um looping, o carrinho, ao ser abandonado do repouso descerá um plano inclinado ganhando velocidade e perdendo altura. A energia mecânica será conservada? Justifique a sua resposta.

Fonte: O Autor (2020)

8.9 CONTEXTUALIZAÇÃO

Mais uma vez, nas aulas expositivas em que todos participaram juntos, tanto o grupo experimental quanto o grupo controle, uma vez que os mesmos ainda não tinham sido formados, foi tratado do modelo de conservação de energia mecânica para o *loop* como abordado através das equações (38), (39) e (40)¹⁷, bem como no tópico de contextualização 8.7. Foi ressaltado, inclusive, para todos os estudantes, que no modelo experimental a energia mecânica não se conserva devido às dissipações de energia devido ao atrito, que produz energia térmica, bem como outras formas de energia como a sonora. Quanto a esse tipo de energia, é lembrado o conteúdo que trata da conservação ou não da energia cinética nas colisões, quando do estudo do momento linear, ao ser explicado que numa colisão inelástica a energia cinética não se conserva devido a dissipação por energia térmica e energia sonora, enfim, foi realizada uma aula expositiva em que através do *gedanken experiment* de Erns Mack (KIOURANIS; SOUZA; SANTIN, p. 1507-2), pedi ao alunos que visualizassem mentalmente uma colisão de dois veículos em que no final ambos permanecem unidos, relacionando em seguida tal princípio ao da conservação da energia mecânica.

¹⁷ Página 47.

Após o encerramento das referidas aulas expositivas e da divisão dos grupos, os participantes do grupo experimental tiveram acesso ao brinquedo de *Hot Wheels* e, após os eventos narrados nas contextualizações 8.1, 8.3, 8.5 e 8.7, chegou o momento de mediar os participantes a pensarem acerca da conservação da energia. Nesse momento da aplicação do produto, foi-lhes perguntado sobre esse tema, levando-se inclusive em consideração o que havia exposto nas aulas teóricas, os participantes indagaram de que maneira poderiam verificar essa conservação ou não da energia, o professor solicitou que pensassem em uma maneira de resolver essa situação.

Depois de um pequeno tempo de alguns minutos, o professor indicou a equação que relaciona a altura mínima do plano inclinado com o raio do *loop*, que, como verificado na questão número cinco, essa relação acontece, para um sistema em que a energia mecânica se conserva, segundo a equação (40), ou seja, se a equação não se confirmasse dessa maneira, a energia do sistema não estaria se conservando.

Como os participantes já tinham anotados o raio do *loop* e a altura mínima devido ao cálculo que fizeram para verificar se a relação acontecia, houve um ímpeto de responder pela não conservação da energia, como já tinham verificado, mesmo assim, o professor solicitou que novos lançamentos fossem realizados para que prestassem atenção a apenas esse aspecto da conservação ou não da energia mecânica, os aprendizes atenderam a sugestão e começaram a soltar vários carrinhos da altura mínima teórica de 35 cm, uma vez que o raio do *loop* era de 14 cm, e constataram que mesmo empurrando os carrinhos os mesmos não conseguiam executar o movimento completo, foi então que o professor os provocou a pensar no porquê de o movimento não estar acontecendo.

8.10 ANÁLISE

Na análise de cada questão da avaliação não se está observando quem acertou ou errou a resposta porque, a não ser pelas questões quatro e seis, de caráter mais objetivo, as outras cinco questões buscam vislumbrar o entendimento dos participantes acerca do que foi ensinado tanto na sala de aula, de maneira expositiva

com o modelo teórico, quanto na aplicação do brinquedo de *Hot Wheels* para a experimentação investigativa de laboratório semi-aberto.

O próprio questionário tem um viés pró-experimento e é por isso que sua análise na perspectiva do modelo teórico e experimental é feito tendo como base o experimental, para que se possa mensurar o quanto esse conflito de modelos produzirá uma aprendizagem significativa. A partir desta análise, verificar como o acréscimo de experimentos com brinquedos, por ser de baixo custo, através de investigação, juntamente com as aulas expositivas, poderá provocar nos estudantes uma tendência mais crítica diante do que é apresentado nos materiais didáticos da educação básica acerca dos conteúdos científicos.

Diante dessa realidade, as repostas produzidas pelo grupo experimental tenderam a observar a não conservação da energia devido as dissipações através do atrito do carrinho com a pista, como pode ser observado na resposta do participante GE03, na figura 24.

Figura 24. Resposta do aluno(a) GE03.

na teoria
 Energia ~~potencial~~ cinética e potencial
 gravitacional.
 Já na prática se tem também a energia
 térmica que provém da ~~energia~~ atrito
 dissipado que pode ser calculada
 fazendo com que a E. Mecânica se
 conserve.

Fonte: O Autor (2020)

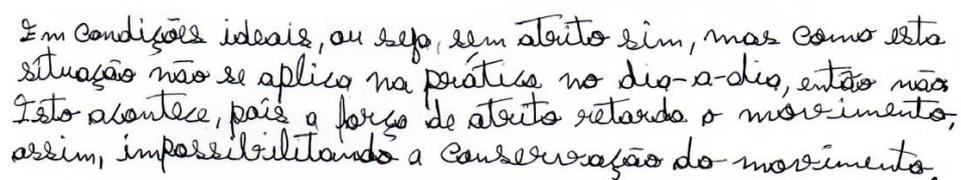
A relação que o participante faz entre o modelo teórico e o modelo experimental expressam que o manuseio do experimento produziu uma resignificação na conceituação do conteúdo de conservação da energia mecânica, como descreve Moreira, a abordagem do laboratório investigativo aberto provocou o confronto de modelos produzindo um desequilíbrio de aprendizado, em busca da reequilibração cognitiva houve o aprendizado significativo (2011, p. 37).

Para isso, o uso do brinquedo desempenhou um papel importante porque, como continua Moreira, essa abordagem de desequilíbrio cognitivo com sua

consequente busca de equilíbrio “deve ser compatível com o nível (período) de desenvolvimento cognitivo do aluno e o desequilíbrio cognitivo por ela provocado não deve ser tão grande que leve o estudante a abandonar a tarefa de aprendizagem ao invés de acomodar” (2011, p. 37-38). Como visto no referencial teórico, o lúdico desempenha esse papel de atenuar essa atividade cognitiva ao produzir o encantamento com o brinquedo.

No grupo controle, pelo fato de só terem acesso as aulas expositivas, como relatado na contextualização 8.9, a tendência das respostas indicou a conservação da energia mecânica. Dentro do grupo que afirmou a não conservação da energia mecânica, destaca-se a resposta do participante GC08, que coloca em dúvida o modelo teórico em relação ao experimental para essa realidade da conservação ou não da energia mecânica, como pode ser observado na figura 25.

Figura 25. Resposta do aluno(a) GC08.



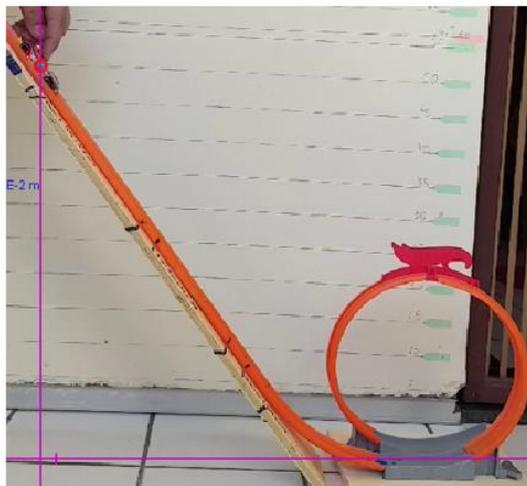
Em condições ideais, ou seja, sem atrito sim, mas como esta situação não se aplica na prática no dia-a-dia, então não. Isto acontece, pois a força de atrito retarda o movimento, assim, impossibilitando a conservação do movimento.

Fonte: O Autor (2020)

A questão número seis tinha como objetivo observar se os participantes da pesquisa conseguiram entender as aplicações dos modelos matemáticos envolvidos no movimento do carrinho durante a descida pelo plano inclinado e seu consequente movimento de execução do *loop*. Segue na figura 26 a imagem da referida questão.

Figura 26. Imagem da sexta questão do questionário avaliativo.

6. Na figura ao lado, a altura de lançamento do carrinho é de 55,8 cm. Adotando $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ e o raio do loop $R = 12 \text{ cm}$, qual deverá ser a velocidade mínima do veículo na base do loop para que o mesmo consiga executá-lo? Quais as suas energias cinética, potencial gravitacional e mecânica na base do loop?



Fonte: O Autor (2020)

8.11 CONTEXTUALIZAÇÃO

O modelo matemático teórico utilizado para os cálculos foi todo aplicado durante as aulas tradicionais fazendo o uso do quadro e dos lápis para quadro onde foi realizada toda a sua apresentação, de acordo com o que foi elencado no primeiro parágrafo da contextualização 8.9, isto é, levando em consideração as equações (38) a (40) e a contextualização 8.7, em seguida, uma questão envolvendo o plano inclinado e o *loop* foi resolvida pelo professor para que os alunos pudessem entender a técnica de resolução desse tipo de questão, onde foi calculada a altura mínima de abandono do carrinho, a velocidade mínima na base do *loop*, a velocidade mínima no topo do *loop*, levando em consideração o que já fora estudado no conteúdo de força centrípeta e a conservação de energia mecânica levando-se em consideração a altura mínima de abandono e a base do *loop* e da altura mínima de abandono e o topo do *loop*.

O grupo experimental não executou todos os cálculos referentes a aplicação de todo o modelo teórico durante a vivência com o brinquedo de *Hot Wheels*, os únicos cálculos realizados pelos participantes do grupo experimental no dia da aplicação foram os que levaram em consideração a relação entre altura mínima de abandono do carrinho e o raio do *loop*.

8.12 ANÁLISE

Como essa questão abordava uma aplicação objetiva de uso de equações que chegam a um resultado, pode-se avaliá-la na perspectiva de quem acertou ou errou os cálculos matemáticos necessários para a sua resolução. Como pode ser observado na resposta do participante GE12, demonstrada na figura 27, a insistência em aulas expositivas com a memorização de equações matemáticas que visam a resolução de problemas pré-definidos não produz um conhecimento significativo.

Figura 27. Resposta do aluno(a) GE12.

$m = 28,8$
 $y = 55,8$
 $g = 9,83$
 $R = 12$

$v = \sqrt{2gy}$
 $v = \sqrt{2 \cdot 9,83 \cdot 55,8}$
 $v = 33,08$

$E_{mc} = 35.757,632$

$E_c = \frac{mv^2}{2} \rightarrow \frac{28,8 \cdot (33,08)^2}{2} = 35.757,632$

$E_{pq} = mgy \rightarrow 28,8 \cdot 9,83 \cdot 0$
 $E_{pq} = 0$

Fonte: O Autor (2020)

Como visto nas análises anteriores, existe uma dificuldade em aplicar o modelo teórico nas situações reais. Não conseguir resolver o modelo matemático demonstra a necessidade de se trabalhar melhor as aulas expositivas, saindo da exposição fechada de equações, que têm como consequência apenas a memorização para “passar” nas avaliações. Nas palavras de Carvalho e Sasseron, os estudantes precisam ser “introduzidos na cultura científica” (2015, p. 250), para isso, continuam as autoras, faz-se mister que os aprendizes observem um significado no conjunto de teorias que compõem a Física.

Ao aplicar o laboratório aberto investigativo centrado na problematização, ficou evidente na presente questão analisada e tendo como base o banco de dados das respostas a referida questão, que existe uma imensa dificuldade dos estudantes em lidar com os modelos matemáticos necessários ao processo de análise dos fenômenos físicos.

No grupo controle muitos foram os participantes que deixaram a questão em branco, outros não conseguiram acertar ao que se pedia na questão, seja por não trabalharem bem as unidades de medida das grandezas envolvidas, seja por erros

com as operações matemáticas, como pode ser visto na resposta do participante GC72 apresentada na figura 28.

Figura 28. Resposta do aluno(a) GC72

$$\begin{aligned}
 v &= \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 55,8} = \sqrt{1.094,746} \\
 v &\approx 10,46 \\
 K &= \frac{28,8 \cdot 10,46}{2} = 15.091,2 \\
 U_g &= 28,8 \cdot 9,81 \cdot 55,8 = 15.765,0624 \\
 E_m &= K - U_g = 30.856,2624
 \end{aligned}$$

Fonte: O Autor (2020)

A pergunta da questão número sete tinha como objetivo avaliar a percepção dos discentes acerca da importância de se estudar o modelo teórico, mesmo sabendo que na prática outras variáveis vão impactar nas medidas realizadas. Segue a figura 29 com a imagem da questão.

Figura 29. Imagem da sétima questão do questionário avaliativo.

7. Se os modelos teóricos não concordam com a prática, qual a sua importância para o estudo da Física?

Fonte: O Autor (2020)

Como a questão envolvia uma afirmação que vez ou outra era enfatizada pelo professor em conteúdos já vivenciados com os mesmos alunos, qual seja, o fato de que os modelos nos dão uma ideia do que acontece na realidade e aí está a sua importância, mas, eles não descrevem a realidade como um todo, a função do modelo é auxiliar no entendimento de maneira mais simples dos fenômenos observados, nas palavras de Cudmani e Sandoval, “mesmo quando os conceitos e leis científicos (em particular, os da Física) estão longe de ser representações icônicas da realidade, eles se constroem tendo como objetivo predizer, interpretar e explicar esta realidade” (1991, p.194). Como realizado até aqui para as outras seis questões, segue a contextualização e a análise da última questão da avaliação.

8.13 CONTEXTUALIZAÇÃO

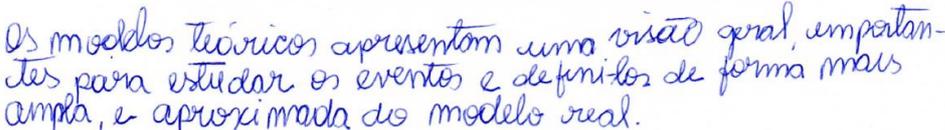
Repetidas vezes durante as aulas de Física foi enfatizado em sala de aula a importância do modelo teórico como instrumento de entendimento de fenômenos reais, por isso, houve a necessidade de observar de que maneira os aprendizes conseguiram entender essa relação. Embora o grupo controle tenha tido acesso apenas às aulas expositivas de cunho teórico, em muitas oportunidades, como discutidas aqui no capítulo 8, foi abordada a relação entre o modelo teórico e prático.

Os participantes do grupo experimental puderam confrontar os modelos e verificaram que há situações em que sua tendência é verificada e há situações em que essa tendência não se verifica, diante disso, cabe entender o que os estudantes de maneira geral conseguiram depreender dessa relação, seja apenas nas aulas expositivas ou mesmo nas aulas expositivas e práticas.

8.14 ANÁLISE

No grupo experimental, como houve a aplicação do brinquedo como forma de experimentação, as respostas dos participantes indicaram uma tendência de destacar a importância do modelo teórico para um melhor entendimento dos fenômenos reais, como mostra a resposta do participante GE08 na figura 30.

Figura 30. Resposta do aluno(a) GE08.



Os modelos teóricos apresentam uma visão geral, empata-tes para estudar os eventos e defini-los de forma mais ampla, e aproximada do modelo real.

Fonte: O Autor (2020)

No grupo controle, a grande maioria das respostas, foram de tendência a demonstrar uma importante relação entre o modelo teórico e o experimental, uma vez que o modelo teórico pode indicar tendências demonstradas no modelo real, muitas vezes não como a equação do modelo teórico demonstra, mas, com a evidenciação da tendência. Destaca-se a resposta do participante GC82, que aborda, como

mostrado na figura 31, uma importância elevada ao modelo teórico a ponto de afirmar que sem ele o modelo real não existiria, o que torna a resposta absurda, uma vez que se sabe da existência do modelo real independentemente de qualquer coisa.

Figura 31. Resposta do aluno(a) GC82.

SEM AS TEORIAS NÃO SERIA POSSIVEL AS PRACTICAS

Fonte: O Autor (2020)

9 CONCLUSÃO

No presente trabalho é proposto a aplicação de uma metodologia de experimentação com brinquedo de *Hot Wheels* que pode ser executada para enriquecer as aulas teóricas expositivas realizadas de maneira tradicional; essa experimentação se deu na perspectiva de um laboratório aberto, segundo o quadro 2, de grau II em que os estudantes foram responsáveis por testar as hipóteses levantadas pelo professor, obter as informações (dados) e tirar suas próprias conclusões acerca do que foi vivenciado no experimento.

O objetivo da pesquisa é o de sugerir o incremento de aulas experimentais de cunho investigativo a partir do laboratório aberto como forma de despertar nos estudantes uma ação mais ativa diante do conhecimento científico, ação essa que envolve tanto os professores quanto os aprendizes. No tocante aos professores, tem como objetivo propor uma mudança de ação dominante do conhecimento encerrado nos materiais didáticos para uma ação cooperadora de ser um agente condutor dos estudantes na busca do envolvimento com o conhecimento advindo da ciência.

Quanto aos aprendizes, a ação de sedimentar o novo conhecimento sobre as bases dos conhecimentos advindos de suas visões de mundo, concatenando-os e evoluindo na essência do conhecer, através do conflito entre os modelos teóricos e reais provocado pela problematização e da ação investigativa na busca das soluções dos problemas levantados.

O embasamento teórico teve como norte a aprendizagem significativa crítica, proposta por Marco Antônio Moreira, em que o aprendiz passa a ser um agente na construção do conhecimento, baseado na experiência prévia do aprendiz, ou seja, o estudante passa a ter uma importância que lhe foi negada no processo de ensino-aprendizagem, quando, na perspectiva tradicionalista, o conhecimento era todo focado no professor e nos materiais didáticos adotados.

Na aprendizagem significativa a interação entre o professor e o aprendiz contribui para a formação e consolidação do aprendizado, realizado de maneira não-arbitrária e substantiva (MOREIRA, 2011), como explica Moreira, o fato de ser não-arbitrário é porque o novo conhecimento se relaciona com conhecimentos prévios que são particularmente relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz, já a substantividade implica que o novo conhecimento integrado nessa estrutura cognitiva independerá dos

signos usados para transmitir a informação, em outras palavras, o que será agregado não é a forma, mas a essência do conhecimento (2011, p. 26).

Nesse contexto, abordar um conhecimento relevante como o da conservação da energia mecânica de maneira problematizadora, através do laboratório aberto investigativo se torna relevante para que haja uma aprendizagem significativa, nas palavras de Assunção e Moreira,

A estrutura cognitiva preexistente desempenha papel preponderante na resolução de problemas, ainda mais se levado em conta que a busca de solução de qualquer problema envolve uma readaptação do resíduo da experiência prévia frente às demandas da nova situação-problema. Resolver um problema pode ser encarado como um meio para promover tal aprendizagem. (2018, p. 32)

Para que haja uma aprendizagem significativa como explanada no capítulo 4 e resumida no parágrafo anterior, foi elaborado, a partir do manual proposto no produto educacional, um roteiro de laboratório aberto investigativo de grau II, para que os estudantes tivessem acesso a uma metodologia que tem como base a problematização do conhecimento científico. Como destacam Assunção e Moreira, “A resolução de problemas como estratégia metodológica de ensino contribui para a aprendizagem significativa” (2018, p. 34).

Azevedo¹⁸ salienta a importância do ensino de Física através de problemas para serem resolvidos, não na perspectiva de resolução de exercícios fechados cuja aplicação requer apenas o uso de algum modelo matemático teórico memorizado pelos estudantes sem qualquer sentido, mas, o uso de problemas que instiguem no aprendiz o desejo de se movimentar para resolver, que provoque instabilidade cognitiva e o faça agir para resolver, uma vez que a ciência praticada exige esse tipo de atitude (2004, p. 19).

Como ressalta Carvalho, deve-se procurar participar de um ensino que tenha como objetivo a integração do aprendiz com o conhecimento científico, que a autora chama de aculturação científica, isso para que os aprendizes venham a ter uma participação ativa na construção do conhecimento, permitindo que os mesmos venham a construir argumentações e cheguem a conclusões que os façam exercitar

¹⁸ Citação realizada do capítulo 2, no livro organizado por Anna Maria Pessoa de Carvalho, Ensino de Ciências. Unindo a pesquisa e a prática, da editora Cengage e cuja referência está realizada na seção de que trata a mesma.

o raciocínio, criando uma personalidade crítica diante da ciência, ao invés de transmitir um conhecimento acabado, de uma ciência fechada em seus modelos (2004, p. 3).

Na pesquisa em tela, tem-se o desenvolvimento de um laboratório aberto, tendo como base um problema que foi proposto a partir de um experimento, para isso, não só ao estudante cabe uma interação maior com a atividade, como também compete ao professor uma mudança de comportamento, uma vez que o mesmo deixa de ser o centro do conhecimento para ser um mediador dos questionamentos que surgirão, tanto por parte dele mesmo, quanto por parte dos aprendizes, para isso

o professor deve conhecer bem o assunto para poder propor questões que levem o aluno a pensar, deve ter uma atitude ativa e aberta, estar sempre atento às respostas dos alunos, valorizando as respostas certas, questionando as erradas, sem excluir do processo o aluno que errou, e sem achar que a sua resposta é a melhor, nem a única. (CARVALHO, 2004)

O elemento que serviu de liga entre a base da aprendizagem significativa e o laboratório investigativo aberto foi o experimento baseado no brinquedo, a utilização das pistas e carrinhos foi primordial como elemento que produziu o encantamento e o conseqüente interesse pela atividade proposta, como destaca Cristino, o brinquedo “desencadeia o prazer, a satisfação e o interesse e precisa fazer parte do contexto escolar”, o autor continua na demonstração da importância da ludicidade no ensino científico declarando que “A inserção de brinquedos e experimentos científicos como uma alternativa metodológica, deve levar os estudantes a descobrir a Ciência por trás dos brinquedos e experimentos” (2016, p. 27).

No tocante a diversificação dos instrumentos necessários para o desenvolvimento da aprendizagem, Moreira (2000), ao abordar tal diversidade de materiais na aprendizagem significativa crítica relata que se faz necessário a diversificação de materiais para que não haja uma centralização do conhecimento científico nos materiais didáticos adotados pelas escolas, essa diversificação servirá como meio de facilitação da aprendizagem com significado.

A metodologia aplicada foi uma intervenção pedagógica qualitativa, na perspectiva defendida por Damiani et al, “por serem realizadas sobre e com pessoas, fora do ambiente protegido de um laboratório” (2013, p.59), tendo como base a aplicação de um roteiro de laboratório investigativo aberto com o uso de um brinquedo de *Hot Wheels* para o estudo da conservação da energia. A intenção foi a de, através

da interação com os participantes, aperfeiçoar os conhecimentos acerca da energia mecânica através dos modelos teóricos e reais expostos para os estudantes, com isso, contribuir para o aprimoramento das aulas de física, unindo exposição e prática de conteúdos que podem ser vivenciados por professores nas escolas que lecionam.

Como observado na análise do questionário, a aplicação de um experimento através de brinquedos facilita a aprendizagem, não importando a idade, isso porque os brinquedos são algo lúdico, que permitem uma ampliação na capacidade cognitiva e interpretativa dos estudantes e ajudam a melhorar a atenção na proposta aplicada (CRISTINO, 2016), além disso, a própria experimentação realizada em caráter investigativo, por ser centrada no aprendiz, permite ao mesmo uma maior interação com o conhecimento.

A interação dos participantes na experimentação facilitou o processo de ensino-aprendizagem, todavia, não há qualquer intento em colocar a experimentação investigativa como a salvação do ensino de física no país, ao contrário, o que se propõe é justamente mesclar a metodologia expositiva com a experimentação problematizadora, mas não só elas, outros métodos podem e devem ser incorporados, o importante é colocar o aprendiz como o centro do processo de aprendizagem, dar-lhe mais autonomia.

Nesse processo, a aprendizagem significativa é um caminho para produzir essa autonomia, o ideal é que com a prática, o estudante evolua no grau de abertura do laboratório, segundo o que preconiza o quadro 2, até que os estudantes se sintam confortáveis em propor as hipóteses, montar seus planos de trabalho, obter os dados e tirar suas conclusões. O presente trabalho é só um dos modelos de laboratório aberto do tipo investigativo que poderá ser usado como base para esse início.

Ao analisar as respostas do questionário avaliativo verificou-se a grande dificuldade dos estudantes em transpor para o modelo real o que é ensinado nas aulas expositivas, mesmo os aprendizes que tiveram contato com o experimento demonstraram em algumas situações essa dificuldade, como foi o caso da terceira questão em que ao serem solicitados encontrar o modelo matemático que descrevesse a relação entre a altura mínima de lançamento e o raio do loop nenhum dos participantes do grupo experimental conseguiu descrever ou mesmo realizar o cálculo necessário para encontrar esse valor.

Outra questão que revelou a dificuldade dos estudantes, mesmo diante do experimento foi a quarta, em que se pede para elencar as energias constituintes da energia mecânica, pelas respostas elencadas viu-se certa confusão entre o conceito de força e energia.

O presente trabalho teve como êxito motivar os estudantes a deixar de lado a ação passiva na aprendizagem para um envolvimento com os problemas levantados na aplicação do roteiro, os participantes do grupo experimental puderam se inquietar diante dos problemas levantados a partir dos questionamentos, seja por parte do professor ou mesmo deles, algumas respostas evidenciaram essa concatenação de conhecimentos prévios com os novos conhecimentos advindos da aplicação do modelo experimental, isso produziu uma aprendizagem com significado, como destaca Moreira, uma aprendizagem com “compreensão, sentido, capacidade de transferência” (2000, p. 38).

O êxito destacado não exclui as dificuldades naturais que os estudantes têm em lidar com o conhecimento científico e que foram elencadas no presente capítulo, a pesquisa não tem como objetivo demonstrar que a aplicação de aulas experimentais de cunho investigativo irá fazer com que o aprendiz adquira o conhecimento necessário de Física para que se torne um cientista, o objetivo, como já destacado, é o de proporcionar um meio de construir seu pensamento acerca do conhecimento científico e que esse pensamento seja crítico.

Nessa perspectiva de mistura das aulas expositivas com aulas investigativas e problematizadoras, a pesquisa e o produto educacional serão agentes facilitadores no processo motivacional dos estudantes e poderão servir de base para outras que contribuam para aperfeiçoar a metodologia e o produto proposto, enfim, há o intuito de que alunos e professores venham a ser, juntos, os agentes de transformação pedagógica para que as aulas de Física deixem esse caráter estritamente expositivo em que o estudante age de maneira passiva diante do conhecimento e passe a ter uma ação mais ativa de construção do seu conhecimento juntamente com os professores.

REFERÊNCIAS

ASSUNÇÃO, Jeneffer Araújo de; MOREIRA, Marco Antônio; SAHELICES, Concesa Caballero. **Aprendizagem significativa**: resolução de problemas e implicações para aprendizagem de função. *Aprendizagem Significativa em Revista*, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 30-44, mai. 2018. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID157/v8_n2_a2018.pdf.

BORGES, Antônio Tarcísio. **Novos rumos para o laboratório escolar de ciências**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 291-303, dez. 2002. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6607>.

BRAATHEN, Per Christian. **Aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa no processo de ensino-aprendizagem de Química**. *Revista Eixo*, Brasília, v. 1, n. 1, p. 63-69, 2012. Disponível em: <http://revistaeixo.ifb.edu.br/index.php/RevistaEixo/article/view/53>.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura, República Federativa do Brasil. **Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2000.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. (Org.). **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática**. 1 ed. São Paulo: Cengage, 2004.

_____. Ensino e aprendizagem de Ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas (SEI). In: LONGHINI, M. D. (Org.). **O uno e o Diverso na Educação**. Uberlândia: EDUFU, 2011. cap. 18, p. 253-266.

_____. **Um ensino fundamentado na estrutura da construção do conhecimento científico**. *Ensino Em Re-Vista*, Uberlândia, v. 22, n. 2, p. 249-266, jul./dez. 2017. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/emrevista/article/view/34452>.

_____. **Ensino de Física**. Coleção ideias em ação. São Paulo: Cengage, 2010.

_____. **Calor e temperatura**. Um ensino por investigação. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; SASSERON, Lúcia Helena. **Ensino de física por investigação**: referencial teórico e as pesquisas sobre as sequências de ensino investigativas. *Revista Eletrônica de Psicologia e Epistemologia Genéticas*, Marília, v. 9, Edição Especial, p. 131-158, jul. 2017. Disponível em: <https://revistas.marilia.unesp.br/index.php/scheme/issue/view/430>.

CRISTINO, Cláudia Suzana. **O uso da Ludicidade no Ensino de Física**. 2016. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Departamento de Física, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais.

CUDMANI, L. Colombo; SANDOVAL, J. Salinas. **Modelo físico e realidade.** Importância epistemológica de sua adequação quantitativa. Implicações para a aprendizagem. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 8, n. 3, p. 193-204, 1991. Disponível em:
<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9237>.

DAMIANI, M. F.; ROCHEFORT, R. S.; CASTRO, R. F.; DARIZ, M. R.; PINHEIRO, S. S. **Discutindo pesquisas do tipo intervenção pedagógica.** Cadernos de Educação, Pelotas, n. 45, p. 57-67, 2013. Disponível em
<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/caduc/issue/view/289>.

DISTLER, Rafaela Regina. **Contribuições de David Ausubel para a intervenção psicopedagógica.** Revista Psicopedagógica, São Paulo, v.32, n.98, p.191-199, 2015. Disponível em:
<https://cdn.publisher.gn1.link/revistapsicopedagogia.com.br/pdf/v32n98a09.pdf>.

FERRARO, Nicolau Gilberto; RAMALHO, Francisco Júnior; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Os fundamentos da física, volume 1.** 11 ed. São Paulo: Moderna, 2015.

FEYNMAN, Richard P. **Lições de física de Feynman.** Volume 1. Mecânica, Radiação e Calor. Porto Alegre: Bookman, 2008.

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

HIGA, Ivanilda; OLIVEIRA, Odisséa Boaventura. **A experimentação nas pesquisas sobre o ensino de Física:** fundamentos epistemológicos e pedagógicos. Educar em Revista, Curitiba, v. 28, n. 44, p. 75-92, 2012. Disponível em:
<https://revistas.ufpr.br/educar/article/view/27873>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa sobre cidades,** 2010. Rio de Janeiro, 2020.

KIOURANIS, Neide Maria Michellan; SOUZA, Aguinaldo Robinson de; SANTIN, Ourides Filho. **Experimentos mentais e suas potencialidades didáticas.** Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 32, n. 1, jan.-mar. 2010. Disponível em:
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172010000100019&lng=en&nrm=iso&tlng=pt.

KITTEL, Charles; KNIGHT, W. D.; RUDERMAN, M. A. **Curso de Física de Berkeley.** Volume 1. Mecânica. Edgard Blucher, 1970.

KLAUSEN, Luciana dos Santos. **Aprendizagem significativa:** um desafio. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 13., 2017, Curitiba. Anais... Curitiba: Formação de professores: contextos, sentidos e práticas, 2017, p. 6403-6411.

LIBÂNEO, José Carlos. **Didática.** 2 ed. São Paulo: Cortez, 2013.

LONGHINI, Marcos Daniel. (Org.). **O uno e o diverso na educação**. 1 ed. Uberlândia: EDUFU, 2011.

MASSA, Mônica de Souza. **Ludicidade**: da etimologia da palavra à complexidade do conceito. Aprender, Caderno de Filosofia e Psicologia da Educação, Vitória da Conquista, ano IX, n. 15, p. 111-130, jul./dez. 2015. Disponível em: <http://periodicos2.uesb.br/index.php/aprender/issue/view/195>.

MORAES, Tatiana Schneider Vieira de; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Proposta de sequência de ensino investigativa para o 1º ano do ensino fundamental**. Revista Espaço Pedagógico, Passo Fundo, v. 25, n. 2, p. 407-437, mai. 2018. Disponível em: <http://seer.upf.br/index.php/rep/issue/view/629>.

MOREIRA, Marco Antônio. **A Teoria de aprendizagem de David Ausubel como sistema de referência para a organização de conteúdo de Física**. Revista Brasileira de Física, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 275-292. 1979.

_____. **Aprendizagem significativa crítica**. In: Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa 3., 2000, Lisboa. Atas... Lisboa. 2000. p. 33-45

_____. **Aprendizagem significativa**: um conceito subjacente. Aprendizagem Significativa em Revista, Porto Alegre, v. 1, n. 3, pp. 25-46. 2011.

MUNFORD, Danusa; LIMA, Maria Emília C. C. **Ensinar ciências por investigação**: em que estamos de acordo? Revista Ensaio, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, p. 89-111, jan.-jun. 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ensaio/article/view/9973>.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica, 1: Mecânica**. 5 ed. São Paulo: Blucher, 2013.

OLIVEIRA, Vagner; ARAÚJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. **Resolução de problemas abertos no ensino de física**: uma revisão da literatura. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 39, n. 3, p. e3402, mar. 2017. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172017000300502&lng=en&nrm=iso&tlng=pt.

PELIZZARI, Adriana et. al. **Teoria da Aprendizagem Significativa segundo Ausubel**. Rev. PEC, Curitiba, v.2, n.1, pp.37-42, jul. 2001-jul. 2002. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf>.

PONCZEK, Roberto I. Leon. Mecânica. In: ROCHA, José Fernando M. **Origens e evolução das ideias da física**. 2 ed. Salvador: EDUFBA, 2015.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências**: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

SANTOS, Aline Sandres; SILVA, Vailton Afonso da; ROCHA, Marcio Santos da. **Utilização de brinquedos para explicar as leis de newton para o primeiro ano do ensino médio**. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (X ENPEC), 10, 2015, Águas de Lindóia. Trabalhos... 2015. p. 3.

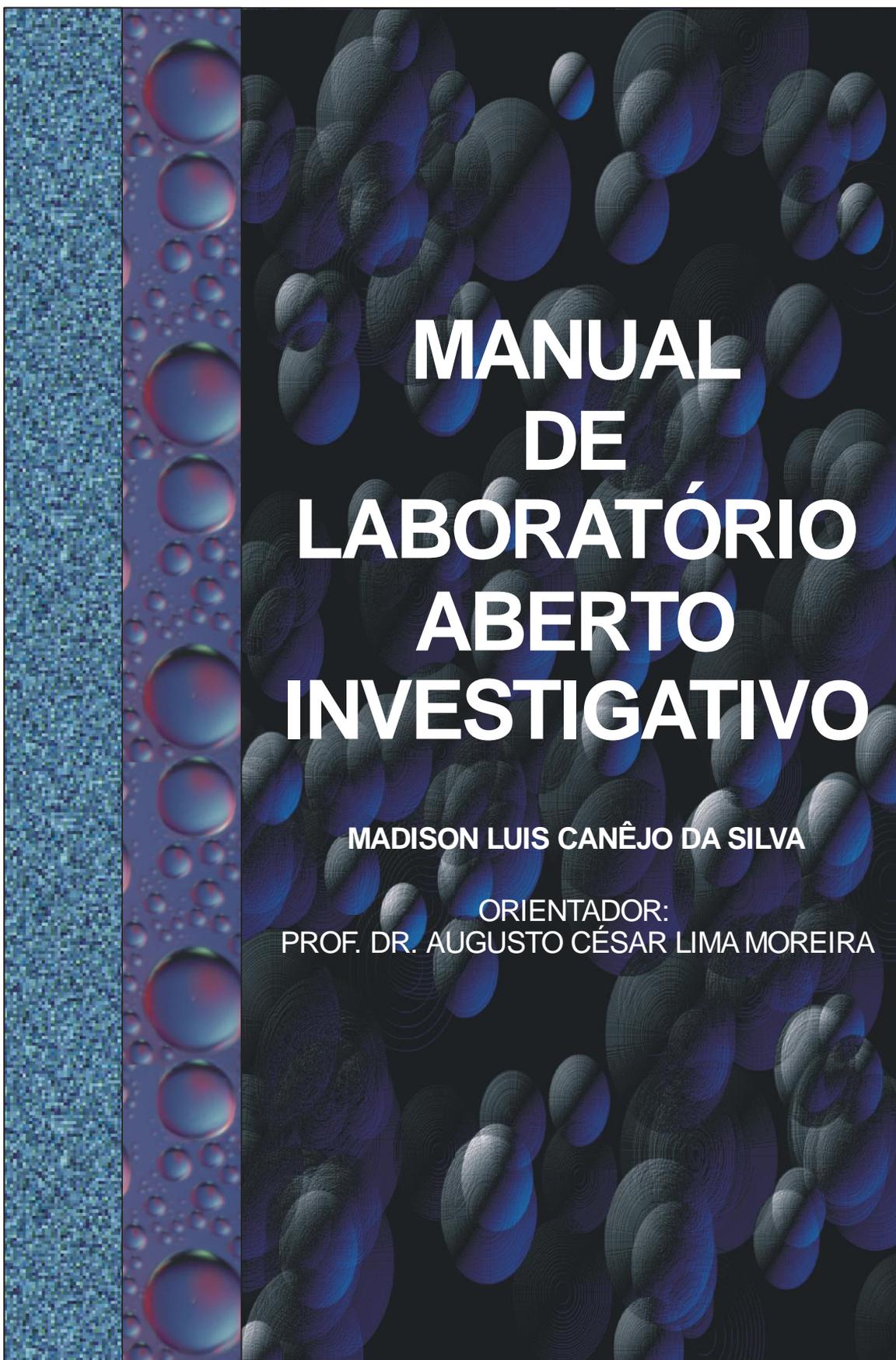
SANT'ANNA, Alexandre; NASCIMENTO, Paulo Roberto do. **A história do lúdico da educação**. Revista Eletrônica de Educação Matemática, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 19-36, mai. 2011. Disponível em <https://periodicos.ufsc.br/index.php/revemat/issue/view/1853>.

SOLINO, Ana Paula; SASSERON, Lúcia Helena. **Investigando a significação de problemas em sequências de ensino investigativa**. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 23, n. 2, pp. 104-129, ago. 2018. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/995>.

SOUZA, Vitor Ribeiro de. **Uma aula sobre energia mecânica e sua conservação através do uso de analogias**. 2015. 80 F. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Material instrucional associado à dissertação – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
SYMON, Keith R. **Mecânica**. Rio de Janeiro: Campus. 1996.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**. Volume 1. Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

VIEIRA, Daniele Marques. **A constituição do eu e o espaço pedagógico na educação infantil: formação para a docência**. In: X Congresso Nacional de Educação (Educere), nov. 2011, Curitiba.

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA**

**PRODUTO EDUCACIONAL
MANUAL PARA LABORATÓRIO ABERTO INVESTIGATIVO**

MADISON LUIS CANÊJO DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| 1. Introdução | 89 |
| 2. Apresentação | 91 |
| 3. Atividades experimentais com laboratório aberto investigativo | 93 |
| A1. A energia mecânica se conserva? Grau I | 96 |
| A1. A energia mecânica se conserva? Grau II | 100 |
| A1. A energia mecânica se conserva? Grau III | 104 |
| A2. Levando-se em consideração que no sistema real não há conservação da energia, existe alguma função linear que relacione a distância percorrida pelo carrinho e a energia dissipada? Grau I | 106 |
| A2. Levando-se em consideração que no sistema real não há conservação da energia, existe alguma função linear que relacione a distância percorrida pelo carrinho e a energia dissipada? Grau II | 112 |
| A2. Levando-se em consideração que no sistema real não há conservação da energia, existe alguma função linear que relacione a distância percorrida pelo carrinho e a energia dissipada? Grau III | 118 |
| A3. Qual será a altura mínima para que o carrinho consiga executar o loop? Grau I | 120 |
| A3. Qual será a altura mínima para que o carrinho consiga executar o loop? Grau II | 124 |
| A3. Qual será a altura mínima para que o carrinho consiga executar o loop? Grau III | 128 |
| Referências Bibliográficas | 130 |

1 INTRODUÇÃO

Como evidenciado na dissertação, o processo de ensino e aprendizagem das disciplinas que compõem as ciências naturais, mais especificamente a física, nas escolas de educação básica é, em geral, excessivamente voltado para a aplicação de modelos teóricos matematizados e realizados de maneira expositiva, com isso, como destacam Munford e Lima

de um modo geral, o ensino de ciências tem se realizado por meio de proposições científicas, apresentadas na forma de definições, leis e princípios e tomados como verdades de fato, sem maior problematização e sem que se promova um diálogo mais estreito entre teorias e evidências do mundo real. Em tal modelo de ensino, poucas são as oportunidades de se realizar investigações e de argumentar acerca dos temas e fenômenos em estudo. O resultado é que estudantes não aprendem conteúdos das Ciências e constroem representações inadequadas sobre a ciência como empreendimento cultural e social. (2007, p.90)

Urge uma mudança no paradigma de ensino de física e a presente obra é um dos muitos trabalhos acadêmicos que têm por objetivo auxiliar nesse processo de mudança. Tendo sua fundamentação teórica embasada na aprendizagem significativa, de David Ausubel, teoria construtivista que tem como base o conhecimento prévio do aprendiz, ou seja, as experiências armazenadas na sua estrutura cognitiva, daí, todo novo conhecimento se relacionará de maneira não arbitrária e substantiva com esse conhecimento prévio (MOREIRA, 2011). Para que a aprendizagem seja significativa, nas palavras de Pelizzari et al., faz-se necessário que o estudante esteja disposto a aprender e para isso, o que será ensinado precisa ser significativo (2002, p.38), isso para que haja essa interação entre o que de novo será conhecido com o que já se conhece previamente, produzindo o conhecimento significativo.

A ferramenta utilizada para produzir a aprendizagem significativa foi o ensino de física por investigação através do laboratório aberto. Como destaca Carvalho, para alfabetizar os estudantes cientificamente, ou seja, não só produzir conhecimentos operacionais pelo formalismo da matemática, gerando meramente conhecimentos literais e não substantivos deve-se preparar os

jovens para uma participação ativa na sociedade, deve procurar desenvolver novas visões de mundo por parte dos estudantes, considerando o

entrelaçamento entre estas e conhecimentos anteriores. No caso da aprendizagem de Física, isto significa, sobretudo, a aquisição pelos alunos de novas práticas e linguagem, sem deixar de relacioná-las com as linguagens e práticas do cotidiano. A aprendizagem como enculturação ou alfabetização científica traz um novo olhar sobre os conteúdos e atividades trabalhados nas aulas de Física, abrangendo aspectos diversos da construção dos conhecimentos científicos, desde seu caráter de produção humana até a importância dos símbolos na construção dos conceitos científicos. (Carvalho, 2010 apud Capecchi e Carvalho, 2006, p. 57)

Para isso, o professor é peça fundamental na aplicação dessa metodologia, isso porque, deverá haver uma mudança de atitude didática para que o aprendiz assuma um papel mais ativo, deixando de ser apenas um observador e absorvedor de conhecimento e passe a ter, segundo Azevedo¹, um papel de argumentação, para isso, precisará interferir, questionar, fazer parte da construção de seu conhecimento (2004, p.25).

Nesse aspecto, o professor será o mediador das discussões que irão surgir na ação de investigação, deverá também propor novos questionamentos para que os aprendizes venham a se manter na linha proposta pelo conhecimento, ou seja, deverá ser o guia que ajudará ao aprendiz a trilhar o caminho do conhecimento científico, para produzir esse conhecimento com significado, foi utilizado o brinquedo de *Hot Wheels*, isso porque, em muitos casos, é um brinquedo de baixo custo e acessível, além de que, provoca uma ação de atenção por parte dos aprendizes ao lidar com os brinquedos.

Vale salientar também que o brinquedo de *Hot Wheels* tem uma vasta série de pistas, carrinhos com temas dos mais variados, isso faz com que, na perspectiva da mecânica clássica, se possa extrair das pistas de *Hot Wheels*, em termos de conteúdos a serem trabalhados em sala de aula, temas inesgotáveis, apenas no estudo da conservação da energia mecânica, há pistas com lançadores elásticos que podem ensejar estudos de energia potencial elástica, colisões, há potencializadores de velocidade, há lançadores onde se é necessário aplicar apenas força externa, tudo isso pode produzir estudos com aceleração, lançamento oblíquo, lançamento horizontal, há pistas que relacionam energia térmica da água com a mudança de cor do carrinho.

O *Hot Wheels* é uma extensa plataforma de estudos para laboratório investigativo. O que a pesquisa e o produto fizeram foi apenas utilizar uma dessas

¹ A citação faz parte do livro Ensino de Ciências – Unindo a pesquisa e a prática, organizado por Anna Maria Pessoa de Carvalho, da editora Cengage Learning.

ferramentas para aplicar didaticamente, cabe ao professor conduzir os estudantes nessa caminhada pela aprendizagem significativa através das pistas de *Hot Wheels*. Atente-se para o fato também, como já comentado anteriormente, que o brinquedo passa a funcionar como um laboratório de baixo custo, comparado com os laboratórios tradicionais que algumas escolas montam e que, por serem muito caros, acabam sendo inviabilizados em escolas sem condições financeiras para isso.

2 APRESENTAÇÃO

A aplicação de estudos através de laboratórios estruturados no ensino de Física é, em muitos casos, inviável nas escolas de educação básica, tanto porque é um investimento muitas vezes dispendioso para a instituição, quanto ao fato de que muitos professores acabam se acomodando em aulas expositivas com o objetivo de aprovar os estudantes nas avaliações de aceitação nos cursos de nível superior. Borges destaca também a “falta de recursos para compra de componentes e materiais de reposição; falta de tempo do professor para planejar a realização de atividades como parte do seu programa de ensino; laboratório fechado e sem manutenção” (2002, p. 294).

Muitas são as pesquisas que trazem uma nova maneira de aplicar aulas práticas no ensino de Física, uma delas é o laboratório aberto investigativo que, segundo Azevedo² (2004), a prática desse tipo de laboratório tem como intenção a solução de uma questão problemática que será solucionada a partir da experimentação. Para isso, Azevedo³ (2004) elenca seis momentos em que essa atividade pode ser dividida e que estão elencados no tópico da pesquisa que trata sobre o ensino por investigação, mas que, de maneira resumida será destacado.

- a) Proposição do problema: aqui, uma pergunta que estimule a curiosidade deve ser formulada;
- b) Levantamento de hipóteses: através de debate os estudantes devem levantar hipóteses para a solução do problema;

² A citação faz parte do livro Ensino de Ciências – Unindo a pesquisa e a prática, organizado por Anna Maria Pessoa de Carvalho, da editora Cengage Learning..

³ *Ibidem*.

- c) Elaboração do plano de trabalho: é a fase de discussão sobre como o experimento será realizado;
- d) Montagem do arranjo experimental e coleta de dados: é a parte prática da experimentação, momento de manipulação dos materiais envolvidos no experimento.
- e) Análise dos dados: aqui se obtém as informações sobre a questão levantada em forma de problema;
- f) Conclusão: momento de fornecer a resposta ao problema em que as hipóteses são ou não validadas.

Ao se incrementar a aplicação com o uso de brinquedos, como proposto na pesquisa, tem-se a potencialização do envolvimento dos aprendizes, como bem destaca Pimentel, “O ato de brincar propicia aprendizados. Na brincadeira, o indivíduo vivencia regras sociais, éticas e das ciências naturais. Interage com leis, conceitos e fenômenos físicos” (2007, p. 31)

Baseando-se nessa divisão é proposto um manual com três atividades em que, para cada uma delas, serão abordados roteiros considerando os três primeiros graus de abertura de um laboratório aberto, como demonstrado no quadro 2 da pesquisa e transcrito de forma resumida no quadro 5 logo abaixo.

Para os modelos expostos no manual apresentado, o interessante é fazer uso de uma câmera de qualquer celular para realizar a filmagem do evento, com o vídeo pronto, utilizar o *software Tracker*⁴ para realizar o *trackeamento* do movimento e com os dados fornecidos pelo software, comparar com o modelo teórico. Tanto o software Tracker quanto o brinquedo são ferramentas de implementação do laboratório investigativo, utilizados para envolver os estudantes no labor científico de questionar e procurar respostas, para isso, o processo de abertura do laboratório é importante, porque poderá incentivar os aprendizes desde o grau de abertura mais simples, onde ao aluno compete apenas a coleta de dados, até o grau em que a eles caberá toda a execução do processo.

⁴ Para o download gratuito do software acessar: <https://physlets.org/tracker/> (acesso em 03/10/2020 às 18:48 h), para uma explicação de uso do software acessar: <http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/lab/tracker.html> (acesso em 03/10/2020 às 18:49 h)

3 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS COM LABORATÓRIO ABERTO INVESTIGATIVO

Como classificado por Carvalho (2010, p.54-56), um laboratório investigativo poderá ter vários graus de abertura, desde o grau inicial em que ao estudante compete apenas coletar os dados, até o grau em que propõe o problema, as hipóteses, o plano de trabalho, a obtenção dos dados e a conclusão. Considerando-se uma realidade escolar em que os aprendizes necessitam de uma experiência elevada para aplicar o último grau, o manual sugerirá atividades que vislumbrem os três primeiros graus de abertura para que os professores utilizem desde o momento em tenha início as atividades investigativas, em que os estudantes têm pouca ou nenhuma experiência até o ponto em que os mesmos já consigam desenvolver desde os planos de trabalhos experimentais até chegar as conclusões acerca do problema proposto.

Quadro 4. Graus de liberdade de professor (P) e alunos (A) em atividades experimentais.

| | Grau I | Grau II | Grau III |
|-------------------|--------|---------|----------|
| Problema | P | P | P |
| Hipóteses | P | P | P |
| Plano de Trabalho | P | P | A |
| Obtenção de dados | A | A | A |
| Conclusões | P | A | A |

Fonte: Livro Ensino de Física, Coleção Ideias em Ação. Editora Cengage Learning. (2018, p.55)

Uma explanação resumida acerca dos graus de liberdade segue abaixo.

- a) Grau I: o aprendiz tem a liberdade de coletar os dados do experimento, útil para quando os participantes não têm experiência com práticas de laboratório.
- b) Grau II: além de da coleta de dados, os participantes têm a liberdade para chegar a conclusões a partir dos dados.

- c) Grau III: aqui, os aprendizes já traçam o plano de trabalho de execução do experimento, bem como coletam os dados e chegam as devidas conclusões.

Como se pode observar, alguns fatores fazem do laboratório aberto um excelente recurso pedagógico para aproximar os estudantes da ciência. Um desses recursos é o fato de poder aplica-lo em sala de aula com diversos grupos de estudantes, com a resolução de problemas, não na perspectiva de questões fechadas para aplicação de métodos matemáticos, mas um problema aberto. Sendo assim, os participantes serão motivados a se engajarem na busca das soluções. Há ainda a formação de uma consciência crítica diante dos fenômenos estudados, outro fator é que os professores não precisarão de laboratórios equipados para sua aplicação, como destaca Azevedo

Podemos perceber que, no ensino por investigação, a tônica da resolução de problemas está na participação dos alunos e, para isso, o aluno deve sair de uma postura passiva e aprender a pensar, elaborando raciocínios, verbalizando, escrevendo, trocando ideias, justificando suas ideias. Por outro lado, o professor deve conhecer bem o assunto para poder propor questões que levem o aluno a pensar, deve ter uma atitude ativa e aberta, estar sempre atento às respostas dos alunos, valorizando as respostas certas, questionando as erradas, sem excluir do processo o aluno que errou, e sem achar que a sua resposta é a melhor, nem a única. (2004, p. 32)

Como se observa, o papel do professor é importante nesse processo, ele deverá ter uma atitude de guia, de mediador, para que os aprendizes possam aprender a caminhar com as próprias pernas, isto é, com as próprias mentes.

É pensando nesse papel de agente facilitador do conhecimento, que o presente produto educacional propõe três atividades classificadas em atividade 1, que será denominada A1; atividade 2, denominada A2 e atividade 3, denominada A3. Para cada uma dessas atividades serão abordados os graus de liberdade discriminados no quadro 5 acima. Tais propostas são formuladas a partir da pergunta problema, são todas distintas e correlacionadas e envolvem o tema trabalhado na pesquisa.

Diante do que será proposto nos roteiros que seguem, destaque-se o fato de que o laboratório de grau I tem um roteiro de aplicação mais rápido, isso se dá porque nesse grau de abertura competirá aos estudantes apenas a coleta de dados, as conclusões ficam a cargo do professor. No laboratório de grau II, já se tem uma complexidade a mais porque cabe aos participantes um debate acerca dos dados

levantados, isso irá demandar um tempo maior e também uma maior habilidade do professor em mediar esse debate. O laboratório de grau III exigirá um tempo maior ainda porque nele os aprendizes terão a responsabilidade de propor, desde o experimento a ser utilizado até as conclusões finais. Sugere-se para o grau de abertura III a aplicação como um projeto de bimestre ou trimestre (dependendo de como transcorre o ano letivo do colégio).

A proposta do manual é que o professor escolha um dos graus de abertura do roteiro e aplique na escola baseado na experiência dos estudantes em manusear experimentos, como se poderá observar no manual propriamente dito e apresentado a seguir, são nove roteiros levando-se em consideração uma pergunta problema e os graus de liberdade do laboratório aberto, por isso, analise cada roteiro de antemão e escolha o que melhor se adapte a sua realidade.

A1. A ENERGIA MECÂNICA SE CONSERVA?

GRAU I

Problema:

A energia mecânica do sistema se conservará?



Hipótese:



A energia mecânica não se conserva.

Plano de trabalho e obtenção dos dados:

Segue um quadro com os materiais que serão utilizados na atividade



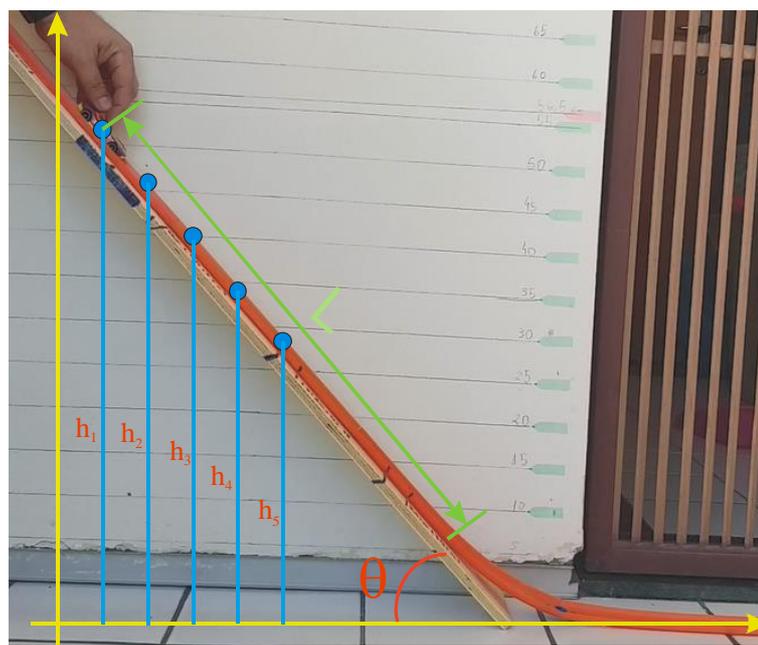
Quadro 5. Descrição dos materiais utilizados no experimento.

| |
|--|
| Pistas do brinquedo <i>Hot Wheels</i> . Para essa atividade foram utilizadas 4 pistas com 30 cm de comprimento cada uma. |
| Carrinho de <i>Hot Wheels</i> . |
| Base de madeira para dirimir as perdas de energia por oscilação das pistas. |
| Cola rápida para madeira ou fita dupla face. |
| Câmera para filmagem. |

Fonte: Autor do produto.

A montagem deverá seguir como o esquematizado na figura 32 abaixo:

Figura 32. Esquema de montagem experimental.



Fonte: Autor do produto.

Segundo a montagem esquematizada na figura 32, com uma trena, medir a altura em que o carrinho irá ser abandonado e realizar os cálculos teóricos da conservação da energia mecânica.

Pelo modelo teórico descrito por Nussenzveig (2013, p. 136-140), o carrinho de massa m ao ser abandonado, descerá pelo plano de comprimento L e inclinação θ , para um sistema ideal o atrito é desprezível, com isso

$$a = g \operatorname{sen} \theta \quad (45)$$

A velocidade em qualquer ponto abaixo da altura de abandono será então descrita por

$$v_p^2 = v_0^2 + 2aL = v_0^2 + 2gL \operatorname{sen} \theta \quad (46)$$

Como a velocidade inicial é zero e $\operatorname{sen} \theta = \frac{\Delta h}{L}$, em que h é a altura em que o carrinho é abandonado e L é o comprimento do trajeto desenvolvido pelo carrinho e adotando-se o referencial na base do plano inclinado, tem-se que $\Delta h = y_0 - y$.

$$v_p^2 = 2g(y_0 - y) \quad (47)$$

Levando-se em consideração que no modelo teórico a energia mecânica se conserva, o parâmetro necessário para o cálculo da energia cinética na base do plano inclinado pode ser verificado na equação (48). A partir desse modelo pode-se observar se a mesma se conserva ou não entre o topo e a base.

$$E_{mec} = [mgh]_{topo} = \left[\frac{mv_p^2}{2} \right]_{base} \quad (48)$$

Para qualquer ponto acima da base

$$E_{mec} = [mgy]_{topo} = \left[mgy + \frac{mv_p^2}{2} \right]_{y_{analisado}} \quad (49)$$

Levando-se em consideração as equações trabalhadas e realizados os cálculos teóricos da energia mecânica no topo do plano inclinado e na sua base, preencher o quadro 6, em seguida, colocar a câmera em uma posição que consiga filmar o abandono do carrinho e proceder com o abandono e a filmagem do evento.

Quadro 6. Medidas teóricas de energia potencial gravitacional no topo e da energia cinética na base do plano inclinado

| Grandezas | Lançam. 1 | Lançam. 2 | Lançam. 3 | Lançam. 4 | Lançam. 5 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| y | | | | | |
| $U_{g_{topo}}$ | | | | | |
| K_{base} | | | | | |

Fonte: O Autor (2020)

Com software *Tracker*⁵, realizar o *trackamento* do movimento e com os dados fornecidos pelo software, comparar com o modelo teórico para verificar se houve ou não conservação da energia mecânica. Anotar as informações no quadro 7.

⁵ Para o download gratuito do software Tracker, acessar: <https://physlets.org/tracker/> (acesso em 03/10/2020 às 18:48 h), para uma explicação de uso do software acessar: <http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/lab/tracker.html> (acesso em 03/10/2020 às 18:49 h)

Quadro 7. Medidas extraídas do *software Tracker* da energia potencial gravitacional no topo e da energia cinética na base do plano inclinado.

| Grandezas | Lançam. 1 | Lançam. 2 | Lançam. 3 | Lançam. 4 | Lançam. 5 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| y | | | | | |
| $U_{g_{topo}}$ | | | | | |
| K_{base} | | | | | |

Fonte: O Autor (2020)

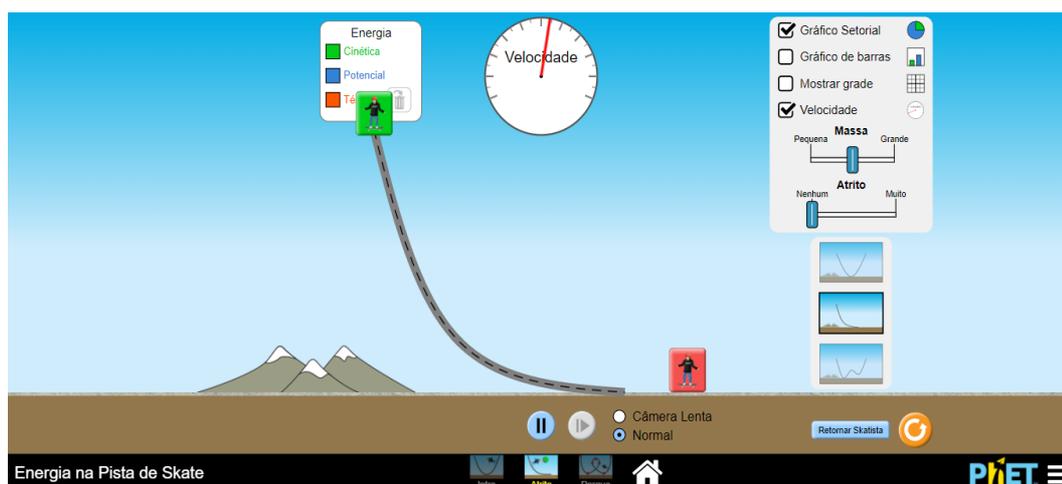
Conclusão:

A partir da comparação entre os quadros 6 e 7, verifica-se que devido as dissipações de energia durante a descida do carrinho, a energia mecânica não irá ser conservada.

Atividade extra:

Com as informações coletadas nos quadros 6 e 7 comparar com o modelo proposto no simulador de energia utilizando uma pista de skate, proposto pela da Universidade do Colorado, o *Phet*⁶.

Figura 33. Simulador Phet.



Fonte: Site de simulação do Phet, pertencente a Universidade do Colorado.

⁶ O simulador poderá ser encontrado no site: https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-skate-park-basics/latest/energy-skate-park-basics_pt_BR.html. Acesso em 11/10/2020 às 16:29 h.

A1. A ENERGIA MECÂNICA SE CONSERVA?

GRAU II

Problema:

A energia mecânica do sistema se conservará?



Hipótese:



A energia mecânica se conserva.

Plano de trabalho e obtenção dos dados:

Segue um quadro com os materiais que serão utilizados na atividade.



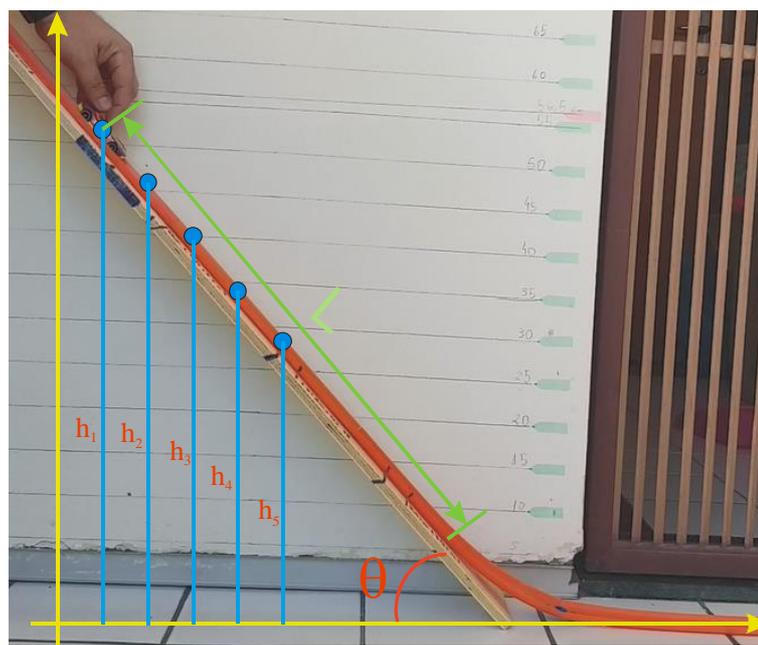
Quadro 8. Descrição dos materiais utilizados no experimento

| |
|--|
| Pistas do brinquedo <i>Hot Wheels</i> . Para essa atividade foram utilizadas 4 pistas com 30 cm de comprimento cada uma. |
| Carrinho de <i>Hot Wheels</i> . |
| Base de madeira para dirimir as perdas de energia por oscilação das pistas. |
| Cola rápida para madeira ou fita dupla face. |
| Câmera para filmagem. |

Fonte: O Autor (2020)

A montagem deverá seguir como o esquematizado na figura 34 abaixo:

Figura 34. Esquema de montagem experimental.



Fonte: Autor do produto.

Segundo a montagem esquematizada na figura 34, com uma trena, medir a altura em que o carrinho irá ser abandonado e realizar os cálculos teóricos da conservação da energia mecânica.

Pelo modelo teórico descrito por Nussenzveig (2013, pp. 136-140), o carrinho de massa m ao ser abandonado, descerá pelo plano de comprimento L e inclinação θ , para um sistema ideal o atrito é desprezível, com isso

$$a = g \operatorname{sen} \theta \quad (50)$$

A velocidade em qualquer ponto abaixo da altura de abandono será então descrita por

$$v_p^2 = v_0^2 + 2aL = v_0^2 + 2gL \operatorname{sen} \theta \quad (51)$$

Como a velocidade inicial é zero e $\operatorname{sen} \theta = \frac{\Delta h}{L}$, em que h é a altura em que o carrinho é abandonado e L é o comprimento do trajeto desenvolvido pelo carrinho e adotando-se o referencial na base do plano inclinado, tem-se que $\Delta h = y_0 - y$.

$$v_p^2 = 2g(y_0 - y) \quad (52)$$

Levando-se em consideração que no modelo teórico a energia mecânica se conserva, o parâmetro necessário para o cálculo da energia cinética na base do plano inclinado pode ser verificado na equação (53). A partir desse modelo pode-se observar se a mesma se conserva ou não entre o topo e a base.

$$E_{mec} = [mgh]_{topo} = \left[\frac{mv_p^2}{2} \right]_{base} \quad (53)$$

Para qualquer ponto acima da base

$$E_{mec} = [mgy]_{topo} = \left[mgy + \frac{mv_p^2}{2} \right]_{y_{analisado}} \quad (54)$$

Levando-se em consideração as equações trabalhadas e realizados os cálculos teóricos da energia mecânica no topo do plano inclinado e na sua base, preencher o quadro 9, em seguida, colocar a câmera em uma posição que consiga filmar o abandono do carrinho e proceder com o abandono e a filmagem do evento.

Quadro 9. Medidas teóricas de energia potencial gravitacional no topo e da energia cinética na base do plano inclinado

| Grandezas | Lançam. 1 | Lançam. 2 | Lançam. 3 | Lançam. 4 | Lançam. 5 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| y | | | | | |
| $U_{g_{topo}}$ | | | | | |
| K_{base} | | | | | |

Fonte: O Autor (2020)

Com software *Tracker*⁷, realizar o *trackamento* do movimento e com os dados fornecidos pelo software, comparar com o modelo teórico para verificar se houve ou não conservação da energia mecânica. Anotar as informações no quadro 10.

⁷ Para o download gratuito do software Tracker, acessar: <https://physlets.org/tracker/> (acesso em 03/10/2020 às 18:48 h), para uma explicação de uso do software acessar: <http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/lab/tracker.html> (acesso em 03/10/2020 às 18:49 h)

Quadro 10. Medidas extraídas do *software Tracker* da energia potencial gravitacional no topo e da energia cinética na base do plano inclinado.

| Grandezas | Lançam. 1 | Lançam. 2 | Lançam. 3 | Lançam. 4 | Lançam. 5 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| y | | | | | |
| $U_{g_{topo}}$ | | | | | |
| K_{base} | | | | | |

Fonte: O Autor (2020)

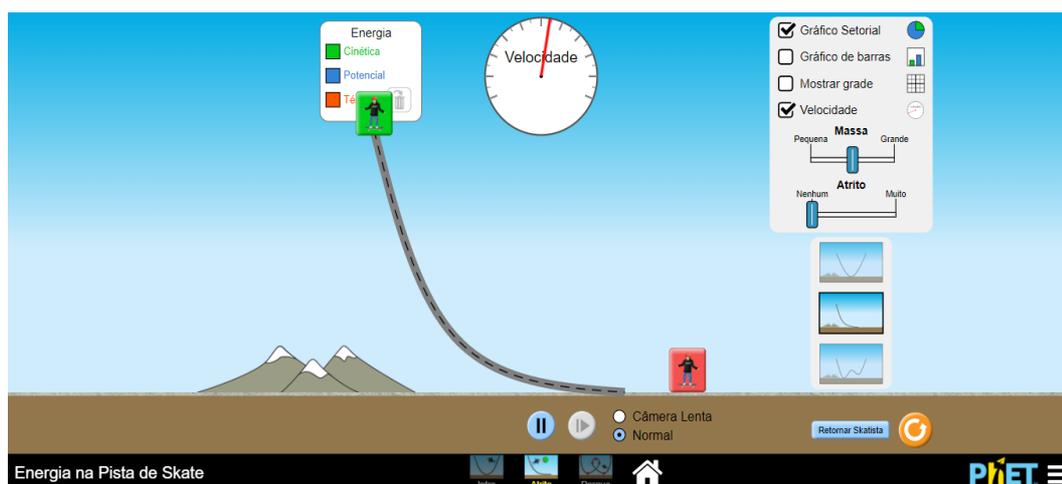
Conclusão:

A partir da comparação entre os quadros 9 e 10, quais conclusões os estudantes podem obter?

Atividade extra:

Com as informações coletadas nos quadros 9 e 10, comparar com o modelo proposto no simulador de energia utilizando uma pista de skate, proposto pela da Universidade do Colorado, o *Phet*⁸.

Figura 35. Simulador Phet.



Fonte: Site de simulação do Phet, pertencente a Universidade do Colorado.

⁸ O simulador poderá ser encontrado no site: https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-skate-park-basics/latest/energy-skate-park-basics_pt_BR.html. Acesso em 11/10/2020 às 16:29 h.

A1. A ENERGIA MECÂNICA SE CONSERVA?

GRAU III

Problema:

A energia mecânica do sistema se conservará?



Hipótese:



A energia mecânica se conserva.

Plano de trabalho e obtenção dos dados:

Com as pistas e o carrinho de Hot Wheels monte um experimento para verificar a conservação ou não da energia mecânica.

Dicas:

1. Os brinquedos de Hot Wheels possuem uma gama muito grande de pistas, lançadores e carrinhos que poderão ser utilizados para experimentos de mecânica clássica, o professor poderá usar outros modelos de pista de Hot Wheels para aplicar essa atividade.
2. O *software Tracker*⁹ é uma poderosa ferramenta para auxiliar professores e estudantes no trabalho experimental.
3. Utilize as equações abordadas nos materiais didáticos vivenciado nas escolas de educação básica.



⁹ Para o download gratuito do software Tracker, acessar: <https://physlets.org/tracker/> (acesso em 03/10/2020 às 18:48 h), para uma explicação de uso do software acessar: <http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/lab/tracker.html> (acesso em 03/10/2020 às 18:49 h)

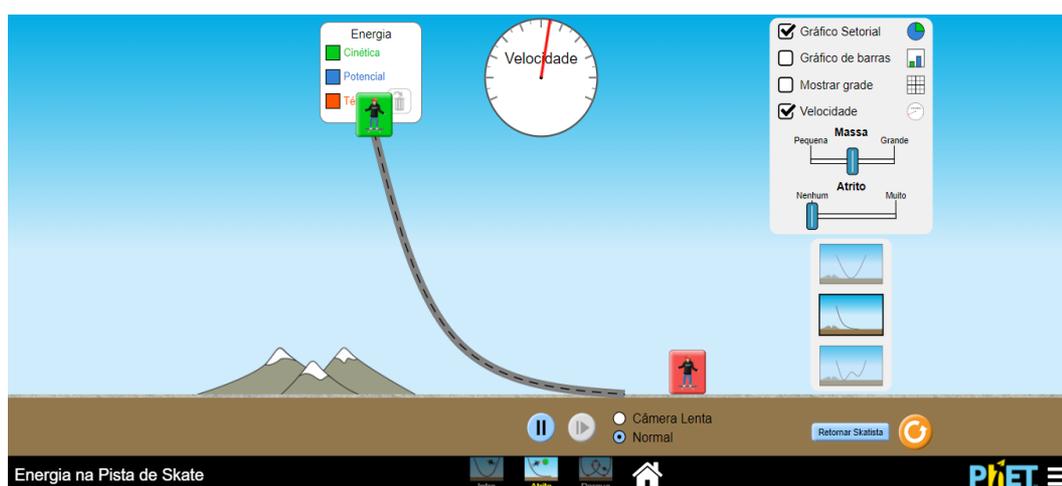
Conclusão:

A partir da montagem experimental e de coleta de dados, a energia mecânica será ou não conservada?

Atividade extra:

Com as informações coletadas, comparar com o modelo proposto no simulador de energia utilizando uma pista de skate, proposto pela da Universidade do Colorado, o *Phet*¹⁰.

Figura 36. Simulador Phet.



Fonte: Site de simulação do Phet, pertencente a Universidade do Colorado.

¹⁰ O simulador poderá ser encontrado no site: https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-skate-park-basics/latest/energy-skate-park-basics_pt_BR.html. Acesso em 11/10/2020 às 16:29 h.

A2. LEVANDO-SE EM CONSIDERAÇÃO QUE NO SISTEMA REAL NÃO HÁ CONSERVAÇÃO DA ENERGIA, EXISTE ALGUMA FUNÇÃO LINEAR QUE RELACIONE A DISTÂNCIA PERCORRIDA PELO CARRINHO E A ENERGIA DISSIPADA?

GRAU I

Problema:

Existe alguma função de relação entre a distância percorrida pelo carrinho e a energia dissipada?



Hipótese:



Existe uma relação linear.

Plano de trabalho e obtenção dos dados:

Segue um quadro com os materiais que serão utilizados na atividade.



Quadro 11. Descrição dos materiais utilizados no experimento

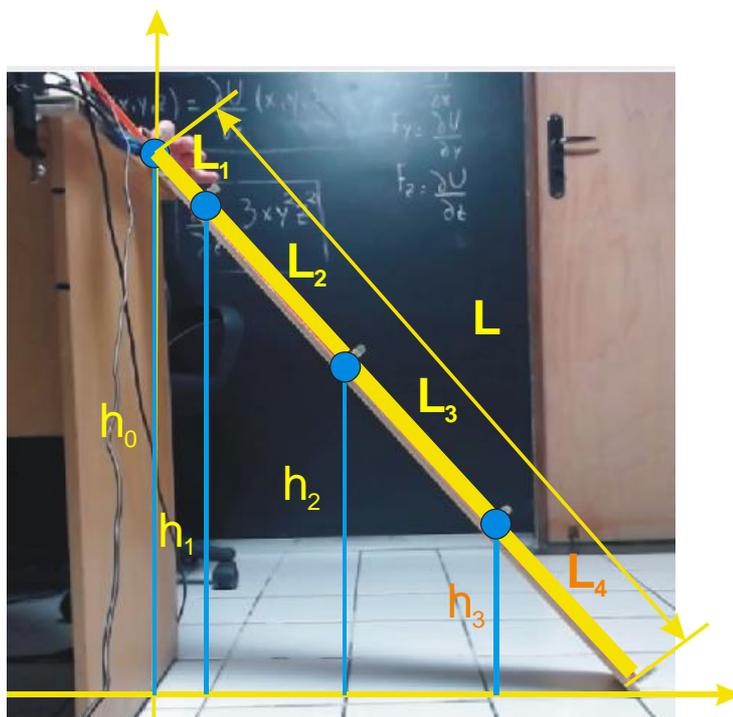
| |
|--|
| Pistas do brinquedo <i>Hot Wheels</i> . Para essa atividade foram utilizadas 4 pistas com 30 cm de comprimento cada uma. |
| Carrinho de <i>Hot Wheels</i> . |
| Base de madeira de no mínimo 120 cm para dirimir as perdas de energia por oscilação das pistas. |
| Cola rápida para madeira ou fita dupla face. |
| Câmera para filmagem. |
| Caneta para quadro branco ou lápis hidrocor |
| <i>Software Tracker</i> ¹¹ |
| <i>Software Excel</i> |
| Câmera (celular, <i>webcam</i> , etc.) |
| Fitas de marcação |

Fonte: O Autor (2020)

A montagem deverá seguir como o esquematizado na figura 37 abaixo:

¹¹ Para o download gratuito do software Tracker, acessar: <https://physlets.org/tracker/> (acesso em 03/10/2020 às 18:48 h), para uma explicação de uso do software acessar: <http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/lab/tracker.html> (acesso em 03/10/2020 às 18:49 h)

Figura 37. Esquema de montagem experimental.



Fonte: Autor do produto.

Segundo a montagem esquematizada na figura 37, gravar, com uma câmera a descida do carrinho pelo plano inclinado, em seguida, abrir o vídeo no *software Tracker* e *trackear* todo o movimento, com as informações da posição L , da energia potencial gravitacional e da energia cinética, para que com ambas se possa obter o valor da energia mecânica nos pontos destacados, a partir do *software Excel*, construir o gráfico e obter a equação linear da reta.

Pelo modelo teórico descrito por Nussenzveig (2013, p. 136-140), o carrinho de massa m ao ser abandonado, descera pelo plano de comprimento L e inclinação θ , para um sistema ideal o atrito é desprezível, com isso

$$a = g \operatorname{sen} \theta \quad (55)$$

A velocidade em qualquer ponto abaixo da altura de abandono será então descrita por

$$v_p^2 = v_0^2 + 2aL = v_0^2 + 2gL \operatorname{sen} \theta \quad (56)$$

Como a velocidade inicial é zero e $\text{sen}\theta = \frac{\Delta h}{L}$, em que h é a altura em que o carrinho é abandonado e L é o comprimento do trajeto desenvolvido pelo carrinho e adotando-se o referencial na base do plano inclinado, tem-se que $\Delta h = y_0 - y$.

$$v_p^2 = 2g(y_0 - y) \quad (57)$$

Levando-se em consideração que no modelo teórico a energia mecânica se conserva, o parâmetro necessário para o cálculo da energia cinética em qualquer ponto do plano inclinado pode ser verificado na equação (58). A partir desse modelo pode-se observar se a mesma se conserva ou não entre o topo e a base.

$$E_{mec} = [mgy]_{topo} = \left[mgy + \frac{mv_p^2}{2} \right]_{y_{analisado}} \quad (58)$$

Para se trabalhar o modelo matemático de construção da equação linear, deve-se observar o que ensina Stewart (2006, p. 25-29), ou seja, ao afirmar que uma grandeza y é uma função linear de x , o que se deseja destacar é que o gráfico dessa função é uma reta, com isso, usa-se “a forma inclinação-intercepto da equação de uma reta para escrever uma fórmula para a função” (STEWART, 2006)

$$y = f(x) = ax + b \quad (59)$$

Em que a é o coeficiente angular da reta e b é o ponto de intercepto no eixo y . Uma característica interessante desse tipo de função é que a mesma tem variação constante. Com as informações do comprimento percorrido pelo carrinho (L_1, L_2, L_3 e L_4) e a energia dissipada nesses comprimentos ($E_{d_1}, E_{d_2}, E_{d_3}, E_{d_4}$), poder-se-á construir a função linear, para isso, deve-se levar em consideração o que preconiza Nussenzveig (2013, pp. 179-181) e que foi detalhado no corpo da dissertação, especificamente no tópico 6.2.4 e que será resumido em seguida.

Num movimento em que existam forças conservativas e não conservativas, a força resultante \vec{F}_{res} será.

$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_{conservativa} + \vec{F}_{n\tilde{a}o-conservativa} \quad (60)$$

Pelo teorema do trabalho e da energia cinética sabe-se que.

$$\int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}_{(C)} = \frac{1}{2}m(v_{2x}^2 + v_{2y}^2 + v_{2z}^2) - \frac{1}{2}m(v_{1x}^2 + v_{1y}^2 + v_{1z}^2) = W_{P_1 \rightarrow P_2} \quad (61)$$

Com o teorema da equação (61), observa-se que o trabalho resultante é o descrito pelas forças conservativas e não conservativas.

$$\Delta K = W_{P_1 \rightarrow P_2} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_{conservativa} \cdot d\vec{l} + \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_{n\tilde{a}o-conservativa} \cdot d\vec{l} \quad (62)$$

Para as forças conservativas, tem-se que.

$$W_{P_1 \rightarrow P_2}^{(C)} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}_{(C)} = -[U(P_2) - U(P_1)] = -(U_2 - U_1) = -\Delta U \quad (63)$$

$$\Delta K = U_{P_1} - U_{P_2} + W_{n\tilde{a}o-conservativo} \quad (64)$$

$$K_{P_2} - K_{P_1} - U_{P_1} + U_{P_2} = W_{n\tilde{a}o-conservativo} \quad (65)$$

$$K_{P_2} + U_{P_2} - (K_{P_1} + U_{P_1}) = W_{n\tilde{a}o-conservativo} \quad (66)$$

Como observado até aqui, com as informações de energias potencial gravitacional e cinética para os comprimentos L escolhidos, todas as informações obtidas com o *software Tracker*, calcular, levando em consideração a equação (66), as energias dissipadas para os referidos pontos e colocar no quadro 12.

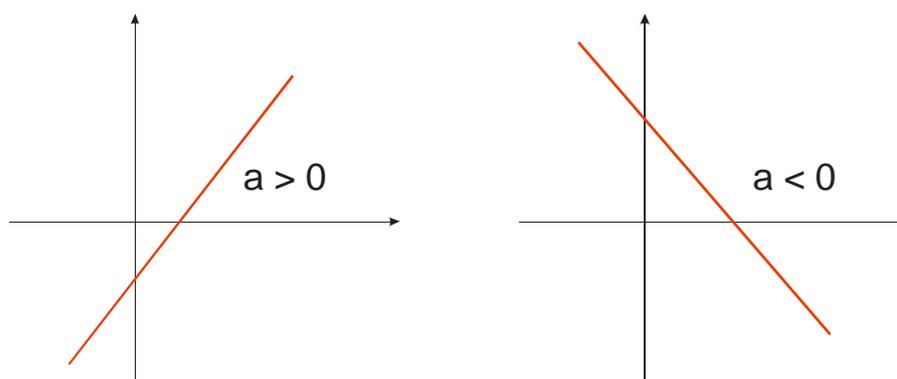
Quadro 12. Medidas dos comprimentos e da dissipação de energia em cada comprimento

| Grandezas | L_1 | L_2 | L_3 | L_4 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| E_d | | | | |

Fonte: O Autor (2020)

Com os dados do quadro 12, construir o gráfico linear do comprimento percorrido pelo carrinho com a dissipação de energia, em seguida, com as informações da equação (59) encontrar os valores dos coeficientes angular e linear da função. O gráfico, poderá assumir os formatos demonstrados na figura 38.

Figura 38. Modelos de gráficos de funções lineares.



Fonte: construção realizada pelo autor.

Conclusão:

A partir dos dados coletados no quadro 12 e da aplicação da equação (59), verifica-se que existe uma função do tipo $f(x) = ax + b$.

Dica: evidencie a equação encontrada a partir dos cálculos realizados com as informações do quadro 12.

A2. LEVANDO-SE EM CONSIDERAÇÃO QUE NO SISTEMA REAL NÃO HÁ CONSERVAÇÃO DA ENERGIA, EXISTE ALGUMA FUNÇÃO LINEAR QUE RELACIONE A DISTÂNCIA PERCORRIDA PELO CARRINHO E A ENERGIA DISSIPADA?

GRAU II

Problema:

Existe alguma função de relação entre a distância percorrida pelo carrinho e a energia dissipada?



Hipótese:



Existe uma relação linear.

Plano de trabalho e obtenção dos dados:

Segue um quadro com os materiais que serão utilizados na atividade



Quadro 13. Descrição dos materiais utilizados no experimento.

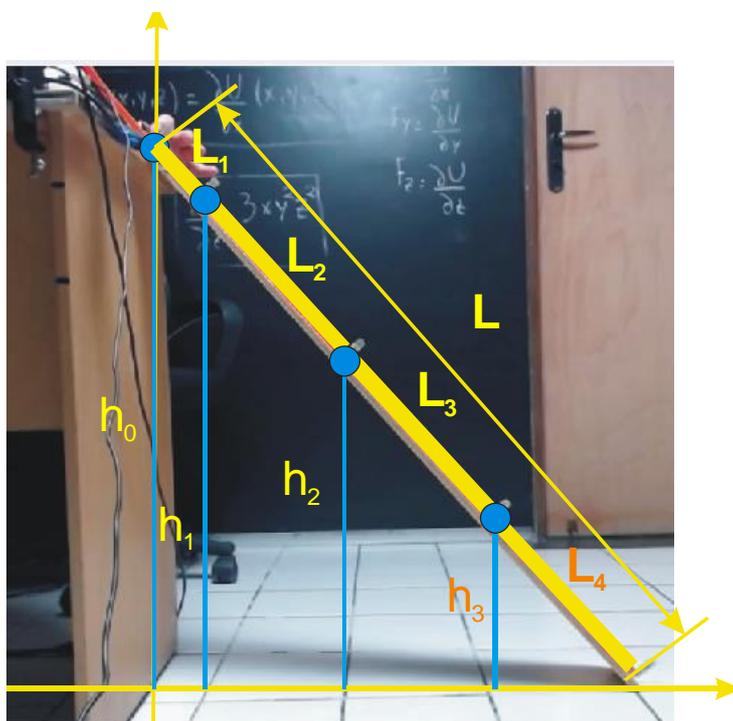
| |
|--|
| Pistas do brinquedo <i>Hot Wheels</i> . Para essa atividade foram utilizadas 4 pistas com 30 cm de comprimento cada uma. |
| Carrinho de <i>Hot Wheels</i> . |
| Base de madeira de no mínimo 120 cm para dirimir as perdas de energia por oscilação das pistas. |
| Cola rápida para madeira ou fita dupla face. |
| Câmera para filmagem. |
| Caneta para quadro branco ou lápis hidrocor |
| <i>Software Tracker</i> ¹² |
| <i>Software Excel</i> |
| Câmera (celular, <i>webcam</i> , etc.) |
| Fitas de marcação |

Fonte: O Autor (2020)

A montagem deverá seguir como o esquematizado na figura 39 abaixo:

¹² Para o download gratuito do software Tracker, acessar: <https://physlets.org/tracker/> (acesso em 03/10/2020 às 18:48 h), para uma explicação de uso do software acessar: <http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/lab/tracker.html> (acesso em 03/10/2020 às 18:49 h)

Figura 39. Esquema de montagem experimental.



Fonte: Autor do produto.

Segundo a montagem esquematizada na figura 39, gravar, com uma câmera a descida do carrinho pelo plano inclinado, em seguida, abrir o vídeo no *software Tracker* e *trackear* todo o movimento, com as informações da posição L , da energia potencial gravitacional e da energia cinética, para que com ambas se possa obter o valor da energia mecânica nos pontos destacados, a partir do *software Excel*, construir o gráfico e obter a equação linear da reta.

Pelo modelo teórico descrito por Nussenzveig (2013, p. 136-140), o carrinho de massa m ao ser abandonado, descerá pelo plano de comprimento L e inclinação θ , para um sistema ideal o atrito é desprezível, com isso

$$a = g \sin \theta \quad (67)$$

A velocidade em qualquer ponto abaixo da altura de abandono será então descrita por

$$v_p^2 = v_0^2 + 2aL = v_0^2 + 2gL \sin \theta \quad (68)$$

Como a velocidade inicial é zero e $\text{sen}\theta = \frac{\Delta h}{L}$, em que h é a altura em que o carrinho é abandonado e L é o comprimento do trajeto desenvolvido pelo carrinho e adotando-se o referencial na base do plano inclinado, tem-se que $\Delta h = y_0 - y$.

$$v_p^2 = 2g(y_0 - y) \quad (69)$$

Levando-se em consideração que no modelo teórico a energia mecânica se conserva, o parâmetro necessário para o cálculo da energia cinética em qualquer ponto do plano inclinado pode ser verificado na equação (70). A partir desse modelo pode-se observar se a mesma se conserva ou não entre o topo e a base.

$$E_{mec} = [mgy]_{topo} = \left[mgy + \frac{mv_p^2}{2} \right]_{y_{analisado}} \quad (70)$$

Para se trabalhar o modelo matemático de construção da equação linear, deve-se observar o que ensina Stewart (2006, p. 25-29), ou seja, ao afirmar que uma grandeza y é uma função linear de x , o que se deseja destacar é que o gráfico dessa função é uma reta, com isso, usa-se “a forma inclinação-intercepto da equação de uma reta para escrever uma fórmula para a função” (STEWART, 2006)

$$y = f(x) = ax + b \quad (71)$$

Em que a é o coeficiente angular da reta e b é o ponto de intercepto no eixo y . Uma característica interessante desse tipo de função é que a mesma tem variação constante. Com as informações do comprimento percorrido pelo carrinho (L_1, L_2, L_3 e L_4) e a energia dissipada nesses comprimentos ($E_{d_1}, E_{d_2}, E_{d_3}, E_{d_4}$), poder-se-á construir a função linear, para isso, deve-se levar em consideração o que preconiza Nussenzveig (2006, p. 179-181) e que foi detalhado no corpo da dissertação, especificamente no tópico 6.2.4 e que será resumido em seguida.

Num movimento em que existam forças conservativas e não conservativas, a força resultante \vec{F}_{res} será.

$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_{conservativa} + \vec{F}_{n\tilde{a}o-conservativa} \quad (72)$$

Pelo teorema do trabalho e da energia cinética equação sabe-se que.

$$\int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}_{(C)} = \frac{1}{2}m(v_{2x}^2 + v_{2y}^2 + v_{2z}^2) - \frac{1}{2}m(v_{1x}^2 + v_{1y}^2 + v_{1z}^2) = W_{P_1 \rightarrow P_2} \quad (73)$$

Com o teorema da equação (73), observa-se que o trabalho resultante é o descrito pelas forças conservativas e não conservativas.

$$\Delta K = W_{P_1 \rightarrow P_2} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_{conservativa} \cdot d\vec{l} + \int_{P_1}^{P_2} \vec{F}_{n\tilde{a}o-conservativa} \cdot d\vec{l} \quad (74)$$

Para as forças conservativas, tem-se que.

$$W_{P_1 \rightarrow P_2}^{(C)} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}_{(C)} = -[U(P_2) - U(P_1)] = -(U_2 - U_1) = -\Delta U \quad (75)$$

$$\Delta K = U_{P_1} - U_{P_2} + W_{n\tilde{a}o-conservativo} \quad (76)$$

$$K_{P_2} - K_{P_1} - U_{P_1} + U_{P_2} = W_{n\tilde{a}o-conservativo} \quad (77)$$

$$K_{P_2} + U_{P_2} - (K_{P_1} + U_{P_1}) = W_{n\tilde{a}o-conservativo} \quad (78)$$

Como observado até aqui, com as informações de energias potencial gravitacional e cinética para os comprimentos L escolhidos, todas as informações obtidas com o *software Tracker*, calcular, levando em consideração a equação (78), as energias dissipadas para os referidos pontos e colocar no quadro 14.

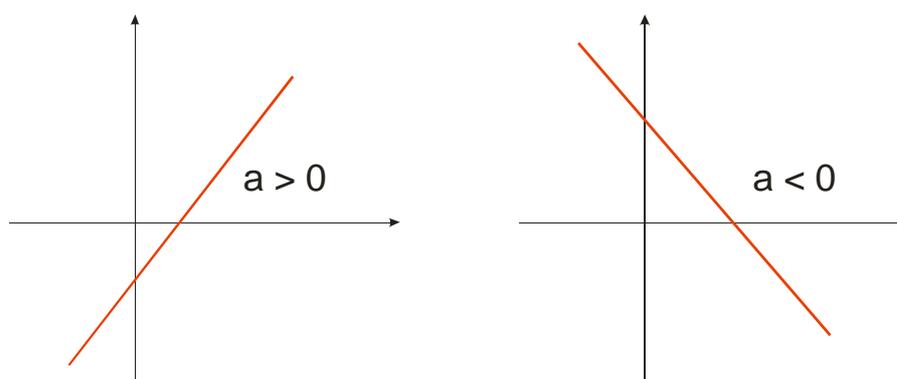
Quadro 14. Medidas dos comprimentos e da dissipação de energia em cada comprimento.

| Grandezas | L_1 | L_2 | L_3 | L_4 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| E_d | | | | |

Fonte: O Autor (2020)

Com os dados do quadro 14, construir o gráfico linear do comprimento percorrido pelo carrinho com a dissipação de energia, em seguida, com as informações da equação (71) encontrar os valores dos coeficientes angular e linear da função. O gráfico, poderá assumir os formatos demonstrados na figura 40.

Figura 40. Modelos de gráficos de funções lineares.



Fonte: construção realizada pelo autor.

Conclusão:

Com as informações coletadas e expostas no quadro 14, qual a conclusão que se chega acerca da existência ou não de uma relação linear entre o comprimento percorrido pelo carrinho e a energia dissipada?

Dica:

1. Se houver a relação linear evidencie a equação encontrada a partir dos cálculos realizados com as informações do quadro 14.
2. Se não houver a relação linear, através do software Excel, encontre e evidencie o tipo de função descrita por essa relação.

A2. LEVANDO-SE EM CONSIDERAÇÃO QUE NO SISTEMA REAL NÃO HÁ CONSERVAÇÃO DA ENERGIA, EXISTE ALGUMA FUNÇÃO LINEAR QUE RELACIONE A DISTÂNCIA PERCORRIDA PELO CARRINHO E A ENERGIA DISSIPADA?

GRAU III

Problema:

Existe alguma função de relação entre a distância percorrida pelo carrinho e a energia dissipada?



Hipótese:



A relação que existe não é linear.

Plano de trabalho e obtenção dos dados:

Com as pistas e o carrinho de Hot Wheels monte um experimento para verificar a conservação ou não da energia mecânica.

Dicas:

- Os brinquedos de Hot Wheels possuem uma gama muito grande de pistas, lançadores e carrinhos que poderão ser utilizados para experimentos de mecânica clássica, o professor poderá usar outros modelos de pista de Hot Wheels para aplicar essa atividade.



5. O *software Tracker*¹³ é uma poderosa ferramenta para auxiliar professores e estudantes no trabalho experimental.
6. Utilize as equações abordadas nos materiais didáticos vivenciado nas escolas de educação básica.

Conclusão:

Com as informações coletadas, qual a conclusão que se chega acerca da existência ou não de uma relação linear entre o comprimento percorrido pelo carrinho e a energia dissipada?

Dica:

3. Se houver a relação linear evidencie a equação encontrada a partir dos cálculos realizados.
4. Se não houver a relação linear, através do software Excel, encontre e evidencie o tipo de função descrita por essa relação, bem com o tipo de gráfico que a mesma produz.

¹³ Para o download gratuito do software Tracker, acessar: <https://physlets.org/tracker/> (acesso em 03/10/2020 às 18:48 h), para uma explicação de uso do software acessar: <http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/lab/tracker.html> (acesso em 03/10/2020 às 18:49 h)

A3. QUAL SERÁ A ALTURA MÍNIMA PARA QUE O CARRINHO CONSIGA EXECUTAR O LOOP?

GRAU I

Problema:

Qual a relação entre a altura mínima de abandono do carrinho e o raio do loop?



Hipótese:



Não existe relação entre altura mínima de abandono do carrinho e o raio do loop para a sua execução.

Plano de trabalho e obtenção dos dados:

Segue um quadro com os materiais que serão utilizados na atividade



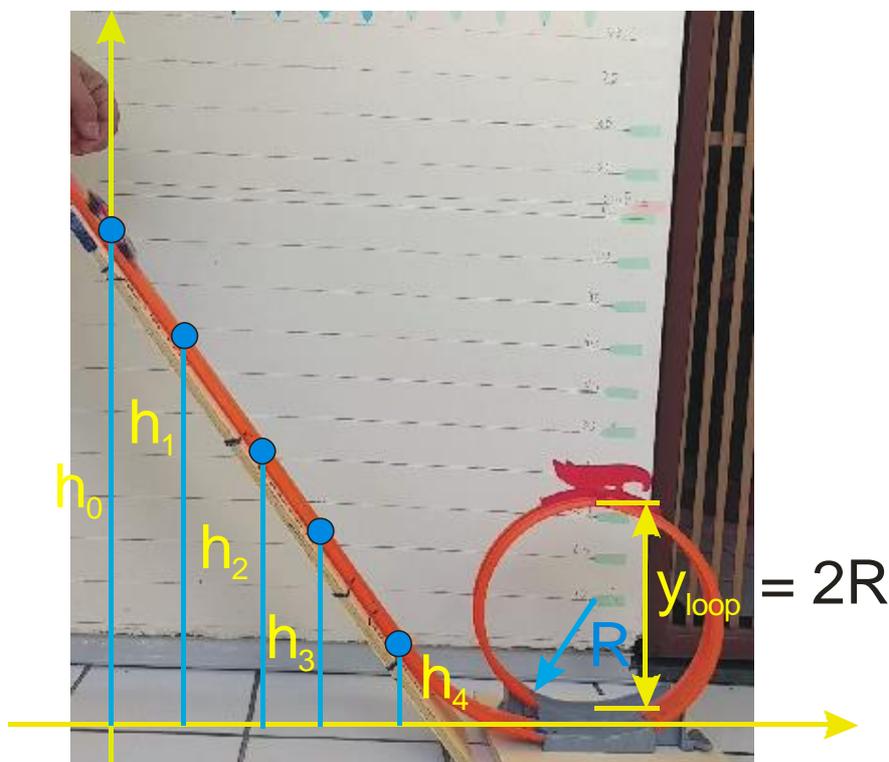
Quadro 15. Descrição dos materiais utilizados no experimento.

| |
|---|
| Pistas do brinquedo <i>Hot Wheels</i> . Para essa atividade foram utilizadas 4 pistas com 30 cm de comprimento cada uma e duas pistas com 35 cm de comprimento que formaram o loop. |
| Carrinho de <i>Hot Wheels</i> . |
| Base de madeira para dirimir as perdas de energia por oscilação das pistas. |
| Cola rápida para madeira ou fita dupla face. |
| Câmera para filmagem. |

Fonte: O Autor (2020)

A montagem deverá seguir como o esquematizado na figura 41 abaixo:

Figura 41. Esquema de montagem experimental.



Fonte: O Autor (2020)

Segundo a montagem esquematizada na figura 41, com uma trena, medir a altura em que o carrinho será abandonado e o raio do *loop*, em seguida, levando em consideração os modelos teóricos descritos nos materiais didáticos de Física do Ensino Médio, realizar os cálculos teóricos e verificar se existe alguma relação entre o raio do *loop* e a altura mínima de abandono do carrinho.

Pelo modelo teórico descrito nos materiais didáticos da educação básica, como por exemplo, Ramalho, Nicolau e Toledo (2015, p. 332), o carrinho de massa m ao ser abandonado de uma altura h_0 , descera pelo plano inclinado e irá adquirir velocidade mínima suficiente para conseguir executar o *loop* de raio R , para um sistema ideal o atrito é desprezível, com isso.

$$E_{mec_{h_0}} = E_{mec_{y_{loop}}} \quad (79)$$

$$mgh_0 = mg2R + \frac{mv_{\text{topo do loop}}^2}{2} \quad (80)$$

Considerando o fato de que a aceleração centrípeta é igual a aceleração da gravidade no topo do *loop*, tem-se que.

$$v_{\text{topo do loop}}^2 = Rg \quad (81)$$

$$gh_0 = 2gR + \frac{Rg}{2} \quad (82)$$

$$h_0 = 2R + \frac{R}{2} \quad (83)$$

$$h_0 = \frac{5}{2}R \quad (84)$$

Levando-se em consideração as equações trabalhadas e realizados os cálculos teóricos da altura mínima de abandono do carrinho no plano inclinado para que o mesmo execute o *loop*, preencher o quadro 16, em seguida, colocar a câmera em uma posição que consiga filmar o abandono do carrinho e proceder com o abandono e a filmagem do evento.

Quadro 16. Medidas teóricas do raio e da altura mínima necessária para a execução do *loop*

| Grandezas | Lançam. 1 | Lançam. 2 | Lançam. 3 | Lançam. 4 | Lançam. 5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| h_0 | | | | | |
| R | | | | | |

Fonte: O Autor (2020)

Com *software Tracker*¹⁴, realizar o *trackeamento* do movimento e com os dados fornecidos pelo software, comparar com o modelo teórico para verificar se houve ou não conservação da energia mecânica. Anotar as informações no quadro 17.

¹⁴ Para o download gratuito do software Tracker, acessar: <https://physlets.org/tracker/> (acesso em 03/10/2020 às 18:48 h), para uma explicação de uso do software acessar: <http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/lab/tracker.html> (acesso em 03/10/2020 às 18:49 h)

Quadro 17. Medidas extraídas do *software Tracker* do raio e da altura mínima necessária para a execução do *loop*

| Grandezas | Lançam. 1 | Lançam. 2 | Lançam. 3 | Lançam. 4 | Lançam. 5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| h_0 | | | | | |
| R | | | | | |

Fonte: O Autor (2020)

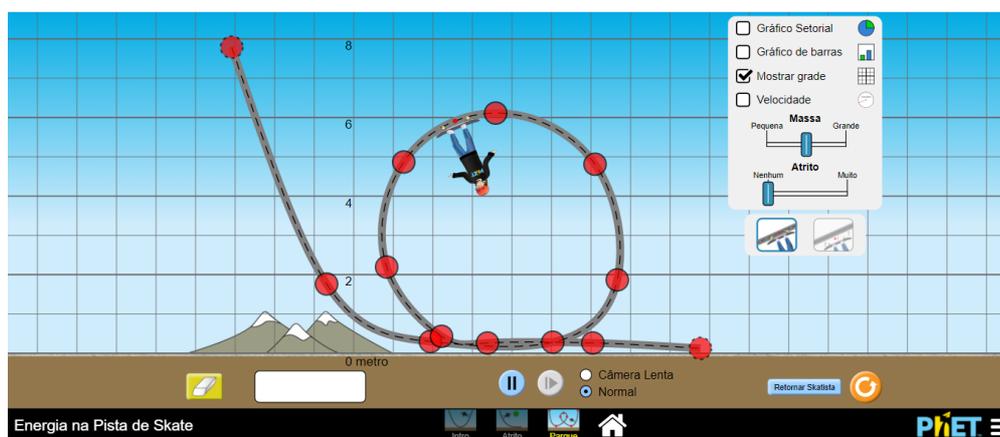
Conclusão:

A partir da comparação entre os quadros 16 e 17, verifica-se que devido as dissipações de energia durante a descida do carrinho, a altura mínima necessária é maior do que $2,5R$.

Atividade extra:

Com as informações coletadas nos quadros 16 e 17, comparar com o modelo proposto no simulador de energia utilizando uma pista de skate, mais especificamente na simulação do parque, em que o aprendiz pode construir um loop a partir das pistas no simulador, essa simulação foi construída pela Universidade do Colorado, e se chama *Phet*¹⁵.

Figura 42. Execução do loop a partir da relação entre raio e altura mínima de



Fonte: simulador *Phet*¹, da Universidade do Colorado.

¹⁵ O simulador poderá ser encontrado no site: https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-skate-park-basics/latest/energy-skate-park-basics_pt_BR.html. Acesso em 11/10/2020 às 20:19 h.

A3. QUAL SERÁ A ALTURA MÍNIMA PARA QUE O CARRINHO CONSIGA EXECUTAR O LOOP?

GRAU II

Problema:

Qual a relação entre a altura mínima de abandono do carrinho e o raio do loop?



Hipótese:



Existe uma relação entre o raio do loop e a altura de abandono do carrinho, essa relação é descrita no modelo teórico.

Plano de trabalho e obtenção dos dados:

Segue um quadro com os materiais que serão utilizados na atividade.



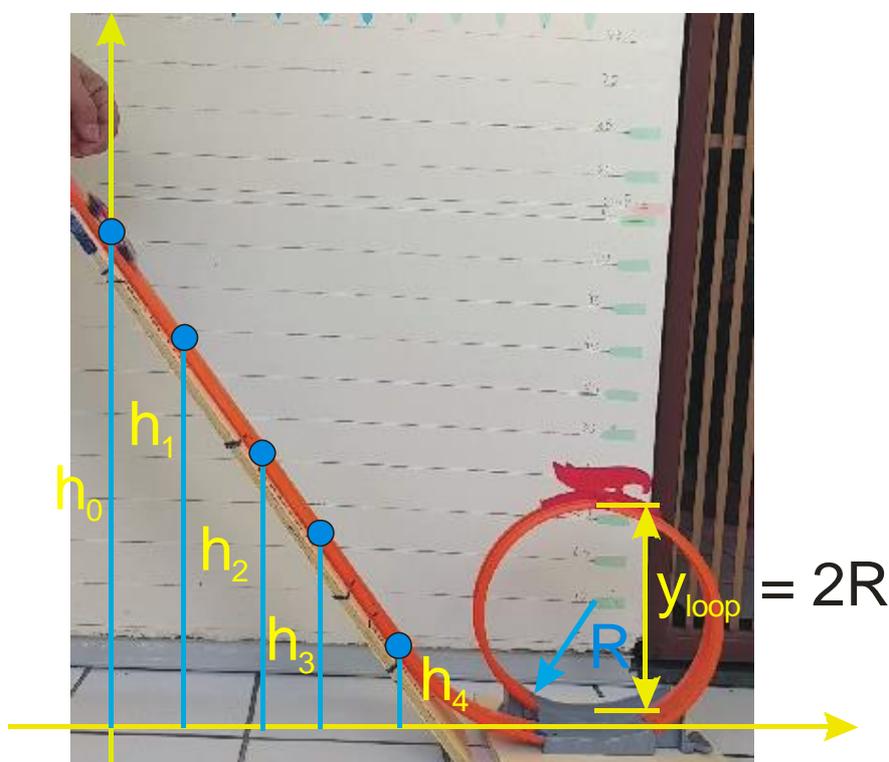
Quadro 18. Descrição dos materiais utilizados no experimento.

| |
|---|
| Pistas do brinquedo <i>Hot Wheels</i> . Para essa atividade foram utilizadas 4 pistas com 30 cm de comprimento cada uma e duas pistas com 35 cm de comprimento que formaram o loop. |
| Carrinho de <i>Hot Wheels</i> . |
| Base de madeira para dirimir as perdas de energia por oscilação das pistas. |
| Cola rápida para madeira ou fita dupla face. |
| Câmera para filmagem. |

Fonte: Autor do produto.

A montagem deverá seguir como o esquematizado na figura 43 abaixo:

Figura 43. Esquema de montagem experimental.



Fonte: O Autor (2020)

Segundo a montagem esquematizada na figura 43, com uma trena, medir a altura em que o carrinho será abandonado e o raio do *loop*, em seguida, levando em consideração os modelos teóricos descritos nos materiais didáticos de Física do Ensino Médio, realizar os cálculos teóricos e verificar se existe alguma relação entre o raio do *loop* e a altura mínima de abandono do carrinho.

Pelo modelo teórico descrito nos materiais didáticos da educação básica, como por exemplo, Ramalho, Nicolau e Toledo (2015, p. 332), o carrinho de massa m ao ser abandonado de uma altura h_0 , descerá pelo plano inclinado e irá adquirir velocidade mínima suficiente para conseguir executar o *loop* de raio R , para um sistema ideal o atrito é desprezível, com isso.

$$E_{meca_{h_0}} = E_{meca_{y_{loop}}} \quad (85)$$

$$mgh_0 = mg2R + \frac{mv_{\text{topo do loop}}^2}{2} \quad (86)$$

Considerando o fato de que a aceleração centrípeta é igual a aceleração da gravidade no topo do *loop*, tem-se que.

$$v_{\text{topo do loop}}^2 = Rg \quad (87)$$

$$gh_0 = 2gR + \frac{Rg}{2} \quad (88)$$

$$h_0 = 2R + \frac{R}{2} \quad (89)$$

$$h_0 = \frac{5}{2}R \quad (90)$$

Levando-se em consideração as equações trabalhadas e realizados os cálculos teóricos da altura mínima de abandono do carrinho no plano inclinado para que o mesmo execute o *loop*, preencher o quadro 19, em seguida, colocar a câmera em uma posição que consiga filmar o abandono do carrinho e proceder com o abandono e a filmagem do evento.

Quadro 19. Medidas teóricas do raio e da altura mínima necessária para a execução do *loop*.

| Grandezas | Lançam. 1 | Lançam. 2 | Lançam. 3 | Lançam. 4 | Lançam. 5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| h_0 | | | | | |
| R | | | | | |

Fonte: O Autor (2020)

Com *software Tracker*¹⁶, realizar o *trackeamento* do movimento e com os dados fornecidos pelo software, comparar com o modelo teórico para verificar se houve ou não conservação da energia mecânica. Anotar as informações no quadro 20.

Quadro 20. Medidas extraídas do *software Tracker* do raio e da altura mínima necessária para a execução do *loop*.

| Grandezas | Lançam. 1 | Lançam. 2 | Lançam. 3 | Lançam. 4 | Lançam. 5 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| h_0 | | | | | |
| R | | | | | |

Fonte: O Autor (2020)

¹⁶ Para o download gratuito do software Tracker, acessar: <https://physlets.org/tracker/> (acesso em 03/10/2020 às 18:48 h), para uma explicação de uso do software acessar: <http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/lab/tracker.html> (acesso em 03/10/2020 às 18:49 h)

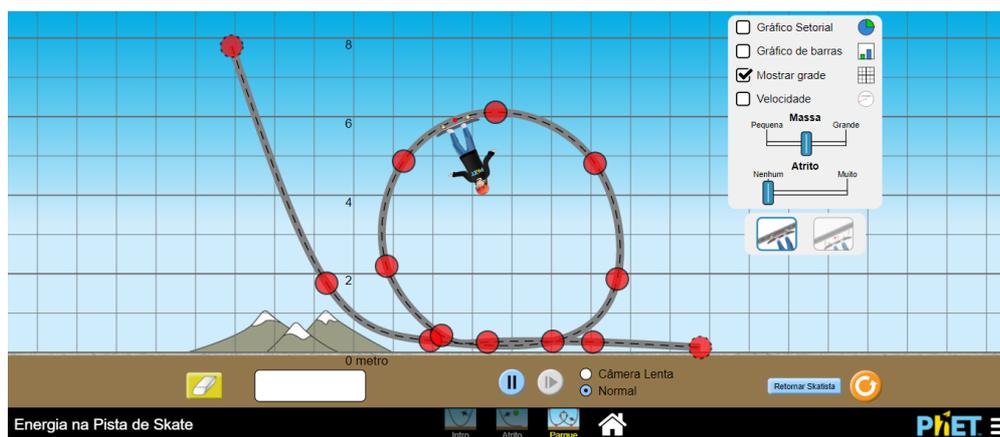
Conclusão:

Tendo como base os dados coletados nos quadros 19 e 20, quais são as conclusões que se podem inferir?

Atividade extra:

Com as informações coletadas nos quadros 19 e 20, comparar com o modelo proposto no simulador de energia utilizando uma pista de skate, mais especificamente na simulação do parque, em que o aprendiz pode construir um loop a partir das pistas no simulador, essa simulação foi construída pela Universidade do Colorado, e se chama *Phet*¹⁷.

Figura 44. Execução do loop a partir da relação entre raio e altura mínima de



Fonte: simulador *Phet*¹⁷, da Universidade do Colorado.

¹⁷ O simulador poderá ser encontrado no site: https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-skate-park-basics/latest/energy-skate-park-basics_pt_BR.html. Acesso em 11/10/2020 às 20:19 h.

A3. QUAL SERÁ A ALTURA MÍNIMA PARA QUE O CARRINHO CONSIGA EXECUTAR O LOOP?

GRAU III

Problema:

Qual a relação entre a altura mínima de abandono do carrinho e o raio do loop?



Hipótese:



Existe uma relação entre o raio do loop e a altura de abandono do carrinho, essa relação tem a tendência de ser maior do que a descrita no modelo teórico.

Plano de trabalho e obtenção dos dados:

Com as pistas e o carrinho de Hot Wheels monte um experimento para verificar a conservação ou não da energia mecânica.

Dicas:

1. O *software Tracker*¹⁸ é uma poderosa ferramenta para auxiliar professores e estudantes no trabalho experimental.
2. Utilize as equações abordadas nos materiais didáticos vivenciado nas escolas de educação básica.



Conclusão:

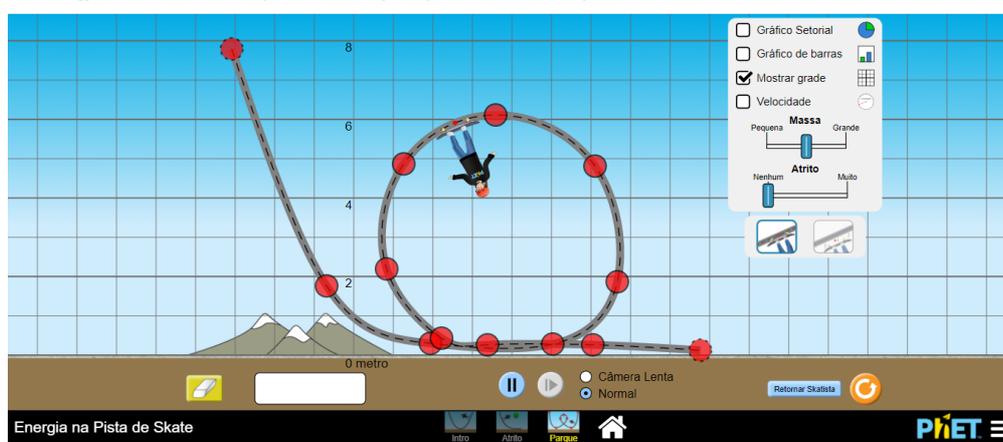
Tendo como base a montagem experimental e os dados coletados, quais são as conclusões que se podem inferir?

¹⁸ Para o download gratuito do software Tracker, acessar: <https://physlets.org/tracker/> (acesso em 03/10/2020 às 18:48 h), para uma explicação de uso do software acessar: <http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/lab/tracker.html> (acesso em 03/10/2020 às 18:49 h)

Atividade extra:

Com as informações coletadas, comparar com o modelo proposto no simulador de energia utilizando uma pista de skate, mais especificamente na simulação do parque, em que o aprendiz pode construir um loop a partir das pistas no simulador, essa simulação foi construída pela Universidade do Colorado, e se chama *Phet*¹⁹.

Figura 45. Execução do loop a partir da relação entre raio e altura mínima de



Fonte: simulador *Phet*¹, da Universidade do Colorado.

¹⁹ O simulador poderá ser encontrado no site: https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-skate-park-basics/latest/energy-skate-park-basics_pt_BR.html. Acesso em 11/10/2020 às 20:19 h.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, Antônio Tarcísio. **Novos rumos para o laboratório escolar de ciências**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 19, n. 3, pp. 291-303, dez. 2002. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6607>.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. (Org.). **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática**. 1 ed. São Paulo: Cengage, 2004.

_____. **Ensino de Física**. Coleção ideias em ação. São Paulo: Cengage, 2010.

FERRARO, Nicolau Gilberto; RAMALHO, Francisco Júnior; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Os fundamentos da física, volume 1**. 11 ed. São Paulo: Moderna, 2015.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa: um conceito subjacente**. Aprendizagem Significativa em Revista, Porto Alegre, v. 1, n. 3, pp. 25-46. 2011.

MUNFORD, Danusa; LIMA, Maria Emília C. C. **Ensinar ciências por investigação: em que estamos de acordo?** Revista Ensaio, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, pp. 89-111, jan.-jun. 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ensaio/article/view/9973>.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica, 1: Mecânica**. 5 ed. São Paulo: Blucher, 2013.

PELLIZZARI, Adriana et. al. **Teoria da Aprendizagem Significativa segundo Ausubel**. Rev. PEC, Curitiba, v.2, n.1, pp.37-42, jul. 2001-jul. 2002. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf>.

PIMENTEL, Erizaldo Cavalcanti Borges. **A física nos brinquedos. O brinquedo como recurso instrucional no ensino da terceira lei de Newton**. 2007. 187 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de Brasília, Brasília.

STEWART, James. **Cálculo**, volume 1. 5 ed. São Paulo: Thomson, 2006.

APÊNDICE B – MATERIAIS UTILIZADOS NO PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional foi produzido a partir de materiais que o autor já possuía, o brinquedo de *Hot Wheels* pertence ao filho do autor, que desde muito criança sempre ganhou por gostar de brincar com os carrinhos, todos os outros materiais e softwares já são utilizados nas aulas de Física que o autor ministra nos respectivos colégios em que ministra aula. Visando uma melhor aplicação do manual nas salas de aula, segue abaixo uma lista de materiais utilizados na elaboração do produto educacional. Os softwares utilizados foram o *Microsoft Office Excel*, software licenciado pela *Microsoft* e o *Tracker*, software produzido pela *Open Source Physics* e que pode ser encontrado gratuito na internet, no corpo do produto educacional e da dissertação está elencado endereço do site para fazer o download.

Figura 46. Balança digital com fundo de escala de 500 g e erro de aproximadamente $\pm 0,1g$



Fonte: O Autor (2020)

Figura 47. Trena de 5 m de comprimento



Fonte: O Autor (2020)

Figura 48. Conectores de pista para *Hot Wheels*



Fonte: O Autor (2020)

Figura 49. Carrinho de *Hot Wheels* com 5 cm de largura entre rodas, 7 cm de comprimento e 28,5 g de massa.



Fonte: O Autor (2020)

Figura 50. Destacador de páginas para ser usado como marcador nas pistas



Fonte: O Autor (2020)

Figura 51. *Loop do Hot Wheels* formado por duas pistas de 35 cm de comprimento e junto com a base formando um comprimento de circunferência de aproximadamente 87,96 cm, com um raio de aproximadamente 13,99 cm



Fonte: O Autor (2020)

Figura 52. Base de madeira com 4 pistas de 30 cm coladas. A base tem comprimento de 100 cm e largura de 9,5 cm



Fonte: O Autor (2020)

Figura 53. Tripé para câmeras e webcam Logitech
C920-S



Fonte: O Autor (2020)

APÊNDICE C – LISTA DE EXERCÍCIOS APLICADA



COLÉGIO
NOSSA SENHORA
DA GRAÇA

REDE
DAMAS
EDUCACIONAL

PROFESSOR: MADISON CANEJO

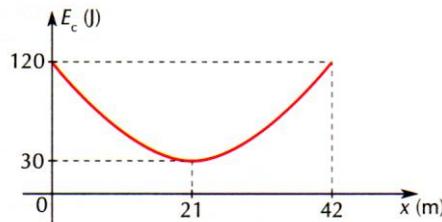
DATA: / / 2019

ALUNO(A): _____ Nº _____

SÉRIE: _____ TURMA: _____

LISTA DE EXERCÍCIOS

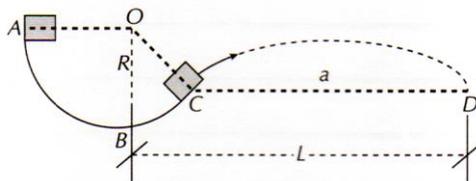
1. (UFCE) Uma bola de massa $m = 500 \text{ g}$ é lançada do solo, com velocidade v_0 e ângulo de lançamento θ menor que 90° . Despreze qualquer movimento de rotação da bola e influência do ar. O módulo da aceleração da gravidade, no local, é $g = 10 \text{ m/s}^2$. O gráfico abaixo mostra a energia cinética E_c da bola como função do seu deslocamento horizontal x .



Analisando o gráfico, podemos concluir que a altura máxima atingida pela bola é:

- a) 60 m c) 30 m e) 15 m
b) 48 m d) 18 m

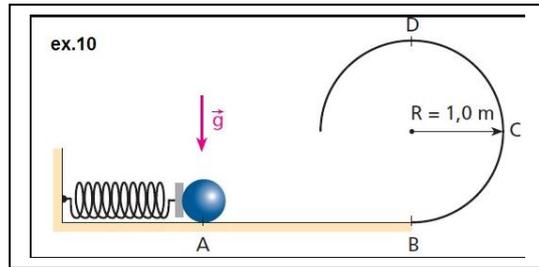
2. (Unifap) Em uma feira de ciências em Macapá, o jogo mecânico, mostrado na figura abaixo, foi bastante visitado. Um bloco de massa m , partindo do repouso do ponto A, desliza sem atrito por uma rampa circular de raio R até o ponto C, quando é lançado para fora da superfície circular, atingindo o ponto D.



Desprezando as forças de atrito e considerando g a aceleração da gravidade e os ângulos $\widehat{AOB} = 90^\circ$ e $\widehat{AOC} = 120^\circ$, determine a distância L da figura.

3. A mola da figura abaixo possui uma constante elástica $K = 280 \text{ N/m}$ e está inicialmente comprimida de 10 cm :

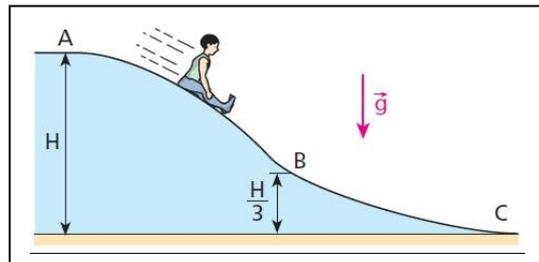




Uma bola com massa de 20 g encontra-se encostada na mola no instante em que esta é abandonada. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$ e que todas as superfícies são perfeitamente lisas, determine:

- o valor da velocidade da bola no ponto **D**;
- o valor da força que o trilho exerce na bola no ponto **D**;
- o valor da aceleração tangencial da bola quando ela passa pelo ponto **C**.

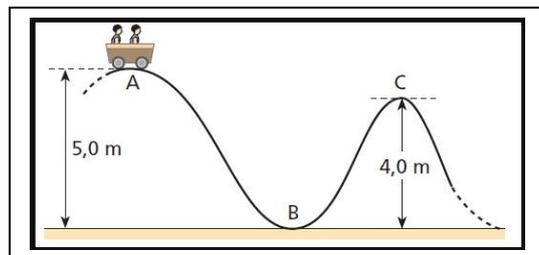
4. Um garoto de massa $m = 30 \text{ kg}$ parte do repouso do ponto **A** do escorregador perfilado na figura e desce, sem sofrer a ação de atritos ou da resistência do ar, em direção ao ponto **C**:



Sabendo que $H = 20 \text{ m}$ e que $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule:

- a energia cinética do garoto ao passar pelo ponto **B**;
- a intensidade de sua velocidade ao atingir o ponto **C**.

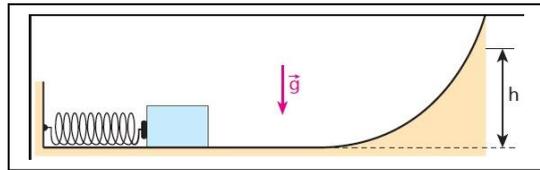
5. Numa montanha-russa, um carrinho com 300 kg de massa é abandonado do repouso de um ponto **A**, que está a 5,0 m de altura. Supondo que os atritos sejam desprezíveis e que $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule:



- o valor da velocidade do carrinho no ponto **B**;
- a energia cinética do carrinho no ponto **C**, que está a 4,0 m de altura.

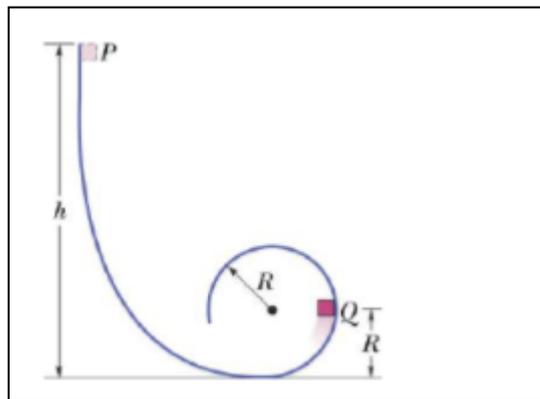


6. No arranjo experimental da figura, desprezam-se o atrito e o efeito do ar:



- a) o valor da velocidade do carrinho no ponto **B**;
 b) a energia cinética do carrinho no ponto **C**, que está a 4,0 m de altura.

7. Um carro de montanha-russa com massa de 1500 kg parte de uma altura de 23m acima da base de um looping de 15m de diâmetro. Se o atrito é desprezível, qual o valor da velocidade mínima que o carrinho deve ter na base do loop para que consiga executá-lo?



APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO AVALIATIVO



Campus
AGRESTE

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física
Polo 46, CAA – UFPE

Nome: _____

Turma: _____

Data: ____/____/____

QUESTIONÁRIO

1. Sobre o looping, empurrar um carrinho do ponto mais alto da trajetória vai influenciar na completa execução do movimento, ou basta abandonar o carrinho do repouso? Explique a sua resposta.

2. Pelo que foi apresentado nas aulas, a massa do objeto que vai executar um looping influencia no movimento completo? Justifique a sua resposta.

3. Na teoria vista nos livros didáticos e demonstrada em sala de aula, a altura mínima necessária para que um carrinho possa realizar um loop é descrita pela equação

$$y = \frac{5}{2}R$$

Em que y é a altura mínima necessária para a execução do loop e R é o raio do loop. Na prática, a equação acima consegue descrever corretamente o movimento? Justifique a sua resposta.

4. No loop, quais as energias estão envolvidas, formando a energia mecânica?

5. Como estudado nos Livros Didáticos de Física, a energia mecânica se conserva, na prática do dia-a-dia, há conservação da energia? Em um looping, o carrinho, ao ser abandonado do repouso descerá um plano inclinado ganhando velocidade e perdendo altura. A energia mecânica será conservada? Justifique a sua resposta.

6. Na figura ao lado, a altura de lançamento do carrinho é de 55,8 cm. Adotando $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ e o raio do loop $R = 12 \text{ cm}$, qual deverá ser a velocidade mínima do veículo na base do loop para que o mesmo consiga executá-lo? Quais as suas energias cinética, potencial gravitacional e mecânica na base do loop?



7. Se os modelos teóricos não concordam com a prática, qual a sua importância para o estudo da Física?