

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Danilo Yamaguti

**Uma Sequência de Ensino Investigativo (SEI) como ferramenta motivadora
para ensino de inércia de rotação utilizando a conservação de energia
mecânica.**

Alfenas / MG

2019

Danilo Yamaguti

**Uma Sequência de Ensino Investigativo (SEI) como ferramenta motivadora
para ensino de inércia de rotação utilizando a conservação de energia
mecânica.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação (UNIFAL-MG) no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Orientador: Prof. Dr. **Célio Wisniewski**

ALFENAS / MG

2019

*Dedico aos meus pais Hayao e Irene, meus irmãos
Rodrigo e Daniela e minha esposa e companheira
Mariana.*

Agradecimentos

À Capes por promover a formação continuada dos professores, assim como à SBF por disponibilizar o programa de mestrado profissional em Ensino de Física.

Agradeço as escolas públicas municipais E.M. “Maria Amália Volpon de Figueiredo” e EP Édison de Almeida me aceitaram e ajudaram para que pudesse ser feito esse trabalho.

Agradeço a minha família por todo o suporte e força que me deram para que eu pudesse chegar até aqui e ao encorajamento dado a mim nos momentos difíceis que passei e me deram forças para não desistir do meu sonho de percorrer e terminar toda essa jornada.

Ao meu falecido pai Hayao que sempre batalhou para que eu me tornasse o homem que sou e que sempre seguirá seus ensinamentos para enfrentar as dificuldades da vida com Garra, Perseverança e Determinação. À minha mãe por me ensinar a ter maleabilidade e resiliência emocional nos momentos de dificuldade.

Um agradecimento especial à minha esposa por me ajudar nessa empreitada, pela paciência nos momentos de estresse e ser meu porto seguro. Sem eles não teria conseguido.

Aos meus colegas de mestrado que conheci na Unifal, em especial ao Everton e Wellington pelas conversas prazerosas e discussões engrandecedoras a respeito de tudo e pelo companheirismo durante todo mestrado.

Aos meus professores que durante todo o mestrado sempre se dispuseram a nos ajudar e discutir sobre Física e Ensino de Física me disponibilizando um pouco de seu tempo para que obtivesse uma excelente formação. Em especial ao professor Célio que me orientou durante o mestrado.

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

“Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes.” (Albert Einstein)

Resumo

Esse trabalho consistiu no desenvolvimento e aplicação de uma sequência de ensino investigativo (SEI) para o ensino de inércia de rotação para uma turma de primeiro ano do Ensino Médio municipal localizada na cidade de Morro Agudo-SP. A SEI foi idealizada a partir de um exemplo dado por Richard Feynman em sua visita ao Brasil e relatado em seu livro *“Surely you're Joking, Mr. Feynman!": Adventures of a Curious Character”* no qual ele demonstra a inércia de rotação ou momento de inércia a partir da conservação de energia mecânica do rolamento de um objeto em um plano inclinado ou rampa. Nesse trabalho também foi feita uma investigação a respeito de como a utilização de um experimento é uma ferramenta que pode servir de ponto de partida para uma alfabetização científica e conseqüentemente, motivar os alunos a aprender Física e transformar as relações de ensino e aprendizagem.

Palavras-chave: Ensino investigativo, inércia de rotação, momento de inércia, motivação no ensino de Física, alfabetização científica.

Abstract

This work is a development and application of an Investigative Teaching Sequence (ITS) for rotation inertia teaching for the first year in a high school class from Morro Agudo city, state of São Paulo. The ITS was idealized from an example given by Richard Feynmann in his visiting to Brazil, published in the book *“Surely you're Joking, Mr. Feynman!": Adventures of a Curious Character.”*, which he demonstrated the rotational inertia through the mechanic energy conservation of a rolling of objects in a inclined plane or ramp. This work also made an investigation about how the use of an experiment is a tool that can be a starting point to a scientific alphabetization and lately, motivate the students to learn Physics and transform the teaching relations and learning.

Keywords: Investigative Teaching, rotational inertia, inertia of rotation, motivation in physics teaching, scientific alphabetization

Siglas

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

SBF – Sociedade Brasileira de Física

FPS – Frames per Second. (Quadros por segundo)

MP – Momentos Pedagógicos.

SEI – Sequência de Ensino Investigativo

TIC – Tecnologias da Informação e Comunicação

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
(Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura)

Lista de Figuras.

Figura 1 – Tela inicial da simulação. Fonte: Phet Colorado.edu.	35
Figura 2- Tela do applet. Fonte: Phet Colorado.edu.	35
Figura 3 - Projeto da rampa. Visão frontal. Fonte: o Autor.....	36
Figura 4 - Projeto da rampa. Visão superior. Fonte: o Autor.	36
Figura 5 - Partes de pista HotWheels para guia. Fonte: o Autor.....	37
Figura 6- Parafuso de aço para madeira de 2mm. Fonte: o Autor.....	37
Figura 7 - Cantoneira em L. Fonte: o Autor.	37
Figura 8 - Rampa vista superior. Fonte: o Autor.	37
Figura 9 - Rampa vista frontal. Fonte: O autor.....	38
Figura 10 - Rampa completa vista frontal. Fonte: O autor.....	38
Figura 11 - Cilindros de Poliocarbonato. Fonte: O autor.....	39
Figura 12 - Cilindros de Aço. Fonte: O autor.	39
Figura 13 - Esfera de 27mm. Fonte: o Autor.	40
Figura 14 - Balança. Fonte: O autor.....	40
Figura 15. Registro das massas. Fonte: O Autor.....	15
Figura 16 - Alunos interagindo como a rampa e discutindo a atividade. Fonte: O autor.....	16
Figura 17 - Alunos interagindo com a rampa. Fonte: O Autor.	16
Figura 18 Alunos interagindo com a rampa. Fonte: O Autor.	17

Lista de Tabelas.

Tabela 1 - Aspectos motivacionais. Fonte: Harter (1981)	31
Tabela 2 - Organização das aulas. Fonte: O autor.....	33
Tabela 3 - Registro dos dados da aula 6. Fonte: O autor.	44
Tabela 4 - Dados obtidos pelos grupos. Fonte: O autor.....	45
Tabela 5 - Análise quantitativa das respostas dos alunos na aula 1. Fonte: O autor.	47
Tabela 6 - Análise das respostas dos alunos na aula 2. Fonte: O autor	51
Tabela 7 - Dados obtidos pelos alunos na aula 5. Fonte: O autor.....	53

Sumário

1. Introdução	13
1.1 As escolas e os problemas contratuais e prorrogação de prazo.....	13
1.2 Dinâmica das Rotações.	14
1.3 Pesquisa bibliográfica em Ensino de Física e alfabetização científica.....	15
1.4 O Problema criticado por Feynman	16
1.5 Tecnologias da informação e Comunicação (TICS) no Ensino.....	17
1.6 Abstração das grandezas físicas.	18
1.7 Organização da dissertação.	19
2 Objetivos	20
2.1 Objetivos Específicos.....	20
3 Pesquisa bibliográfica e Fundamentação teórica.	21
3.1 Estudos em ensino de dinâmica rotacional.	21
3.2 Conservação de energia no rolamento de objetos em rampas.....	22
3.3 Teorias psicológicas das abordagens educacionais.	26
3.4 Sequência de Ensino investigativo (SEI).....	28
3.5 Uso de experimentos e laboratórios em sala de aula.....	29
3.6 Motivação.....	30
4 Metodologia	33
4.1 Desenvolvimento da sequência didática.....	34
4.2 O produto didático	34
4.2.1 Simulação PHET Colorado.	35
4.2.2 As rampas.....	36
4.2.3 Os objetos.....	38
4.3 A sequência didática	40
4.3.1 Aula 1 – Introdução: verificação dos conhecimentos prévios dos alunos	41
4.3.2 Aula 2 – Discussão sobre a avaliação diagnóstica para os alunos.....	41
4.3.3 Aula 3 – Aplicação do Questionário 1	41
4.3.4 Aula 4 – Intervenção para balizamento e retomada da sequência.....	42
4.3.5 Aula 5 – Problematização para o primeiro contato com a rampa	43
4.3.6 Aula 6 – O uso das câmeras de celular e as medições de tempo e velocidade	43
4.3.7 Aula 7 – Experimento 2: segundo contato com a rampa com estudo padronizado.....	44
4.3.8 Aula 8 – Discussão dos resultados.....	44
4.3.9 Aula 9 – Discussão final e Avaliação.....	45

5	Análise e Resultados.....	47
5.1	Análise da aula 1.....	47
5.2	Análise da aula 2.....	49
5.3	Análise da aula 3.....	50
5.4	Análise da aula 4.....	52
5.5	Análise da aula 5.....	52
5.6	Análise da Aula 6.....	54
5.7	Análise da Aula 7.....	56
5.8	Análise da aula 8.....	57
5.9	Análise da aula 9.....	59
6	Considerações finais.....	60
	Referências Bibliográficas	64
	Apêndice A. Avaliação Diagnóstica inicial	14
	Apêndice B. Registro das massas dos objetos	15
	Apêndice C. Alunos em grupos realizando as medidas nas aulas 5 e 7.....	16

1. Introdução

Em minha vivência como professor de nível fundamental e médio sempre encontrei alunos com muita dificuldade em aprender Ciências ou mais precisamente a Física. As dificuldades são inúmeras, porém sempre percebi que alunos motivados acabam sendo os mais interessados e conseguem superar essas dificuldades de aprendizado mais facilmente que os outros alunos.

Esse trabalho, portanto, é composto por:

1. Uma breve análise da literatura brasileira especializada em ensino de Física sobre as abordagens de ensino de Física, mais precisamente em dinâmica das rotações.
2. O desenvolvimento e aplicação de uma Sequência de Ensino Investigativo (SEI) que estuda a dinâmica das rotações dos objetos, mais precisamente o momento de inércia ou inércia de rotação a partir da conservação de Energia mecânica proposta por Feynman¹.
3. Uma investigação de como essa sequência didática pode motivar os alunos de nível médio.

1.1 As escolas e os problemas contratuais e prorrogação de prazo.

Essa dissertação teve por objetivo inicial investigar o conhecimento dos alunos tanto da rede privada como da rede municipal no qual leciono. No entanto, as coordenações das escolas privadas não disponibilizaram as aulas de Física regulares para a aplicação do projeto. A recusa ocorreu principalmente por causa dos conteúdos estarem fora do escopo ou conteúdos programáticos das apostilas e das avaliações externas como o ENEM e os vestibulares mais relevantes do país.

Outro problema encontrado ocorreu no início de 2018 com os contratos dos professores celetistas na prefeitura municipal de Morro Agudo - SP. Com o vencimento dos editais de homologação dos processos seletivos de 2014, não puderam assumir as salas de aula de 2018

¹ A proposição de Feynman será mostrada na seção 1.3.

até que fosse feito um novo processo de seleção. As aulas ficaram sob cuidados de professores eventuais até a regularização dos contratos de trabalho que ocorreu em agosto de 2018.

Dessa maneira, o projeto teve que ser adiado e passar por um redesenho na distribuição dos dias de aplicação do projeto para cumprir o cronograma dos últimos bimestres de 2018.

Nesse projeto foi desenvolvido uma sequência de ensino investigativo para ser aplicada com alunos do 1º ano do Ensino Médio de uma escola municipal na cidade de Morro Agudo – SP.

Essa sala foi escolhida principalmente por apresentar muitas dificuldades de aprendizado e ter um comportamento pouco disciplinado de acordo com o corpo docente, coordenação e direção. Essa sala era taxada como uma sala difícil na qual os métodos tradicionais de ensino não surtiam efeito e tinham um baixo rendimento médio em praticamente todas as matérias. Nessa sala verificou-se também que, no decorrer do ano, a frequência dos alunos foi se tornando cada vez mais baixa com grandes riscos de evasão escolar.

1.2 Dinâmica das Rotações.

Os movimentos curvilíneos e a geometria circular são objetos de estudo do ser humano desde a pré-história com a invenção da roda. Na Antiguidade, com o aperfeiçoamento das máquinas de transporte e estudo do movimento dos astros na esfera celeste e a origem da Terra, o estudo desse tópico de Física passou a ter um destaque ainda maior. No Brasil, o estudo de cinemática circular nas escolas teve destaque nas primeiras décadas do século passado, com a inserção desse conteúdo nos livros didáticos (Nicioli Jr, 2008). Em nosso cotidiano, os movimentos de rotação estão presentes em quase todas as máquinas que geram algum tipo de movimento tais como automóveis, eletrodomésticos e eletrônicos, parques de diversões, entre outros.

Em contrapartida, um estudo mais detalhado e realista desse conteúdo quase não ocorre nos planos de ensino de Física no nível médio, tendo apenas destaque nas disciplinas de nível superior nos cursos de Física, Engenharias, Matemática e outras disciplinas relacionadas às Ciências da Natureza.

1.3 Pesquisa bibliográfica em Ensino de Física e alfabetização científica

Apesar de estarmos inseridos em uma sociedade que a cada dia se torna mais dependente de tecnologia, o estudo da mecânica, e em específico, a mecânica do movimento circular ou rotação ainda é de extrema relevância para a formação de um cidadão com alto poder de criticidade e investigação, além da aplicação em sua própria atividade funcional, em muitos casos.

Apesar de haver muita crítica a respeito de um ensino conteudista, o ensino de física por investigação, que leva a uma reflexão e a um desenvolvimento de visão crítica do aluno é necessário para a formação dos alunos como cidadãos críticos e pensantes. Assim, em consonância com Araújo & Abib (2003), acredita-se que o ensino e a aprendizagem significativa da Física tem uma relevante importância para o desenvolvimento cidadão dos alunos.

O ensino da dinâmica de rotação no nível médio, apesar de não estar prescrito no PCN+ (BRASIL, 2002) e na BNCC (BRASIL, 2018) e não estar comumente nos planos de ensino nesse nível, é uma teoria que está presente na maioria dos problemas propostos em mecânica, porém é desprezada pela maioria dos materiais didáticos, com algumas exceções: o projeto *Physical Science Study Committee* (PSSC, 1961), o Grupo de Reelaboração do Ensino de Física vinculado à Universidade de São Paulo - USP (GREF, 1999) e o livro de mercado “Física Conceitual” (Hewitt, 2015).

Além do ensino de dinâmica de rotação, foi desenvolvido concomitantemente nesse trabalho uma forma de “educar cientificamente” (Villani, 1994) os alunos que foram submetidos ao projeto dando uma ênfase no aprendizado da epistemologia da Física, assim como uma investigação sobre a motivação desses alunos.

Como uma alternativa ao ensino tradicional de Física, o uso da epistemologia da Física e como ela foi desenvolvida, pode ser considerada uma ferramenta para motivar os alunos uma vez que, essa abordagem não mostra a Física como uma Ciência pronta e fechada comum na abordagem tradicional, e sim inacabada, passível de mudança e aberta a novas contribuições de futuros cientistas.

1.4 O Problema criticado por Feynman

Em sua visita ao Brasil, o Físico Richard Feynman descreveu em seu livro “Surely, you are Joking Mr. Feynman!” (FEYNMAN, 1985) as universidades brasileiras e fez duras críticas ao ensino de Física aplicado aqui nas décadas de 40 e 50. De lá pra cá, apesar das diversas políticas de fomento e desenvolvimento da área de Ensino de Física e o aumento significativo de oportunidades de capacitação de professores, ainda é possível observar práticas docentes atuais que mantêm as mesmas falhas descritas 70 anos atrás no ensino de Física no nível fundamental, médio e superior. No livro, o autor mostrou um descompasso entre a Física ensinada nas instituições, que é marcada pelo idealismo e que transparece uma falsa sensação aos aprendizes que a Física é uma ciência completa, finalizada e fechada e que não promove uma reflexão sobre ela própria.

Como a Física é uma ciência empírica, deixar de mostrar as dificuldades em se fazer uma pesquisa científica ou um experimento que investigue a validade de um conceito aprendido pode acabar se tornando dogmática e não trazer um crescimento efetivo de conhecimento. Em um dos exemplos citados por Feynman, o rolamento de corpos em um plano inclinado, ele exalta como é transmitido aos alunos a lei de conservação de energia, isto é, há o desprezo dos erros contidos nas medições, assim como na determinação da energia cinética de rotação dos objetos. Dessa forma, esse trabalho consistiu em utilizar o exemplo de Feynman para dar suporte aos alunos a perceberem experimentalmente como a interferência do momento de inércia ou inércia de rotação dos corpos aparece naturalmente como uma anomalia que não pode ser desprezada no rolamento de objetos em um plano inclinado ou rampa.

Analogamente ao estudo do plano inclinado no qual Galileu Galilei descreveu as relações da cinemática para o movimento uniformemente variado, foi possível analisar as energias de translação envolvidas no rolamento dos corpos nas rampas e investigar a validade da lei de Conservação da Energia Mecânica. Esse estudo, diferentemente do feito por Galileu que utilizou proporções de geometria, consiste no estudo da energia potencial gravitacional no início da queda e compará-la com a energia cinética ao final da rampa no ponto de altura zero ou altura de referência zero.

1.5 Tecnologias da informação e Comunicação (TICS) no Ensino

De acordo com o material publicado pela Unesco (2014), TICs provenientes principalmente dos avanços tecnológicos das quatro últimas décadas, levaram diversas sociedades industriais para uma nova era: a sociedade da informação ou sociedade do conhecimento.

Essa nova sociedade no qual a informação e a comunicação passaram a ter maior destaque, os smartphones e *gadgets* portáteis tem tido seu uso acentuado pois tem como característica estar sempre acessível ao usuário. Por um lado, o uso dessa TIC, aumentou a acessibilidade do conhecimento para os alunos, mas por outro lado tornou as práticas educacionais tradicionais de giz e lousa pouco atraentes para a maioria dos alunos de hoje.

Na sociedade brasileira que a cada dia se torna mais técnica e científica nessa nova era da informação, a utilização de tecnologias da informação e comunicação para interagir com os conceitos e conhecimentos físicos envolvidos é notoriamente relevante para proporcionar novas formas de aprendizado, dinamizar e acelerar o estudo e aplicação do projeto e principalmente dar novas visões sobre as TICs para os discentes, assim como aprimorar o aprendizado dos alunos.

Vale salientar que o avanço tecnológico, assim como o uso das TICs no cotidiano dos cidadãos dificilmente terá retrocesso. Assim, a inserção dessas tecnologias no ambiente escolar é necessária para formar um cidadão consciente, crítico e capaz de interagir com as tecnologias que temos atualmente e prepará-los para o imponderável desenvolvimento de novas TICs (Unesco, 2014).

Dessa forma, esse trabalho também é uma tentativa de fomentar uma educação e alfabetização midiática e tecnológica para promover uma formação mais próxima do cotidiano tecnológico no qual os alunos estão inseridos.

No passado, o uso de smartphones em sala de aula, teve um papel considerado ruim no cotidiano escolar.

Apesar da lei estadual 12.730/2007 que proibiam seu uso dentro das instituições de ensino, esse desenvolvimento tecnológico tem se mostrado cada dia mais presente e acessível nas escolas públicas e privadas.

Após a aprovação da lei 16.567/2017, que alterou a lei 12.730/2007 e permitiu o uso de celulares no ambiente escolar com fins pedagógicos se tornou necessário que os professores

integrem o uso desses aparelhos ao ensino de seus conteúdos programáticos, dando assim, uma função pedagógica à ferramenta que anteriormente era considerado um empecilho para o andamento da aula.

Com o avanço tecnológico das câmeras digitais e o aprimoramento das filmagens em “câmera lenta” dos modelos de telefones móveis, tornou-se possível analisar e estudar eventos de curto intervalo de tempo e sendo muito mais fácil e atrativo, pois ajuda a perceber com uma maior riqueza de detalhes e exatidão os eventos que seriam impossíveis de serem vistos a olho nu. Um exemplo disso pode ser percebido quando se analisa intervalos de tempo de deslocamento de objetos em curtas distâncias (como a rolagem de esferas nos planos inclinados e rampas) que facilitam a determinação da velocidade de seus movimentos e posteriormente inferir sobre a energia cinética dos corpos.

1.6 Abstração das grandezas físicas.

O conceito de energia pode ser considerado um dos mais importantes na Física, pois ela, além de ser interdisciplinar com a Química, Biologia e outras ciências, tem aplicações em praticamente todas as áreas da Física, desde a Mecânica, passando pela Termodinâmica, Óptica, Eletromagnetismo, até a Quântica e a Relatividade. Em contrapartida, esse conceito é bastante abstrato o que acaba tornando-o difícil de ser ensinado uma vez que a palavra energia é cotidianamente utilizada com significados diferentes do conceito físico. (Barbosa e Borges, 2006)

Como mostrado por Araújo e Abib (2003), Duarte (2012), Carvalho (2014, 2015) e Sasseron (2008, 2014), os conceitos físicos são relativamente aceitos ou entendidos com facilidade em experimentos concretos e simples. No entanto, ao se tentar ampliar essa visão e usar modelos matemáticos, que descrevem quantitativamente a relação entre as grandezas físicas envolvidas, existe uma lacuna entre o concreto e o abstrato que dificulta o andamento do aprendizado dos alunos.

Todavia, deve-se tomar cuidado com essa visão, pois podemos acabar por “culpar” a Matemática, ou o ensino de Matemática, o que não é preocupação desse trabalho. Como afirma Pietrocola (2002), a matemática é estruturante do conhecimento físico. Assim sendo, o ensino de Física deve estar atrelado a uma concepção que inclua no conhecimento físico, e a modelização matemática promovendo o diálogo entre a realidade e a abstração matemática, entre o empírico e o teórico. O Ensino de Física deve, portanto, apresentar atividades

experimentais para que se possa promover nos alunos uma forma de ultrapassar essa dificuldade ou obstáculo pedagógico.

1.7 Organização da dissertação.

No capítulo 2 é descrito os objetivos dessa dissertação. Ela se divide em duas seções principais: Objetivo geral ou objetivo de pesquisa e o Objetivo específico ou Objetivo de Ensino.

No capítulo 3 é mostrado a pesquisa bibliográfica nas obras didáticas de Física para o ensino médio e a fundamentação teórica utilizada no projeto.

No capítulo 4 é descrito a metodologia utilizada, desde o desenvolvimento do produto de ensino, a sequência didática e da avaliação dos alunos pela SEI.

No capítulo 5 é discutido as respostas dos alunos durante as atividades e é feita uma análise de cada aula que compõe o produto didático.

As conclusões e considerações finais estão no capítulo 6.

Por último temos as referências bibliográficas e os apêndices no capítulo 7.

2 Objetivos

Tem-se como objetivo de pesquisa superar a concepção normal do Ensino Médio em que a conservação de energia mecânica deixa para segundo plano a energia cinética de rotação dos corpos no rolamento de objetos em rampas. Essa concepção é comumente mostrada nos livros didáticos de nível médio o que evidencia uma necessidade no desenvolvimento de um produto didático para o Ensino Médio que mostre para os alunos quais os limites das aproximações no estudo de conservação de energia mecânica.

Este trabalho, portanto, teve como objetivos elaborar uma sequência didática para o ensino médio que possa ser divulgada e replicada em outras salas de aula e que promova uma discussão e uma reflexão a respeito da lei de conservação de energia mecânica para professores e alunos do ensino médio público municipal.

2.1 Objetivos Específicos

Desenvolver uma sequência didática de caráter investigativo (SEI) para o ensino de inércia rotacional, energia cinética de rotação para alunos de nível médio.

Levar os alunos a entender as influências geradas pelas alterações nas trajetórias no deslizamento ou rolamento, a influência no objeto (geometria) no intervalo de tempo de translação e a verificação da conservação da energia mecânica no rolamento dos objetos na rampa.

Investigar a influência que a sequência didática investigativa desenvolvida teve no processo de aprendizagem dos alunos.

Averiguar como as atividades experimentais motivam os alunos a aprender Física quando interagem com o experimento e se inserem como agente científico ao invés de serem ouvintes passivos do conhecimento.

Desenvolver nos alunos, a partir de um ambiente de aprendizagem diferente da sala de aula, uma visão crítica em relação ao processo de desenvolvimento da ciência e de como funciona os “métodos científicos”.

3 Pesquisa bibliográfica e Fundamentação teórica.

3.1 Estudos em ensino de dinâmica rotacional.

Estudos com abordagens de ensino de dinâmica das rotações, para o ensino médio, não é uma novidade e existem outras propostas na literatura com diferentes enfoques para abordagem desse conteúdo.

Abordagens com experimentos didáticos para estudo da dinâmica no movimento circular assim como o uso de softwares ou aplicativos já se mostraram promissores no aprendizado dos conceitos envolvidos Benevites et.al (2009), Carvalho (2010).

Em contrapartida, como esse conteúdo não é comum ao ensino médio nem está previsto na Base Nacional Curricular Comum (BNCC) a quantidade de trabalhos nessa área é um pouco limitada.

Rubini, Kurtenbach e Silva (2005) criaram um módulo chamado “Coisas que giram” no qual eles demonstram a conservação de momento angular de forma interativa com os visitantes do Espaço Ciência Viva no Rio de Janeiro – RJ, através de experimentos lúdicos e qualitativos. Ou seja, como o Espaço Vida é um museu, a ludicidade é utilizada como “ponte” para trazer os conceitos físicos de forma qualitativa aos visitantes, o que acaba por não passar todo o conhecimento Físico envolvido na exposição, porém pode ser utilizado por um professor como ponto de partida ou uma boa ilustração das grandezas como o momento de inércia e a conservação de momento angular.

Em Celeste e Neto (2011) mostrou um experimento no qual demonstrou a influência do momento de inércia no rolamento dos objetos em um plano inclinado. No trabalho deles, é feita uma previsão teórica a respeito dos momentos de inércia de diferentes objetos e procura-se verificar como eles afetam a velocidade dos objetos ao rolar por uma rampa. Apesar desse experimento ter sido aplicado para alunos de graduação do curso de Licenciatura em Física, as previsões teóricas a respeito do rolamento dos corpos são semelhantes ao que obtivemos nesse experimento, no ensino médio.

Duarte (2012) criou uma sequência didática no qual utiliza um experimento real e um *applet* construído em Java. Seu aparato experimental real procura deduzir o momento de inércia ou inércia de Rotação de um haltere de duas formas distintas. Uma a partir de um torque constante aplicado no eixo de sustentação do haltere por uma linha de náilon preso a um “peso

de pesca” e outra a partir de colisões com objetos de massas diferentes e soltos de uma determinada altura. Após isso ele simula os mesmos experimentos em um applet e, a partir da simulação, extrai as relações matemáticas do problema.

Laia (2015) propõe um experimento no qual utiliza um rotor vertical preso a um disco que possui quatro riscadores para traçar, por atrito, uma superfície horizontal. O experimento consiste então em analisar a transformação de energia potencial gravitacional de um peso ligado por fios ao rotor transformando a energia potencial gravitacional do peso em energia cinética de rotação no rotor e, posteriormente, em energia dissipada no atrito entre os riscadores e a superfície horizontal. Um ferrolho que possui uma mola comprimida funciona como gatilho para mostrar a transformação da energia potencial elástica da mola em energia cinética de translação do sistema rotor e disco com riscadores. A partir da dissipação da energia por atrito até alcançar o repouso e, analisando os traçados dos riscadores na superfície, o trabalho da autora foi capaz de mostrar uma forma de estudar o momento de inércia do rotor quando recebe o torque do fio ligado ao “peso de pesca.”

3.2 Conservação de energia no rolamento de objetos em rampas.

O estudo da queda dos corpos em planos inclinados foi iniciado com os estudos de Galileu Galilei no século XV. Atualmente, no ensino médio é bastante comum estudar as energias envolvidas no escorregamento/rolamento de um corpo em uma rampa, adotando que os corpos ou objetos são pontos materiais. Nesse caso, pode-se afirmar que a energia mecânica deles ao descender rampas estão sob a forma de energia potencial gravitacional e energia cinética de translação dos objetos. É comum nesses casos que se ignore o movimento de rotação dos objetos. Notadamente podemos dizer que a diferença entre a energia potencial gravitacional inicial (no momento do abandono) e a final (no final da rampa) e a energia cinética do corpo (no final da rampa) onde a altura é padronizada como zero, foi dissipada durante a queda.

Por outro lado, se considerarmos que os objetos rolarão sobre a rampa sem haver deslizamento, podemos afirmar que o atrito entre o objeto e a rampa não realizará trabalho resistente e, portanto, não dissipará significativamente a energia mecânica, pois não haverá transferência de energia do corpo para a rampa.

Nessa situação podemos afirmar que a energia potencial gravitacional armazenada no objeto no ponto de abandono será aproximadamente igual à energia cinética total do objeto

distribuída na forma de energia cinética de translação ($E_{c \text{ trans}}$) e energia cinética de rotação ($E_{c \text{ rot}}$).

Na dinâmica rotacional, o momento de inércia ou inércia de rotação está relacionado à propriedade dos objetos a se oporem a mudança de momento angular. Nesse caso, pode-se afirmar que o momento de inércia é a grandeza análoga à massa inercial quando os objetos se opõem à mudança do momento linear. O movimento de rotação não mais pode ser descrito como um ponto material, sendo necessário definir como a massa está distribuída em torno de um eixo de rotação.

Assim, define-se momento de inércia de um corpo extenso, a partir de uma partícula de massa m que gira em um movimento circular a uma distância r de um eixo de rotação, como:

$$I = mr^2$$

Nota-se a partir desta definição, a importância da distribuição de massa para a composição da inércia de rotação pois é atribuído um peso maior a distribuição de massa (r^2) do que à própria massa m . A inércia de rotação difere-se da massa inercial pois seu valor não é único. Para cada posição do eixo de rotação existe um valor de inércia de rotação associado, pois é necessário reconsiderar a nova posição (ou distribuição) da massa em relação ao eixo de rotação.

Para um conjunto de n partículas de massa m_i e a respectiva distância r_i , temos o momento de inércia total:

$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

Se considerarmos agora que o momento de inércia de um corpo extenso contínuo seja aproximadamente igual ao momento de inércia de infinitas partículas, que possuem massas infinitesimais dm e a respectiva distância r do eixo de rotação, temos:

$$I = \int r^2 dm$$

Para uma esfera maciça de massa M e raio R , com o eixo de rotação passando pelo centro da esfera, temos:

$$I_{\text{esfera maciça}} = \frac{2}{5} MR^2$$

Para um cilindro maciço de massa M e raio R , para um eixo de rotação concêntrico ao cilindro, temos:

$$I_{cilindro\ maciço} = \frac{1}{2}MR^2$$

Note que o resultado não depende do comprimento L do cilindro.

De forma geral, a inércia de rotação tem a forma:

$$I = CMf(r^2)$$

Em que C é uma constante, que depende da forma de distribuição da massa, e $f(r^2)$ uma função dependente da geometria de distribuição da massa.

A energia cinética de rotação dos objetos, em função das grandezas de rotação, é definida como:

$$E_{c\ rot} = \frac{1}{2}I\omega^2$$

Em que I é o momento de inércia do objeto e ω é a velocidade angular de rotação do objeto.

No rolamento sem escorregamento podemos afirmar que a velocidade de translação do centro de massa do objeto é igual à velocidade tangencial da extremidade do corpo em contato com a superfície, assim, temos:

$$v = \omega R \rightarrow E_{c\ rot} = \frac{1}{2}I\left(\frac{v}{R}\right)^2$$

Para um cilindro maciço de massa M de raio R , temos:

$$E_{c\ rot\ cilindro} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}MR^2\right)\left(\frac{v}{R}\right)^2$$

$$E_{c\ rot\ cilindro} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}Mv^2\right) = \frac{1}{2}E_{c\ translação}$$

Isto é, a energia cinética total está distribuída $\frac{3}{4}$ para a energia cinética de translação e $\frac{1}{4}$ para a energia cinética de rotação.

Analogamente para uma esfera maciça de raio R , temos:

$$E_{c \text{ rot esfera}} = \frac{1}{2} \left(\frac{2}{5} MR^2 \right) \left(\frac{v}{R} \right)^2$$

$$E_{c \text{ rot esfera}} = \frac{2}{5} \left(\frac{1}{2} Mv^2 \right) = \frac{2}{5} E_{c \text{ translação}}$$

Isto é, a energia cinética total está distribuída $\frac{5}{7}$ para a energia cinética de translação e $\frac{2}{7}$ para a energia cinética de rotação.

Portanto, ignorar a rotação dos objetos corresponderia a uma incerteza de 25% para a energia cinética da esfera e 29% para o cilindro, que seria prontamente atribuída pelos alunos (e talvez pelo professor) às “forças dissipativas”.

Pela conservação de energia mecânica de ponto material e desprezando as perdas por forças dissipativas, temos para $\Delta y = -h$ e $\Delta v = v - 0$:

$$\Delta E_{pg} = -\Delta E_c$$

$$-mg\Delta y = \frac{1}{2} m(v^2 - v_o^2), \text{ e para } \Delta y = -h \text{ e } v_o = 0$$

$$mgh = \frac{1}{2} mv^2$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

Pela conservação da energia mecânica de corpo extenso, temos:

$$\Delta E_{pg} = -(\Delta E_{c-tra} + \Delta E_{c-rot})$$

Para os corpos cilíndricos, temos:

$$mgh = \frac{1}{2} Mv^2 + \frac{1}{4} Mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{4}{3} gh}$$

Para os corpos esféricos, temos:

$$mgh = \frac{1}{2} Mv^2 + \frac{1}{5} Mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{10}{7}gh}$$

Vale ressaltar que as expressões da velocidade de translação dos corpos dependem dos valores da aceleração gravitacional do local, da altura inicial do qual o corpo é abandonado e um fator que é determinado pelo momento de inércia do objeto. Ou seja, a massa e o raio do objeto não alteram as velocidades de translação dos objetos durante o rolamento, mas a forma do objeto (e seu momento de inércia) é que a definem.

Nota-se que quando forem comparadas as energias cinéticas de translação dos objetos com as energias potenciais gravitacionais iniciais no ponto de abandono, os alunos devem encontrar uma defasagem nos valores de velocidade determinados pelo experimento ~18,4% e ~15,5% menores, para o cilindro e a esfera maciça, que aqueles esperados quando considerados o deslocamento de pontos materiais.

Essa defasagem, se forem desprezadas ou minimizadas as perdas de energia por forças dissipativas, será investigada pelos alunos ao ponto de perceberem que os objetos que rolam ao invés de escorregar ficam com menores energias cinéticas finais de translação, induzindo ao conceito de energia cinética de rotação e posteriormente em inércia de rotação.

3.3 Teorias psicológicas das abordagens educacionais.

Suscintamente, Piaget desenvolveu a Epistemologia Genética no qual defende que o aprendizado ocorre devido ao desenvolvimento das estruturas cognitivas do indivíduo na realização de suas atividades. Para ele, é a relação entre o indivíduo e seu objeto de estudo (ou interação) que é relevante para o aprendizado de determinado conteúdo. Dessa forma a utilização da sequência de ensino investigativo no qual o aluno deve interagir com a rampa, tomar dados e analisar as grandezas físicas envolvidas é priorizada.

Nas abordagens piagetianas podemos verificar três etapas para a construção do conhecimento. Piaget (1974) usou e explicou a aprendizagem utilizando os conceitos de equilíbrio, desequilíbrio e reequilíbrio. Assim, para o aluno aprender, deve-se considerar que seu conhecimento anterior, inicialmente equilibrado, seja perturbado causando um desequilíbrio de seu conhecimento, para que seja necessário outro conhecimento ou um aprimoramento dele ou uma adequação do conhecimento preexistente, para reequilibrar suas ideias novamente, e ter seu conhecimento transformado ou evoluído.

Podemos evidenciar essa teoria demonstra a importância de se colocar um problema ou fazer uma problematização para iniciar a construção de um novo conhecimento. Esse desequilíbrio mostra aos alunos que seus conhecimentos prévios, ou consolidados até o momento, não são suficientes para resolver o determinado problema proposto, necessitando de aperfeiçoamento ou mudança de conhecimento. Por último, percebe-se a necessidade de se mostrar como é importante a reestruturação do novo conhecimento ou uma ressignificação dos conceitos anteriores para que possa haver um novo reequilíbrio e aplicar seu conhecimento, agora equilibrado, em uma situação semelhante ou análoga.

Complementarmente, Vygotsky teorizou a Psicologia Sociocultural que culminou na abordagem sócio interacionista no qual o desenvolvimento humano ocorre somente se o indivíduo estiver imerso entre outras pessoas no qual ele possa interagir. Ou seja, as abordagens Vygotskianas baseiam-se na concepção de que o desenvolvimento cognitivo humano se dá pelas relações sociais que o indivíduo (aluno) faz durante sua vida escolar ou não.

Assim, é papel do professor colocar os alunos em situações-problema no qual eles tenham que interagir entre si, como em um trabalho em grupo. Essa interação faz com que haja uma troca conhecimento entre eles gerando um crescimento mútuo entre os participantes. Assim, como os alunos possuíam conhecimentos prévios diferentes, pois passaram por situações sócio-históricas distintas em sua vida pregressa, um indivíduo terá mais conhecimento sobre um determinado tema e o outro indivíduo terá mais conhecimento em outro tema, gerando uma complementação e desenvolvimento mútuo.

Percebe-se que intrinsecamente, as teorias de Piaget e Vygotsky são diferentes, para não dizer opostas em relação a forma de adquirir conhecimento. Uma baseia-se na relação indivíduo-objeto, a outra na relação indivíduo-indivíduo. No entanto, apesar de já terem sido consideradas teorias opostas do conhecimento, elas podem ser consideradas complementares na área da educação. (Carvalho, 2013)

Como não se sabe definitivamente como se desenvolve o aprendizado, é necessário que diferentes psicologias sejam utilizadas para suprir as diferentes necessidades dos alunos.

Ou seja, a forma de adquirir conhecimento é subjetivo, ou seja, é característico de cada pessoa. Assim, em uma sala de aula heterogênea com alunos muito diferentes, é necessário que se dê uma ampla oportunidade para que os alunos possam adquirir conhecimento através de uma abordagem piagetiana no qual ele interagirá com o objeto de estudo, mas também através das relações com os outros alunos e professores nas aulas e discussões propostas.

3.4 Sequência de Ensino investigativo (SEI)

A Abordagem Tradicional, no qual o centro do conhecimento está no professor, é uma das abordagens mais comuns no ensino regular do Brasil. Essa abordagem leva a um aprendizado passivo dos alunos e que pode não levar a uma aprendizagem significativa. A abordagem tradicional utiliza-se principalmente das tecnologias de ensino centradas no professor e dependentes dele. Como exemplo, podemos mostrar as aulas expositivas onde os alunos ficam passivamente tentando entender o conhecimento já estruturado do docente usando a cópia de conteúdo da lousa ou de outros materiais para seu registro e memorização. (Mizukami,1986)

As sequências de ensino investigativo SEI surgiram, portanto, da necessidade de se desenvolver uma abordagem no qual o centro é o aluno e principal objetivo é o aprendizado ativo do aluno que leve a um aprendizado significativo. O aluno passa de um ouvinte, que é uma característica das abordagens tradicionais, para um papel de ator científico, no qual ele precisa se impor e atuar sobre um problema ou fenômeno.

Para isso a SEI desenvolvida se baseia na proposta didática dos Três Momentos Pedagógicos (3 MPs) de Delizoicov e Angotti (1990) no qual designa-se em Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento. Assim, a Problematização Inicial, causa desequilíbrio no conhecimento prévio do aluno inicialmente equilibrado. Esse desequilíbrio gera uma reorganização do conhecimento levando a um reequilíbrio do conhecimento do aluno com o novo conhecimento.

Com o avanço da tecnologia de comunicação e o aumento na quantidade de informações que se pode encontrar na internet é um problema para os professores conseguir desenvolver todo o conteúdo de Física. Assim, as SEIs tendem a ser uma boa estratégia de ensino, pois ensina aos alunos uma forma de interagir com a natureza e principalmente investigar um fenômeno e solucionar um problema.

A Sequência de ensino investigativa da ciência é, portanto, de extrema importância para o desenvolvimento do aluno para se tornar um cidadão crítico, pois abordagem ensina também uma alfabetização científica dos alunos que ajuda no desenvolvimento cidadão e com criticidade, assim como implementar dentro do ambiente escolar uma cultura científica.

Apesar de não podermos definir apenas um “método científico”, a alfabetização científica tem grande importância, pois ensina algumas etapas e raciocínios são imprescindíveis

para o desenvolvimento cognitivo e científico dos alunos. (SASSERON & CARVALHO, 2008)

3.5 Uso de experimentos e laboratórios em sala de aula

É consenso entre os professores de Física que o uso da experimentação no ensino de Física pode despertar interesse dos alunos em sala de aula apesar da heterogeneidade dos alunos das escolas brasileiras.

De acordo com Villani (1994), o desinteresse dos alunos nas aulas tradicionais de física, pode ser atribuído quando há uma falta de significado ou aplicabilidade na vida cotidiana do conteúdo para o aluno, ou seja, a dificuldade ou desinteresse dos alunos em relação a um conteúdo pode ser causada pela ausência ou falta de ressignificação de seus conceitos prévios ou de senso comum, uma vez que sua alfabetização científica foi precária ou deficiente. Dessa maneira, podemos verificar que o ensino tradicional de física para esse tipo de aluno não leva a uma aprendizagem significativa, pois a deficiência em um aprendizado anterior ou a falta de aprendizagem significativa anterior dificulta o seu desenvolvimento para as próximas etapas do aprendizado em Física. Assim, alunos com pouca alfabetização científica acabam por interagir melhor com experimentos qualitativos do que com experimentos quantitativos.

Observou-se recentemente que o uso de recursos tecnológicos para a interação dos alunos com fenômenos aumentou a capacidade de aprendizagem dos estudantes (Araújo, 2005), pois o uso de aplicativos dá condições ao aluno de desenvolver hipóteses, testá-las, analisar resultados repetidamente e refinar os conceitos (Valente, 2003).

Acredita-se que diferentes tentativas de abordagem traz um impacto positivo no cotidiano escolar dos discentes, o que leva a um maior interesse dos alunos e possivelmente funciona como um gatilho para desenvolver uma motivação intrínseca facilitando a aprendizagem dos alunos.

Dada a heterogeneidade dos discentes, tanto socialmente, economicamente e de estágios de desenvolvimento cognitivo, é necessário que se busque diferentes formas de abordar os conceitos físicos mais abstratos, como por exemplo o conceito de energia e inércia de rotação.

Dessa forma, acredita-se que a abordagem com experimento real em consonância com a utilização de ferramentas acessíveis aos smartphones podem ser uma alternativa à forma

tradicional de ensino, ou seja, o uso desse ferramental pode ser uma “ponte cognitiva” para criar um ambiente propício para uma aprendizagem significativa. (Ausubel, 1980)

Os Laboratórios estruturados são atividades que dão ao aluno orientações detalhadas de como proceder, o que fazer e como fazer para alcançar um objetivo. Já os laboratórios não estruturados são aqueles no qual o docente propõe uma atividade apenas com o objetivo ou problema. O aluno fica responsável por definir como serão os procedimentos para alcançar o objetivo proposto. (Romey, 1968)

Moreira e Gonçalves (1980), mostram que não existe uma diferença significativa no aprendizado dos alunos quando utilizam laboratórios estruturados ou não estruturados. Ambas abordagens geram aprendizagens de níveis semelhantes, porém os laboratórios não estruturados tendem a correr um risco maior de levar um tempo maior e necessitar uma dedicação maior do docente para alcançar o objetivo.

3.6 Motivação

Outro problema comumente encontrado nas salas de aula é a desmotivação tanto dos alunos como dos professores que, por estarem inseridos no sistema educacional público brasileiro, que passa por problemas de sucateamento tanto estruturais como de recursos humanos acaba por agravar ainda mais as relações de ensino e aprendizagem. Por essa razão se achou importante uma breve investigação a respeito da motivação no ensino, apesar da enorme complexidade desse tema.

A partir das pesquisas de Todorov e Moreira (2005), a motivação é definida por diversos autores como uma característica psicológica que abrange uma série de comportamentos e ações que levam o indivíduo a seguir ou continuar a fazer determinada atividade ou até alcançar um determinado objetivo.

A motivação, segundo Huertas (2001), Harter (1981) pode ser definida em duas categorias: a motivação intrínseca e a motivação extrínseca. Segundo Huertas, a motivação intrínseca é subjetiva, própria do sujeito e está fechada nela mesma. Ou seja, é aquela que leva uma pessoa a se auto motivar a fazer algo ou ter alguma atitude sem uma relação direta à alguma recompensa externa a ela. Já a motivação extrínseca é aquela que leva uma pessoa a realizar uma atividade visando uma recompensa ou benefício externo a ela.

Harter (1981) mostra algumas características dessas motivações intrínsecas e extrínsecas dentro da sala de aula delineando as ações dos discentes no processo de ensino aprendizagem, mostrando os extremos ou polos das características ou comportamentos usados pelos alunos no seu período de aprendizagem.

Polo intrínseco	Polo extrínseco
Preferência por desafios	Preferência por terminar o trabalho facilmente
As crianças gostam de trabalhos desafiadores	As crianças gostam de atribuições e matérias fáceis
Curiosidade e interesse	Agradar o professor/ obter nota
A criança trabalha para satisfazer seu interesse ou curiosidade	A criança faz suas atividades escolares para satisfazer o professor, obter pontos e notas
Independência/ autonomia	Dependência do professor
A criança prefere fazer o seu trabalho e resolver os problemas por si só	A criança prefere contar com a ajuda do professor, particularmente quando ele traz os problemas e propõe atividades
Julgamento independente	Depende do julgamento do professor
A criança sente que é capaz de fazer alguns julgamentos sobre o que fazer	A criança depende primeiramente da opinião e julgamento sobre o que fazer do professor
Critérios internos	Critérios externos
A criança sabe quando ela teve êxito ou fracassou nas atividades ou avaliações	Dependência da criança com origens externas, avaliação do professor, notas e pontuação

Tabela 1 - Aspectos motivacionais. Fonte: Harter (1981)

Percebe-se que a motivação é de enorme relevância para o encaminhamento de qualquer estudo ou atividade. Assim, sair do ambiente da sala de aula para ambientes menos organizados como a sala de vídeo ou até mesmo locais incomuns cria expectativas e transparece aos discentes um empenho criativo do docente que pode acabar se transformando em uma possível

motivação, o que evidencia como a preparação das atividades e das aulas são de extrema relevância para a prática docente. Segundo Fita (1999) “decidir que tarefas e que atividades de ensino-aprendizagem os alunos realizarão é uma das tarefas mais criativas que nós, professores, realizamos” (p. 111).

Segundo trabalhos de Batista e outros, (2017), Pereira e Freitas (2017), Santos (2016) uma motivação dos alunos pode ser alcançada quando se insere as TICs em situações de ensino e aprendizagem dos alunos. Uma vez que se mostra uma atualização na forma de interação entre alunos e professores.

4 Metodologia

O projeto de mestrado ocorreu a partir do desenvolvimento de uma sequência didática que levasse os alunos a desenvolver o conceito de momento de inércia ou inércia de rotação de diferentes objetos sob a ação de um campo gravitacional uniforme através de um experimento real, analisado com ferramentas da tecnologia da informação.

O produto foi aplicado com 35 alunos de primeiro ano do ensino médio regular de uma escola pública municipal, em um conjunto de nove aulas como mostrado a seguir:

Aula	Data	Descrição
1	9 Out/18	Discussão inicial, avaliação diagnóstica.
2	11 Out/18	Feedback da avaliação diagnóstica e discussão dos conhecimentos em relação aos conceitos de Energia e ciência.
3	16 Out/18	Avaliação dos conhecimentos de energia e como determinar as energias cinéticas e potenciais, assim como a energia mecânica.
4	6 Nov/18	Intervenção: Retomada dos conteúdos Energia Cinética e potencial gravitacional. Verificação da lei de conservação de energia mecânica no rolamento dos corpos.
5	13 Nov/18	Determinação das energias potenciais e cinéticas dos objetos da rampa. Verificação da diminuição da energia cinética de translação dos corpos.
6	20 Nov/18	Determinação das velocidades dos objetos e comparação de resultados.
7	22 Nov/18	Discussão dos resultados e estudo padronizado na rampa.
8	27 Nov/18	Discussão dos resultados e conceituação do momento de Inércia, orientações para relatório.
9	29 Nov/18	Discussão Final e Orientações do relatório.

Tabela 2 - Organização das aulas. Fonte: O autor.

Cada aula teve o objetivo de introduzir algum conceito físico ou um questionamento a respeito do conteúdo para tentar gerar uma reflexão e discussão entre os alunos.

Após as aulas, foi feita uma análise qualitativa pelo professor através das discussões entre os alunos nos quesitos conceituais da Física, de desenvolvimento científico e uma análise da motivação dos alunos.

A avaliação da aprendizagem ocorreu através do registro escrito a partir de questionários aplicados em diferentes instantes do processo de aprendizagem com um caráter de avaliação contínua prevista nos PCNs (Brasil,2006) e na BNCC (Brasil, 2018) e na observação da aprendizagem dos alunos nas discussões entre eles com registros orais e escritos.

4.1 Desenvolvimento da sequência didática.

Inicialmente, o projeto previa o desenvolvimento de um aplicativo de celular que simulasse o rolamento de diferentes corpos em diferentes formatos de rampas. O desenvolvimento desse aplicativo, porém, se mostrou muito trabalhoso e pouco frutífero uma vez que apenas traria a ilustração de um fenômeno da natureza de forma idealizada e que traria pouco desenvolvimento científico e desenvolvimento de pensamento crítico aos alunos.

Outro problema encontrado foi que o projeto inicial previa um auxílio externo para o desenvolvimento do aplicativo, o que infelizmente não foi possível. Desse modo, o desenvolvimento de um aplicativo que ilustrasse um fenômeno idealizado e sem as dificuldades de se fazer ciência foi descartado do projeto e substituído por um experimento real feito com rampas de madeira e suporte e objetos para rolar nelas. Os smartphones passaram a ter um papel auxiliar no estudo dos objetos utilizando suas câmeras de filmagem, em tempo real e em câmera lenta, ao invés de possuírem o objeto de estudo instalado neles.

4.2 O produto didático

O produto didático consiste em um conjunto de aulas teóricas e experimentais que visem o aluno a compreender as diversas grandezas físicas envolvidas no movimento de um corpo em uma rampa e como elas se relacionam. Para isso, utilizou-se questionários de avaliação, aulas expositivas, interação com uma simulação computacional e em análises de situações propostas soltando e observando os diferentes objetos descendo por uma rampa real de madeira.

4.2.1 Simulação PHET Colorado.

Para ilustrar e servir como comparativo entre as previsões teóricas de conservação de energia foi utilizado uma simulação computacional desenvolvida pelo projeto PhET Simulações Interativas da Universidade de Colorado. Essa simulação está disponível no endereço eletrônico:

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



Figura 1 – Tela inicial da simulação. Fonte: Phet Colorado.edu.

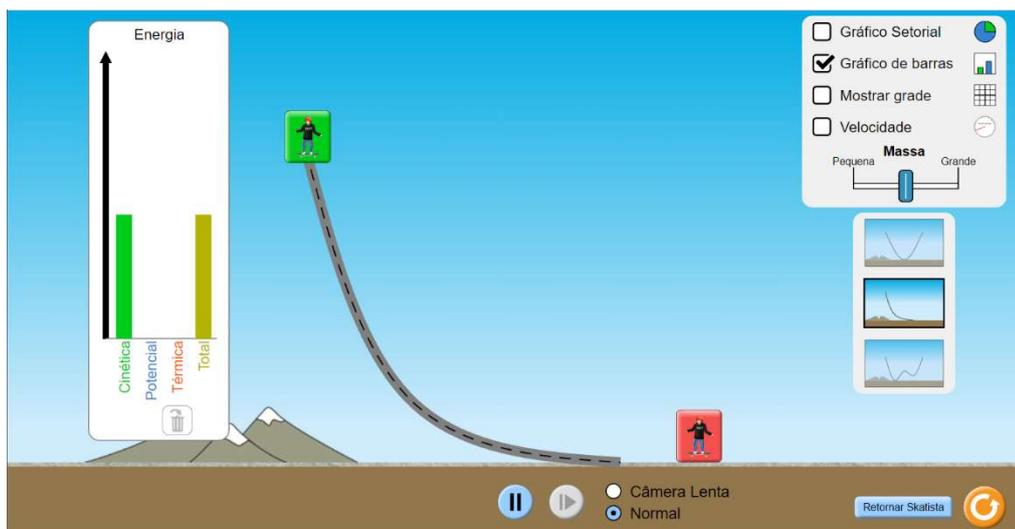


Figura 2- Tela do applet. Fonte: Phet Colorado.edu.

A simulação foi utilizada como forma de ilustrar as grandezas estudadas durante o projeto e ajudar os alunos a entenderem os conceitos de energia cinética, potencial gravitacional e energia dissipada. O *applet* tem representações gráficas muito boas e dá uma liberdade para se interagir e entender melhor os conceitos físicos.

4.2.2 As rampas.

As 4 rampas foram construídas com 2 folhas madeira do tipo compensado de 10 mm de espessura. Os cortes nessas madeiras foram feitos com serra elétrica do tipo “tico-tico” para conseguir os formatos desejados. Um como plano inclinado e a outra como um segmento de circunferência de raio 1,2 metros. Para sustentação a base horizontal e vertical foram cortadas com formato retangular de modo que a base vertical ficou com altura de 1,2 m e base com comprimentos horizontal de 1,5 m.

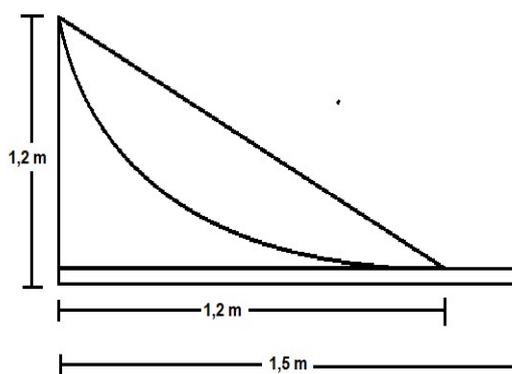


Figura 3 - Projeto da rampa. Visão frontal. Fonte: o Autor.

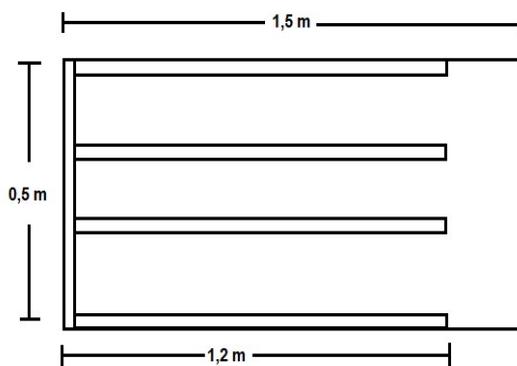


Figura 4 - Projeto da rampa. Visão superior. Fonte: o Autor.

Como guia para as trajetórias dos corpos, foi utilizado rampas de brinquedo *Hot-Wheels* para ter uma certa rigidez e manter a trajetória dos objetos que desceriam por ela.



Figura 5 - Partes de pista HotWheels para guia. Fonte: o Autor

Para efeito de comparação e controle foram feitas 2 rampas retilíneas lado a lado, com planos inclinados de angulação de 40° com a horizontal e 2 rampas com formato de segmento de circunferência.

Para fixação dos componentes das rampas foi utilizado parafusos de madeira de aço de 2 mm e cantoneiras em L para as peças de madeira.



Figura 6- Parafuso de aço para madeira de 2mm. Fonte: o Autor.



Figura 7 - Cantoneira em L. Fonte: o Autor.



Figura 8 - Rampa vista superior. Fonte: o Autor.

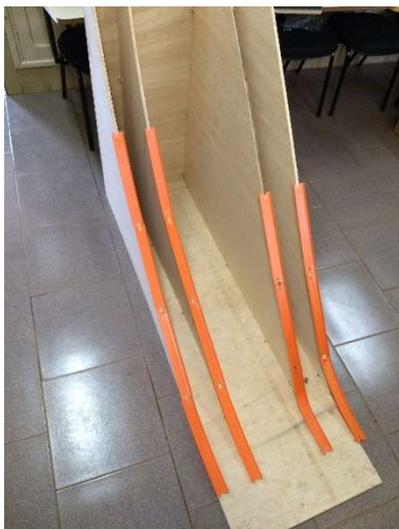


Figura 9 - Rampa vista frontal. Fonte: O autor.



Figura 10 - Rampa completa vista frontal. Fonte: O autor.

4.2.3 Os objetos

Para os objetos a serem estudados, foram escolhidos apenas dois formatos geométricos. Os cilindros e as esferas.

4.2.3.1 Cilindros

Para a produção dos cilindros foi utilizado tornos mecânicos monofásicos de 500mm disponibilizados pela Escola Profissionalizante Escola Profissionalizante Édison de Almeida. Foram utilizados cilindros usinados em policarbonato e em aço 1040, com alturas iguais a 15 mm e diâmetros e massas, distintas.



Figura 11 - Cilindros de Poliocarbonato. Fonte: O autor.



Figura 12 - Cilindros de Aço. Fonte: O autor.

Esses diferentes materiais foram utilizados para podermos comparar objetos de diferentes massas e diâmetros e mostrar para os alunos que essas grandezas não influenciam no tempo de rolamento dos objetos nas rampas.

4.2.3.2 Esferas

Foram utilizadas esferas coloridas de borracha de 27mm de diâmetro para rolar nas rampas.



Figura 13 - Esfera de 27mm. Fonte: o Autor.

4.2.3.3 Balança

A massa foi medida com balanças eletônicas comerciais para culinária, com capacidade de medição entre 1g e 10kg.



Figura 14 - Balança. Fonte: O autor.

4.3 A sequência didática

Foi definido que a sequência didática inicial deveria ser realizada em 10 aulas de 50 minutos, sendo subdivididas em cinco etapas:

1. Verificação dos conhecimentos prévios dos alunos;
2. Organização do conhecimento dos alunos;
3. Problematização, aplicação e investigação do conhecimento dos alunos;

4. Reflexão a respeito dos conhecimentos adquiridos pelos alunos;
5. Discussão final e avaliação do conhecimento.

Por problemas burocráticos e de necessidade de adequação do projeto à realidade dos alunos durante o seu andamento, algumas mudanças e adequações foram necessárias. Tiveram que ser retiradas 2 aulas referentes à semana de provas dos alunos. Assim, o estudo epistemológico da Física ficou presente apenas nas últimas aulas, o que acabou por tornar as discussões um pouco aquém do esperado.

4.3.1 Aula 1 – Introdução: verificação dos conhecimentos prévios dos alunos

O início do projeto foi implementado inicialmente como uma conversa informal entre os alunos e o professor a fim de verificar o conhecimento prévio dos alunos e sua alfabetização científica. Para isso foi utilizado o questionário de avaliação diagnóstica mostrada no apêndice A.

4.3.2 Aula 2 – Discussão sobre a avaliação diagnóstica para os alunos

Essa aula foi reservada para mostrar aos alunos o desempenho deles no questionário e tentar elucidar algumas dúvidas a respeito das sentenças descritas no questionário.

Cada afirmação foi comentada pelo professor e discutidas com alunos para encontrar as deficiências no conhecimento físico dos alunos.

4.3.3 Aula 3 – Aplicação do Questionário 1

Essa terceira aula introdutória foi subdividida em outras duas partes.

1. Verificação e análise dos conhecimentos físicos dos alunos referente à energia mecânica e sua conservação.
2. Verificação dos conhecimentos epistemológicos dos alunos em relação à Física e seu desenvolvimento.

Parte 1 - Conhecimento Físicos em energia mecânica.

1. O que é energia cinética? Onde/como podemos observá-la.
2. O que é Energia potencial gravitacional? Onde podemos observá-la.
3. Como podemos ver a transformação de energia potencial gravitacional em energia cinética ou vice-versa?

4. A lei de conservação de energia funciona? É possível testar essa Lei?
5. Como podemos medir a velocidade dos objetos no final da queda para calcular a energia cinética?

Parte 2 - Conhecimentos Científicos.

Atualmente, podemos dizer que vivemos em uma sociedade que valoriza a cultura científica, afinal você já deve ter visto produtos que possuem em seu rótulo a mensagem: “cientificamente comprovado”.

1. O que é ciência?
2. Como pode-se diferenciar a ciência da filosofia e da religião? Por quê?
3. Como se desenvolve a ciência?
4. Qual é o trabalho do cientista?
5. As atividades dos cientistas têm qual objetivo?
6. Se um cientista faz um experimento e ele dá errado ou percebe-se coisas não previstas pela teoria, qual o próximo passo?

4.3.4 Aula 4 – Intervenção para balizamento e retomada da sequência

Por motivos burocráticos da Escola, a sequência didática teve que ser interrompida por causa da semana de avaliações bimestrais. Nessa semana os alunos são submetidos a avaliações tradicionais de todas as matérias elencadas em todos os dias da semana. Ou seja, as aulas são interrompidas e substituídas por aulas de dúvidas (plantões) preparatórias para as avaliações que ocorrem em horários pré-determinados pela coordenação. Assim, se fez necessário que após essa semana fosse feita uma aula de retomada de conteúdo para voltar à sequência didática.

Outro ponto relevante, é que houve um resultado negativo das respostas da maioria dos alunos a respeito da energia cinética, potencial gravitacional e conservação de energia mecânica nas atividades anteriores, o que culminou em uma necessária intervenção para relembrar os conceitos necessários para a aplicação do experimento.

Para isso, foi utilizado a simulação do PHET-Colorado como ilustração dos conceitos explicados em aulas anteriores e uma tentativa de ilustrar de forma mais motivadora o conteúdo a ser estudado. No final da aula, foi feita uma retomada de como calcular a energia potencial gravitacional e cinética de um ponto material.

4.3.5 Aula 5 – Problematização para o primeiro contato com a rampa

A apresentação do aparato da rampa e os objetos para rolares nela despertou a atenção dos alunos assim como motivou os alunos a estudarem o rolamento dos corpos e como investigar a conservação de energia.

Antes de iniciarem as investigações, os alunos receberam algumas perguntas que deveriam ser respondidas no decorrer do experimento.

Questionário 2.

1. O que podemos esperar da energia mecânica do sistema na descida dos objetos com escorregamento?
2. O que podemos esperar da energia total do sistema no rolamento dos objetos?
3. Escolham uma altura inicial acima da base da rampa e determine a energia potencial gravitacional dos objetos. $E_p = m.g.h$
4. Se abandonarmos o objeto dessa altura, o que podemos afirmar sobre a energia cinética/velocidade dos objetos no final da rampa?
5. Como podemos determinar a energia cinética dos objetos no final da rampa sem a utilização da conservação da energia mecânica?

4.3.6 Aula 6 – O uso das câmeras de celular e as medições de tempo e velocidade

Cálculo do intervalo de tempo de deslocamento no final da rampa.

Essa aula foi para verificar os cálculos das velocidades finais dos objetos no final da rampa com o uso das câmeras de celular em “câmera lenta”, discussão sobre a metodologia para a medição de velocidade e determinação da energia cinética translacional, para a comparação dos resultados entre os valores calculados pela conservação da energia mecânica e pela cinemática. Para isso foi feita a montagem da seguinte tabela:

Grupo	Altura (cm)	Massa (g)	E_{pg} (J)	Distância (cm)	Tempo (s)	$V_{teórica}$ (cm/s)	$V_{vídeo}$ (cm/s)
1	1	1132	11320	10	2	4,5	5
2	0,5	540	2700	15	0,5	3,2	30
3	20	20	4000	13	1	20	13
4	10	76	7600	10	0,2	14,1	20
5	30	160	48000	15	0,5	24,5	30

Tabela 3 - Registro dos dados da aula 6. Fonte: O autor.

A discussão e os desdobramentos dos dados da tabela encontram-se no capítulo de Análise e resultados.

4.3.7 Aula 7 - Experimento 2: segundo contato com a rampa com estudo padronizado

Novamente, no início da aula, foi passado um pequeno questionário para os alunos para que eles pudessem responder durante a interação com a rampa.

Questionário 3:

1. Determine a energia cinética do objeto no final da rampa através da conservação de energia potencial gravitacional.
2. Determine a energia cinética do objeto no final da rampa através da velocidade calculada pelos vídeos.
3. Compare os seus resultados com o dos outros grupos e verifiquem se estão compatíveis.
4. Como os alunos ainda estavam errando as unidades de medida, foi necessária uma intervenção, para que eles pudessem corrigir os erros de cálculos.

4.3.8 Aula 8 - Discussão dos resultados

Nessa aula os alunos trouxeram seus valores de altura de soltura dos objetos, as distâncias na parte final e horizontal percorridas pelos objetos e obtidos na aula anterior e para comparação com a velocidade obtida teoricamente, foi montado na lousa a tabela a seguir.

GRUPO	Altura (m)	Distância (m)	Tempo (s)	V _{teórica} (m/s)	V _{vídeo} (m/s)
1	0,2	0,15	0,125	2	1,2
2	0,2	0,15	0,1	2	1,5
3	0,2	0,15	0,125	2	1,2
4	0,2	0,15	0,25	2	0,6
5	0,2	0,15	0,25	2	0,6

Tabela 4 - Dados obtidos pelos grupos. Fonte: O autor

Para discutir as diferenças nos valores obtidos foi feita a seguinte problematização oralmente:

1. O que é a lei da inércia de Newton?
2. E se girarmos um objeto, se ele for de tamanho não desprezível o que podemos afirmar sobre a dificuldade em girar os cilindros com a mão?
3. Quando eu caí de bicicleta uma vez, eu olhei pra roda da minha bicicleta logo depois da queda e vi que ela continuava girando apesar de eu estar esborrachado no chão. Como isso pode ser explicado?
4. Se a inércia de um corpo o mantém em movimento, uma roda também se manteria em rotação?

4.3.9 Aula 9 – Discussão final e Avaliação

Essa aula foi destinada a reiterar a noção de inércia de rotação e sanar algumas dúvidas e questionamentos dos alunos. Também para ensinar como fazer um relatório simplificado.

Nessa última aula, alguns questionamentos dos alunos foram muito interessantes.

1. Por que desprezamos o atrito se os cilindros raspavam nos parafusos?
2. Não tem perda de energia na batida na madeira?

Para essas perguntas eu tive que concordar com eles, porque com o manusear da rampa as fixações ficaram frouxas e para fora, o que fazia com que os cilindros batessem nesses ressaltos e perdessem energia no contato com a rampa, tanto nos parafusos como na parte horizontal da rampa. Apesar de ainda ter energia cinética na rotação dos objetos.

Nessa aula também foi dedicado a questionamentos de como se desenvolve a ciência.

Se conseguíssemos montar uma rampa perfeita e soltasse objetos que não rolassem o que poderíamos afirmar sobre a conservação de energia?

3. Como então é o trabalho do cientista?

4. Se uma teoria não der certo no experimento? O que o cientista faz?

5 Análise e Resultados

5.1 Análise da aula 1

Analisando as respostas dos alunos na avaliação diagnóstica, temos:

Questão	V	F	NS	Total	% de acerto
1	12	12	4	28	42,9
2	0	27	1	28	96,4
3	3	23	2	28	82,1
4	16	2	10	28	7,14
5	4	15	9	28	53,6
6	3	14	11	28	50
7	2	17	9	28	60,7
8	21	4	3	28	14,3
9	14	5	9	28	17,9
10	17	4	7	28	14,3
11	25	3	0	28	10,7
12	27	23	24	74	Antichute
13	17	4	7	28	14,3
14	17	10	1	28	35,7
15	7	15	6	28	53,6
16	13	2	13	28	7,14
17	8	8	12	28	28,6
				MÉDIA	36,8

Tabela 5 - Análise quantitativa das respostas dos alunos na aula 1. Fonte: O autor.

Vale ressaltar que essa sala passou por aulas e avaliações tradicionais em praticamente toda a vida escolar no ensino fundamental II. O que mostra como alguns conceitos pouco sofreram ressignificação, pois ainda é muito perceptível como os alunos ainda usam o senso comum para responder às perguntas ou problemas propostos.

Quando os alunos usam o senso comum para responder esses tipos de perguntas são indicadores de falta de alfabetização científica ou de desconexão dos conhecimentos escolares na vida cotidiana. (SASSERON, 2008, 2015) (SASSERON e CARVALHO, 2008)

Vale ressaltar que as questões que tiveram as menores taxas de acertos foram questões de difícil interpretação física, pois são considerados casos bastante particulares das teorias ensinadas.

Após essas primeiras aulas ficou evidente que a sala, em média, tem uma defasagem e uma alta heterogeneidade de conhecimentos, o que me levou a perceber a necessidade de retomar conceitos regularmente e recorrentemente para tentar manter um balizamento teórico no decorrer do projeto. Assim, as aulas subsequentes foram sempre iniciadas retomando as discussões e lembrando as atividades feitas nas aulas anteriores.

Nessa fase ainda, verificou-se que a maioria dos alunos (cerca de 80%) tem dificuldades em mostrar em uma avaliação formal o que aprenderam dos conceitos físicos, pois o desempenho na avaliação formal depende de outras habilidades como leitura e interpretações dos enunciados dos exercícios e habilidades matemáticas nem sempre apreendidas que dificultam a forma de encontrar a solução das situações-problema propostas.

Essas dificuldades, podem acarretar uma avaliação no qual as graduações ou mensurações de aprendizado inferiores ao conhecimento físico efetivamente aprendido pelos discentes. Esse ponto, mostra a dificuldade no uso de avaliações tradicionais como ferramenta de medição de aprendizado dos alunos.

Motivação na aula 1

Nessa primeira aula, os alunos tiveram uma disponibilidade maior em responder a avaliação diagnóstica que foi acima do esperado. Nesse ponto, portanto, podemos verificar que uma motivação intrínseca nos alunos era mais característica na sala, uma vez que a atividade não possuía atribuição de nota, pois as folhas de perguntas não tinham campo para identificação do aluno. Todos os alunos presentes responderam a avaliação diagnóstica.

A questão anti-chute foi uma ferramenta para causar desequilíbrio ou estranhamento nos alunos e verificar se eles estavam realmente respondendo às perguntas ou apenas assinalando as respostas aleatoriamente. Assim, essa questão serviu como uma ferramenta de medida entre comprometimento em responder corretamente (motivação intrínseca) e completar a tarefa o mais rápido possível (motivação extrínseca).

Pelas respostas percebeu-se que houve 7 alunos que responderam incorretamente à questão anti-chute.

5.2 Análise da aula 2

No início da aula os alunos iniciaram com questionamentos sobre as questões dadas o que mostra que as preocupações dos alunos estavam voltadas para a semana de provas, que se aproximava, e com o resultado da avaliação diagnóstica.

Como essa avaliação tinha o interesse de levantar os conhecimentos prévios dos alunos e investigar as causas da baixa performance nas avaliações tradicionais anteriores, foi feita uma discussão na tentativa de destacar quais pontos atrapalham os alunos na hora de responder uma prova. Um posicionamento intrigante foi que entre as dificuldades já esperadas como a dificuldade em interpretar os enunciados ou o aprendizado deficitário em alguns pontos, surgiu um fato novo. Alguns alunos afirmaram ter um certo medo da palavra “Avaliação”, o que os deixam nervosos e apreensivos. Em seus discursos fica evidente uma infeliz realidade de algumas escolas públicas estaduais paulistas. A ausência de ferramentas avaliativas na forma de provas causadas pelas políticas estaduais de aprovação automática, porque bonificam financeiramente professores que tem altos índices de aprovação, alcançados com os “trabalhinhos” de recuperação e compensatórios de faltas.

Motivação da Aula 2

A dificuldade em julgar se tinham “ido bem na avaliação diagnóstica” e a tentativa de justificar uma possível falha no teste mostraram uma extrema motivação extrínseca dos alunos e uma tentativa de se eximir da responsabilidade individual do aprendizado.

Essa confirmação da caracterização extrínseca quando a disposição dos alunos em fazer o questionário foram percebidas já na primeira aula, quando os alunos faziam perguntas como: “Vale nota?”, “Ganha pontinho?”, “Se não vale nota, não vou fazer.”

Ainda foi possível verificar a existência de desmotivação em alguns alunos que se opuseram a participar da aula.

5.3 Análise da aula 3

A aula foi iniciada com uma retomada verbal através de uma breve discussão entre as grandezas lecionadas nas aulas anteriores e, posteriormente, foi aplicada a avaliação escrita documental sobre os conteúdos assimilados.

Em relação aos conhecimentos sobre o que é Ciência e como é o seu desenvolvimento, grande parte dos alunos, apesar de passarem por mais de 8 anos do ensino fundamental estudando a disciplina de Ciências, tiveram muitas dificuldades em responder a essas perguntas apesar das discussões. Após alguns direcionamentos do professor, alguns alunos citaram que a principal característica da ciência é que ela tem que ser comprovada, ou seja, surgiu a necessidade de relembrar a definição de experimento e reiterar o empirismo da Física.

Verificou-se que muitos alunos conseguiram assimilar as diferentes formas de energia, assim como suas transformações e como elas respeitam a lei de conservação. Porém poucos alunos conseguiam transpor esses conceitos para suas vivências cotidianas, o que mostra um desencontro entre o conceito teórico aprendido e a não aprendizagem significativa da teoria.

Outro ponto a ser levantado é a dificuldade da grande maioria dos alunos em quantificar as grandezas físicas e entender como elas se relacionam matematicamente. Assim percebeu-se que um pequeno aprendizado conceitual de energia.

Como era de se esperar, como os alunos haviam passado por métodos avaliativos formais durante praticamente toda sua vida escolar, os alunos se importavam mais com a recompensa em vez de responder essas perguntas “diferentes” com os questionamentos em si, o que evidencia como a motivação extrínseca está extremamente arraigada no nosso ambiente escolar. Inicialmente, ao dizer que as perguntas seriam facultativas e não haveria “pontinho extra”, grande parte dos alunos não quiseram responder o questionário. Apenas quando foi discutido uma recompensa de nota que os alunos se dispuseram a respondê-lo.

Nesse questionário foi atribuído notas separadamente entre conhecimento em dinâmica escalar (energia) e conhecimento científico. Em ambas as partes as notas ou menções foram estipuladas como: B - Bom, R - Regular, I - Insatisfatório.

Aluno	Fís/Energia	Ciência
A1	I	I
A2	NF	NF
A3	NF	NF
A4	R	B
A5	NF	NF
A6	I	R
A7	I	R
A8	R	R
A9	NF	NF
A10	R	R
A11	I	R
A12	NF	NF
A13	I	R
A14	NF	NF
A15	I	R
A16	R	B
A17	B	B
A18	R	B
A19	I	I
A20	I	R
A21	NF	NF
A22	NF	NF
A23	R	I
A24	NF	NF
A25	NF	NF
A26	NF	NF
A27	R	I
A28	I	I
A29	NF	NF
A30	NF	NF

Tabela 6 - Análise das respostas dos alunos na aula 2. Fonte: O autor

O resultado desse questionário mostrou apenas que os alunos A8, A10, A16, A17 e A18 tinham desenvolvido a capacidade de determinar a energia cinética de um corpo descendo uma rampa. Assim, foi solicitado que eles encabeçassem os grupos de investigação nas próximas aulas.

Motivação da aula 3

Nesse ponto verificou-se que a quantidade de alunos desmotivados teve uma ligeira diminuição uma vez houve uma participação maior nas discussões em sala de aula. O ímpeto de alguns alunos em querer mostrar suas respostas ou discutir sobre elas mostra um pequeno aumento na motivação intrínseca e uma diminuição da motivação extrínseca, o que é evidenciado a partir de um maior engajamento nas discussões, mas por outro lado uma grande quantidade de alunos que não conseguiram ou não quiseram compor as respostas escritas.

5.4 Análise da aula 4

Por causa da interrupção causada pela semana de provas, a aula foi iniciada de forma a retomar o conteúdo ensinado anteriormente. Uma vez que o baixo rendimento ainda permaneceu na sala de aula nas avaliações bimestrais.

Motivação da aula 4

A aula iniciou normalmente com uma arguição do professor a respeito das diferentes formas de energia. Os alunos que têm maior familiaridade com as aulas expositivas conseguem manter uma motivação durante as aulas, porém para os alunos que não há essa familiaridade, as aulas expositivas parecem inócuas para seu aprendizado.

Um ponto a salientar foi que o uso da simulação do PHET-Colorado trouxe uma motivação e apreensão de praticamente todos os alunos, o que foi bastante superior ao início da aula com abordagem tradicional o que condiz com o mostrado com Batista e outros, (2017), Huertas (2001), Pereira e Freitas (2017), Santos (2016).

5.5 Análise da aula 5

Com a proximidade temporal entre a aula anterior, nessa aula verificou-se que as informações discutidas anteriormente foram mais internalizadas e, portanto, mais acessível aos alunos. Assim o índice de acerto foi relativamente alto, apesar de terem sido respondidos em grupo.

Foi selecionado abaixo alguns exemplos de respostas dadas pelos alunos verbalmente para posterior registro na folha de respostas.

1. O que podemos esperar da energia mecânica do sistema na descida dos objetos com escorregamento?
2. Se conserva. Deve ser a mesma.
3. O que podemos esperar da energia total do sistema no rolamento dos objetos?
4. Permanece igual. Tem que ter o mesmo valor em cima e embaixo.
5. Escolham uma altura inicial acima da base da rampa e determine a energia potencial gravitacional dos objetos. $E_{pg} = m.g.h$

As alturas escolhidas e os objetos foram:

Altura	Massa (g)	E_{pg} (gm ² /s ²)
1,0 m	1132	11320
0,5 m	540	2700
20 cm	20	4000
10 cm	76	7600
30 cm	160	48000

Tabela 7 - Dados obtidos pelos alunos na aula 5. Fonte: O autor.

6. Se abandonarmos o objeto dessa altura, o que podemos afirmar sobre a energia cinética/velocidade dos objetos no final da rampa?
7. A energia em cima vai se transformar até embaixo. Vai de gravitacional para cinética.

É importante ressaltar que a tabela montada a partir dos valores obtidos pelos alunos possui incorreções quanto às unidades de medida. Porém, esse erro não foi questionado nessa aula para dar oportunidade aos alunos a perceberem o erro em discussões futuras.

Para a última pergunta do questionário, os alunos presentes no dia não foram capazes de encontrar uma forma de respondê-la efetivamente. Os alunos conseguiram perceber a necessidade de saber a velocidade dos objetos no final da rampa, porém até aquele momento

não eram capazes de lembrar como poderiam determinar a velocidade dos objetos. Por isso, o papel do professor foi importante para guiá-los a encontrar a solução.

Nesse ponto, é de extrema importância destacar como a educação por memorização ou educação bancária dificilmente gera mudança de atitude e comportamento dos alunos.

O conteúdo básico de cinemática escalar do cálculo de velocidade média visto por eles no ensino fundamental II e no primeiro bimestre do ensino médio não teve significado algum para a vida cotidiana deles, apenas para o momento das avaliações tradicionais. Quando os alunos não conseguem executar uma tarefa, no qual eles precisem utilizar um conteúdo já estudado, mostra como o terceiro momento pedagógico de Delizoicov e Angotti (1990) é determinante para uma aprendizagem significativa. (Ausubel, 1980)

Como não houve tempo hábil para os terminar a atividade, esta ficou como tarefa para casa o término da atividade proposta nessa aula para iniciar a próxima aula.

Motivação da aula 5

Essa aula teve pontos de motivação intrínseca e motivação extrínsecas bem definidas.

No início da aula, com a explicação da atividade e na execução das tomadas de dados, verificou-se que os alunos tinham uma pró atividade individual o que os levavam fazer as atividades e discutir possíveis erros. É importante ressaltar, que a ferramenta computacional, apresentada na aula anterior, trouxe uma motivação intrínseca aos alunos e ajudou na internalização do conhecimento, evidenciado nas discussões dos alunos e em suas argumentações.

No entanto, quando começaram as tentativas de responder as perguntas, percebeu-se que muitos alunos perderam essa motivação intrínseca, dando lugar a uma motivação extrínseca no qual apenas queriam apenas terminar a atividade. Essa mudança pôde ser percebida, principalmente pelos alunos que possuem maiores dificuldades em manusear valores numéricos e que tem dificuldades matemáticas acentuadas.

5.6 Análise da Aula 6

Pelos valores, verificou-se que alguma coisa estava errada e as velocidades previstas e encontradas estavam muito diferentes. Como nessa abordagem os alunos devem perceber as dificuldades em se fazer uma pesquisa e tentar autonomicamente solucionar o problema (Carvalho, 2013), o professor tentou ao máximo não mostrar os erros contidos na tabela, nas

unidades de medida. Assim, foi feita uma tentativa de encontrar os possíveis erros cometidos pela turma.

Dentre os possíveis erros levantados pelos alunos durante as discussões, vale destacar alguns levantamentos feitos pelos alunos.

1. “Erro nas contas.”
2. “Não dá pra saber direito o tempo que o objeto demora no final da rampa, porque é muito rápido.”
3. “Erro na hora de usar a régua e trena.”

Para cada erro levantado, foi feita uma pequena fala do professor para tentar resolver esses erros.

Para os erros 1 e 3, houve o consenso de que cada aluno deveria ter um comprometimento em fazer com que os valores dos grupos fossem feitos com mais cuidado e, em caso de dúvida, o professor deveria ser consultado.

Já nas primeiras tentativas de medição de tempo de deslocamento, os alunos tinham percebido que apesar da replicabilidade dos vídeos para se repetir a medição dos intervalos de tempo, os eventos tinham um pequeno intervalo de tempo o que tornava muito difícil sua medição com baixos erros como mostrado nas tabelas de tempo. Assim para tentar diminuir esse erro, os alunos propuseram a utilização das câmeras lentas, uma vez que no vídeo gravado normalmente estava difícil de identificar o intervalo de tempo.

Nesse ponto, o professor questionou os alunos:

Sim, mas como determinar o intervalo de tempo real do movimento no vídeo gravado em câmera lenta? Um segundo no vídeo em câmera lenta é igual a um segundo no mundo real?

Foi consenso entre os alunos que o tempo no vídeo em câmera lenta não é igual ao intervalo de tempo real do experimento. Porém, os alunos não conseguiram descobrir uma forma de encontrar essa relação de equivalência entre os intervalos de tempo do vídeo para o intervalo de tempo real.

Assim, foi necessária uma intervenção explicativa para que se pudesse prosseguir o projeto.

Com uma busca rápida na internet, foi verificado pelos sites dos fabricantes que as diferentes marcas e modelos possuem sistemas de captura de imagens com diferentes taxas de

fps. Assim, das marcas e modelos de celulares de alguns alunos foi possível verificar a taxas de capturas feitas pelas câmeras dos celulares. Os smartphones mais modernos da sala tinham a capacidade de capturar vídeos a uma frequência de 240 fps e que seus vídeos gravados em câmera lenta poderiam ser reproduzidos em 30 ou 60 fps. Desse modo, para padronizar as filmagens, foi estipulado que apenas smartphones que possuem a tecnologia de câmera lenta dos modelos Samsung Galaxy S8 e iPhone 7 seriam utilizados.

A conversão ocorreu a partir do uso da definição de frequência de captura. Um vídeo gravado em 240fps com duração de 1 segundo, representa a filmagem de um evento de duração 0,25s ou 0,125s. Para facilitar a leitura das posições dos objetos e evitar o borramento das imagens, os vídeos foram padronizados e configurados a gravar em 240 fps para reprodução em 60 fps. Portanto, um evento de intervalo de tempo 1s no vídeo representa um evento que ocorreu em 0,25s.

Um ponto a ser destacado é que durante a explicação da forma de captura dos vídeos e ao ouvir a sigla *FPS*, alguns alunos que têm o hábito de jogar jogos de computador já conheciam essa sigla, o que tornou a aula mais dinâmica e dialógica.

Com o final da aula se aproximando, o erro nas unidades de medida teve que ser exposto pelo professor, porém a comparação da velocidade calculada pela cinemática e pela determinada pela conservação da energia mecânica de ponto ficou para a próxima aula.

Motivação da aula 6

Nessa aula, por conta das dificuldades em se identificar os erros dos alunos foi notado uma certa desmotivação da parte deles. Ao se encontrar com dificuldades em se resolver um problema, a tentativa de fuga é aparente na atitude dos alunos. Assim, foi importante a intervenção do professor para que a desmotivação dos alunos se instaurasse em toda a turma.

Ao se dar destaque às opiniões dos alunos e mostrar interesse nas respostas, é notável que há uma mudança na motivação dos alunos. Quando suas opiniões são levadas em consideração, mesmo que possam não estar completamente corretas traz uma mudança de comportamento nos alunos.

5.7 Análise da Aula 7

Após a discussão do primeiro contato com a rampa da aula 6 verificarmos a necessidade de padronizar as grandezas envolvidas pra um estudo conjunto. Escolheu-se as alturas iniciais

como 20 cm e pediu-se para que os alunos determinassem as velocidades finais de descida dos objetos para comparar seus resultados com o de seus colegas. Porém, nas primeiras tentativas, verificou-se que apesar das padronizações ainda havia uma diferença muito grande entre os resultados esperados.

Como os alunos não conseguiam perceber os erros nas unidades de medida, isso teve que ser expostos por mim, assim como a demonstração da não necessidade do uso das massas para a comparação da velocidade calculada pela cinemática e pela velocidade calculada pela conservação da energia mecânica de ponto material.

Nos planos de ensino tradicionais de física é bastante comum que os sistemas de unidades são dados de forma mecânica ou de uma forma que obriga os alunos a decorarem as fórmulas de conversão. Assim, nessa etapa de estudo, como os instrumentos de medida balança e a régua estavam sendo utilizadas no sistema cgs, foi necessário que os alunos se lembrassem das conversões e perceber a importância em se entender elas para utilizá-las nos problemas propostos.

Por causa do curto intervalo de aula, a comparação ficou para a próxima aula juntamente com a discussão dos resultados.

Motivação da aula 7

Ao se retornar para o uso da rampa, apesar de evidenciar que o estudo passará a ser de forma controlada e com uma padronização, os alunos perdem um pouco da motivação em aprender ou interagir com o experimento. A repetição no uso do aparato faz com que alguns alunos passem a achar que a tomada de dados e o estudo repetitivo desgastante ou “chato”.

Desse modo, é importante ressaltar a necessidade em se contruir outros aparatos que sempre deem um aspecto de inovação aparente para que a repetição das experiencias não acarrete uma desmotivação nos alunos.

5.8 Análise da aula 8

Comparando os valores dos alunos, notou-se uma convergência de valores entre apenas 3 grupos, os outros grupos tiveram valores abaixo do esperado por erro no uso das imagens e determinação do tempo real.

No questionamento, foi perguntado sobre quais as possíveis causas para os valores da energia cinética determinada pela cinemática serem menores que as determinadas pela conservação da energia mecânica?

De primeira, os alunos tendem a responder que não sabem ou que fizeram algo errado. Mas com um pouco de questionamento sobre o que estava acontecendo com a energia mecânica do corpo, os alunos começaram a perceber que a energia potencial estava sendo transformada em energia cinética, porém com alguma perda que poderia ser por atrito.

No entanto, após contra-argumento a respeito do atrito no escorregamento e no rolamento sem deslizamento, os alunos não souberam explicar como a presença ou não do atrito afetava a perda de energia. Nesse ponto, vale ressaltar que os alunos tiveram muita dificuldade em entender que no atrito sem escorregamento não há perdas significativas de energia, pois o atrito no rolamento não realiza trabalho. Assim, percebeu-se que muitos alunos apenas aceitavam a fala do professor como uma verdade, sem um efetivo entendimento da explicação. Nesse ponto, vale ressaltar que infelizmente, em alguns impasses a respeito da teoria acabaram tendo de ser postulados para não estender a discussão porque, nesse caso, o tempo para efetuar as discussões era muito limitado o que já é considerado uma complicação ou dificuldade no uso de laboratórios abertos e não estruturados. (Carvalho, 2013)

Com as explicações, os alunos perceberam que os corpos escolhidos poderiam estar “guardando” a energia em si, uma vez que a perda de energia por atrito deveria ser pequena, ou quase nula, no rolamento sem deslizamento.

Quando lembrados da lei da Inércia, o conceito de inércia para os alunos está ligado frases prontas, como: “O que está parado tende a ficar parado.” “Quando se está andando, tende a continuar andando.” Desse modo, os alunos tendem a perceber a inércia em seu dia a dia, mas tem dificuldades em perceber a inércia de rotação. Os exemplos da inércia de rotação como a roda da bicicleta e o giro dos cadernos nos corredores serviram para ilustrar esse conceito. A lei da inércia pode ser considerada um conceito subsunçor para o conceito de momento de inércia ou inércia de rotação.

Após o último questionamento alguns alunos já conseguiram perceber o conceito de inércia de rotação. Os alunos conseguem perceber e conseguem entender que quanto maior a massa inercial de um objeto mais difícil de fazê-lo realizar translação, assim como quanto mais pesado um objeto mais difícil é de rotacioná-lo. Porém esses conceitos nunca tinham sido levantados até a realização do experimento da rampa.

Por um lado, os alunos conseguiram entender o conceito de inércia de rotação e como ela está ligada a massa dos objetos. Por outro lado, não foi tão fácil para os alunos entenderem com esse experimento a relação entre a distribuição de massa e a inércia de rotação.

Motivação da aula 8

Quando os alunos notam que o estudo feito por eles passa a ter influência nos resultados e discussões finais, as aulas tendem a ser mais dinâmicas e prazerosas. Apesar das dificuldades em se entender o conteúdo, essa abordagem pode ser considerada mais motivadora que aulas tradicionais.

5.9 Análise da aula 9

Nessa aula os alunos trouxeram algumas perguntas a respeito das causas da diferença de velocidades, pois eles levantaram que a rampa tinha muitas irregularidades que fizeram o cilindro perder energia. A partir dessas colocações, fomos procurar irregularidades nas rampas ou folgas nos encaixes que poderiam retirar a energia dos corpos. As perdas de energia nas rampas eram semelhantes e, no entanto, apenas duas rampas possuíam os sobressaltos e que influenciaram diferentemente cada lançamento dos corpos, assim as rampas não tinham problemas semelhantes o que não deveria gerar alterações significativas de cada grupo. Então, a hipótese da perda de energia pela interação com a rampa foi descartada.

Nessa última discussão foi feito um pequeno esforço mental a respeito de como a ciência evolui e se desenvolve. Quando perguntados como a Física se desenvolve, muitos alunos ainda tinham uma ideia empirista e indutivista como principal fonte de descobrimento da ciência. Porém eles próprios não percebiam que aquilo que eles estavam investigando era uma forma de fazer ciência.

Ao explicar que, se o experimento estivesse mostrando alguma coisa que não estava prevista pela comunidade científica, aquele fenômeno observado poderia levar a uma mudança na ciência. Para isso ocorrer, a comunidade científica deve desenvolver uma nova teoria que serviria de base para se desenvolver experimentos que pudessem ser exaustivamente utilizados para testar a teoria até que, se a teoria for confirmada por toda a comunidade científica ela se tornaria aceita para grande parte dos cientistas. Isso acabou mostrando para os alunos como a sociologia influencia no desenvolvimento da Ciência.

6 Considerações finais

Para os alunos, a aplicação do experimento foi de grande ajuda pois ilustrou e colocou em prática parte do conhecimento adquirido durante todo o ano.

O experimento, apesar de simples, trouxe uma aplicabilidade visual e concreta dos conceitos de energia potencial gravitacional e cinética. A necessidade de medir a altura inicial dos objetos, assim como medir a velocidade dos objetos no final da rampa, fizeram com que os alunos fossem mais capazes de relacionar a altura com a energia potencial gravitacional, assim como a velocidade de translação à Energia cinética de translação.

Outro ponto importante é que o ato de medir e relacionar as grandezas físicas, fez com que os alunos se preocupassem com o uso correto de unidades de medida e entendessem a necessidade de se ter um certo cuidado com essa parte do conhecimento físico uma vez que muitas vezes esse conteúdo é negligenciado e aprendido utilizando principalmente a memorização mecânica.

Além de ilustrar e pôr em prática os conhecimentos adquiridos, o projeto trouxe para os discentes conceitos físicos considerados abstratos e teóricos para uma vivência prática de uma situação concreta. Ou seja, o projeto facilitou a assimilação dos alunos, pois foi capaz de transportar os conhecimentos discutidos em sala de aula que tem caráter abstrato e idealizado para ambientes mais concretos de aprendizado.

A SEI desenvolvida também pode ser considerada boa em seu uso, pois conseguiu apresentar aos alunos uma cultura científica no qual eles estão inseridos compulsoriamente, mas que não precisam ser apenas espectadores do conhecimento. Ou seja, os alunos puderam alterar seu papel passivo e observador de conhecimento para outro que não fosse apenas espectador, mas sim de agentes ativos que podem participar do desenvolvimento dela e concretizar a ideia de que a ciência é uma criação humana e não de alguns “gênios” como é transparecido em alguns poucos materiais didáticos.

Desse modo, quando os alunos passaram a se enxergar como atores científicos eles puderam perceber as dificuldades que existem quando se busca o desenvolvimento da ciência. Ou seja, na interação do projeto, os alunos foram levados a perceber diversos tipos de dificuldades comumente encontrados nos laboratórios de todo o mundo. Essas dificuldades podem ser elencadas desde problemas mais ligados à Física, ou de como se desenvolve a ciência

até outros problemas sociais de como lidar com outros cientistas, discutir seus pontos de vista e defender seus resultados e conclusões.

Outro ponto a salientar foi que os alunos perceberam que o desenvolvimento da ciência, mais precisamente a Física, tem a necessidade de ter seus resultados aceitos pela comunidade científica (outros alunos e professores) que estão estudando o mesmo objeto de estudo. Ou seja, além de mostrar que o cientista tem problemas “científicos”, como o teste de hipóteses, desenvolvimento de procedimentos e controle de parâmetros, eles precisam discutir entre si para poderem tentar solucionar conjuntamente um problema proposto, no caso, o da conservação de energia no rolamento dos corpos na rampa e refletir sobre seus conhecimentos físicos.

Essa cultura de análise, reflexão e discussão sobre problemas do mundo desenvolveu neles uma nova forma de pensar e interagir com o mundo, um pensamento culturalmente científico.

Das dificuldades encontradas pelos alunos, uma das que mais chamou a atenção foi quando eles tiveram que utilizar as ferramentas matemáticas para se chegar às conclusões quantitativas. A dificuldade em compreender as relações diretamente proporcionais e como elas podem ser expressas em uma expressão matemática, combinada com o exíguo tempo para a aplicação do projeto, fez com que o objetivo de apresentar a parte matemática e quantitativa do momento de inércia não fosse possível de ser alcançada. Ou seja, a análise quantitativa do momento de inércia, assim como suas deduções matemáticas, foi substituída por análises qualitativas que, por um lado, favoreceram a compreensão conceitual e dependências entre as grandezas físicas, mas por outro lado deixou uma deficiência na compreensão das relevâncias das grandezas físicas no momento de inércia dos objetos.

A ênfase qualitativa fez com que os alunos conseguissem uma aprendizagem significativa do conceito de momento de inércia, o que pode ser evidenciado quando na aula 8 e 9, alguns alunos conseguiram relacionar a inércia da primeira lei de Newton como uma tendência dos corpos de se opor ao movimento de translação e a inércia de rotação, que é a tendência de se opor ao movimento de rotação.

Assim, apesar do aprendizado do conceito momento de inércia não ter sido hegemônico na sala de aula, muitos alunos conseguiram perceber que a inércia de rotação depende da massa dos objetos, mas também da distribuição de massa, assim como as dimensões do objeto.

O uso da rampa, assim como a necessidade de interação e discussão dos procedimentos a que foram submetidos, trouxeram uma transformação em suas atitudes em sala de aula. Notou-se maior engajamento nessa atividade, principalmente por ter sido diferente das abordagens tradicionais que estavam acostumados. Vale ressaltar que o projeto serviu como um transformador de realidade. No início de sua aplicação, a sala era notadamente desmotivada, pois os alunos dessa sala haviam passado por diversos professores e tinham um comportamento geral de desmotivação, pouco engajamento e pouco interesse em estudar Física.

Com o passar das aulas, notou-se que a desmotivação dos alunos foi sendo transformada em uma motivação as vezes extrínsecas, outras intrínsecas, dependendo das situações.

Os momentos de motivação extrínseca foram observados principalmente quando os alunos se mostravam preocupados em não conseguir terminar as atividades do dia ou quando buscavam ajuda dos outros colegas para terminá-las e não ficarem “atrasados”. Esses momentos também eram evidentes quando eles se sentiam obrigados a terminar algo para receber a recompensa da nota diária de avaliação de desempenho.

Os momentos de motivação intrínseca puderam ser observados quando os alunos se mostravam interessados em entender como as medidas de tempo eram feitas corretamente ou conseguiam notar sozinhos quando estavam fazendo os procedimentos experimentais corretamente ou não. Outra forma de verificar essa motivação foi quando os alunos, no início das aulas, perguntavam ansiosos se iriam usar a rampa novamente, ou nos relatos, que haviam gostado de estudar Física com os objetos nas rampas.

Independentemente se a motivação era extrínseca ou intrínseca nos alunos, ou qual das motivações é melhor para o aprendizado, o uso do experimento e da SEI se mostrou eficaz na mudança de realidade motivacional da sala, pois transformou um ambiente desmotivado para um ambiente relativamente motivado, o que pôde ser considerado um ponto crucial que levou a um melhor desenvolvimento dos alunos.

Outro fator importante é que essa abordagem utilizando um laboratório aberto e parcialmente estruturado além de mostrar como as ciências se desenvolvem pode alterar a visão filosófica que os alunos tinham da ciência. Esse projeto conseguiu transformar uma visão científica indutivista dos alunos e muito abordada nos livros didáticos, para uma visão um pouco mais voltada para a visão kuhniana da ciência (Kunh, 1987) no qual mostra que fatores sócio-históricos influenciam na evolução da ciência e que ela é dependente de um consenso de comunidade científica.

Alguns erros no desenvolvimento do projeto puderam ser percebidos durante a aplicação dele nas aulas. Superestimar o conhecimento dos alunos e tempo de aprendizagem daqueles que trazem dificuldades estruturais básicas fizeram com que o projeto perdesse uma parte de sua eficiência. Desse modo, para não gerar uma maior heterogeneidade nos conhecimentos dos alunos, algumas reduções de conteúdo e simplificações tiveram que ser feitas para uma adequação. Ou seja, a diminuição na quantidade de atividades e conceitos aprendidos foi necessária para que se alcançasse outros objetivos do projeto.

Outro problema verificado foi subestimar a complexidade das discussões em sala de aula acreditando que as reflexões dos alunos não chegariam a ser difíceis de conduzir. Assim, percebe-se uma necessidade em redimensionar o intervalo de tempo gasto para as discussões em sala de aula.

Quanto à utilização das TICs, o uso de *smartphones* e a tecnologia de câmeras para registro dos movimentos mostrou-se eficiente, apesar das dificuldades enfrentadas pelos alunos na obtenção das grandezas a partir dos filmes. Sem o uso desses dispositivos seria muito difícil demonstrar a diferença de tempo nos movimentos e calcular as velocidades de maneira direta.

Essa dissertação não teve o objetivo de trazer uma “receita” infalível, mas sim um exemplo de abordagem motivadora que pode, e deve, ser repetida em outros ambientes com outros alunos. Esse projeto está susceptível a reformulações para se adequar às diferentes realidades educacionais encontradas no Brasil.

Referências Bibliográficas

- AQUINO Filho, G. F.; MACHADO, J.T.; AMARAL, L. H.I., Ausubel: aprendizagem significativa e avaliação, Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo (outubro de 2015).
- ARAÚJO, I. S., Simulação e modelagem computacionais como recursos auxiliares no ensino de Física Geral. Tese de doutoramento, IF-UFRGS
- ARAÚJO, M. S. T; *Abib*, M. L.V. dos S., Atividades experimentais no Ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. Revista Brasileira de Ensino de Física. V.25, 176-194 (2003). Disponível em: <http://www.sbfisica.org>
- AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D., HANESIAN, H., Psicologia Educacional. Rio de Janeiro: Editora interamericana, Ltda, 1980.
- AZEVEDO, M. C. P. S., Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p.19-33.
- BARBOSA W. G., Inserção de conceitos de dinâmica rotacional no ensino médio através do laboratório não estruturado mediado por videoanálise. 2016. 103f. Dissertação (Mestrado) - Programa e Pós-Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Curitiba, 2016.
- BARBOSA, J. P. V. e BORGES, A. T., O entendimento dos estudantes sobre energia no início do ensino médio. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 23, n. 2: p. 182-217, ago. 2006.
- BARRELO JUNIOR, N., Promovendo a Argumentação em sala de aula de Física Moderna e Contemporânea: Uma Sequência e Ensino Investigativa e as Interações Professor-Aluno. 2015. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências Área de Concentração: Ensino de Física, Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: Acesso em: 22 jun. 2015.
- BATISTA, A.; PIRES, Â.; BRITO, E.; RODRIGUES, F., O uso das T.I.C. como uma ferramenta facilitadora da aprendizagem. **Revista de Estudios e Investigación en Psicología y Educación**, n. 13, p. 105-109, 17 dic. 2017.
- BELLUCCO, A.; CARVALHO, A. M. P., Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, [s.l.], v. 31, n. 1, p.30-59, 25 nov. 2013. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2014v31n1p30>.
- BENEVIDES, R. C. C.; DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S., FILHO, O. F.; A Dinâmica Do Movimento Circular (Uma Proposta Para O Ensino Médio), 2009.
- BONAGAMBA, T. J. et al, Construção de um Conjunto Experimental Destinado à execução de práticas de Rotação e Oscilação dos Corpos Rígidos. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 17, n. 2, p133-139, 2 jun. 1995.
- BRASIL. Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2018.

BRASIL, SECRETARIA DE EDUCAÇÃO MÉDIA E TECNOLOGIA. Parâmetros Curriculares Nacionais. PCN+ Ensino Médio. Brasília: MED.SEMTEC. 2002.

CARVALHO, A. M. P., O Ensino de Ciências e a proposição de Sequências de Ensino Investigativas. In: Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013. Cap. 1 p. 01-20.

CARVALHO, A. M. P.; SASSERON, L. H., Ensino de Física por Investigação: Referencial teórico e as pesquisas sobre as Sequências de Ensino Investigativas. Ensino Em Re-Vista. v.22, n.2, p.249-266, jul./dez. 2015.

CARVALHO, A. M. P.; SASSERON, L. H., Ensino de Física por Investigação: referencial teórico e as pesquisas sobre as sequências de ensino sobre calor e temperatura. Ensino em Revista, [s.l.], v. 22, n. 2, p.249-266, 15 dez. 2015. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/er-v22n2a2015-1>.

CARVALHO, A. M. P. de (Org.). Calor e temperatura: um ensino por investigação. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014. 146 p.

CARVALHO, C.V. A; SMC: Uma Ferramenta Computacional para apoio ao Ensino dos Movimentos Circulares. 2010

Celeste, A. T. B. e Neto, M. L., Influência do momento de inércia no movimento dos corpos. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 28, n. 3: p. 693-699, dez. 2011.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.; PERNAMBUCO, M. M. C. A., Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

DUARTE, S.E., Física para o Ensino Médio usando simulações e experimentos de baixo custo: um exemplo abordando dinâmica da rotação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, p. 525-542, ago. 2012. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29nesp1p525/22934>>. Acesso em: 15 jan. 2019. doi:<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29nesp1p525>.

FEYNMAN, R. P., Surely You're Joking, Mr. Feynman!: Adventures of a Curious Character., W W Norton, 1985. 60 p.

FITA, E. C., O professor e a motivação dos alunos. In: TAPIA, J. A.; FITA, E. C. A motivação em sala de aula: o que é, como se faz. 4. ed. São Paulo: Loyola, 1999. p. 65-135.

GRAF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física sob a Coordenação de Luiz Carlos Menezes, João Zanetic e Yassuko Hosoume), Física-1, Mecânica. 5. ed., São Paulo: Edusp, 1999.

HARTER, S. (1981). A new self-report scale of intrinsic versus extrinsic orientation in the classroom: Motivational and informational components. *Developmental Psychology*, 17(3), 300-312. <http://dx.doi.org/10.1037/0012-1649.17.3.300>

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

- HUERTAS, J. A., Motivación: querer aprender. Buenos Aires: Aique, 2001.
- KUHN, T. S., A estrutura das revoluções científicas. 2. ed. Tradução Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. São Paulo: Perspectiva. 1987.
- LAIA, M. P., Modelagem teórica e experimental da dinâmica de corpos rígidos em superfícies com atrito aplicada ao ensino do conceito de energia e suas transformações. (Dissertação de mestrado). 2015.
- MEDEIROS, A. e MEDEIROS, C. F., Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. Rev. Bras. Ensino Fís. [online]. 2002, vol.24, n.2, pp.77-86. ISSN 1806-1117. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-47442002000200002>.
- MEDEIROS, L. G. S., Metodologia e Instrumentação para o Ensino de Ciências Naturais
- MIZUKAMI, M. G. N. As abordagens do Processo. São Paulo: EPU, 1986.
- MOREIRA, M. A.; GONCALVES, E.S. Laboratório Estruturado Versus Não Estruturado: Um Estudo Comparativo em um Curso Individualizado. Revista Brasileira de Física, Vol. 10, NP 2, 1980
- MOREIRA, M. A., MASSONI, N.T., OSTERMANN, F. “História e epistemologia da Física” na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 1, p. 127-134, (2007)
- MOURA, F. A., ENSINO DE FÍSICA POR INVESTIGAÇÃO: Uma Proposta para o Ensino de Empuxo para alunos do Ensino Médio
- MOURA, F. A. de; COSTA, B. C.; FREIRE, G. M., Ensino de Física por Investigação: Relato de uma Sequência de Ensino Investigativo sobre a 1ª Lei de Newton aplicada em uma escola pública de Ensino Médio. [s.i]: Novas Edições Acadêmicas, 2018.
- NICOLI JR, R.; MATTOS, C., As diferentes abordagens do conteúdo de Cinemática nos livros didáticos do ensino de Ciências brasileiro (1810-1930). Investigações em Ensino de Ciências – V13(3), pp.275-298, 2008
- NUSSENZVEIG, H. M., Curso de física básica. 1. ed. Ver. São Paulo: Edgard Blücher 1993. v. 1. Mecânica.
- PEREIRA, B. T.; FREITAS, M. C. D., O uso das tecnologias da informação e comunicação na prática pedagógica da escola. Disponível em: Acesso em: 3 de janeiro de 2019.
- PIETROCOLA, M. A., Matemática como estruturante do Conhecimento físico. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v.19, n.1: p.89-109, ago. 2002.
- PSSC, Física - Parte I, Parte II, Parte III, Parte IV, Editora Universidade de Brasília, tradução autorizada com direitos reservados para o Brasil pelo IBEC-UNESCO.
- Romey, W. D., Inquiry Techniques for Teaching Science. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1968.

RUBINI, G.; KURTENBACH, E.; SILVA, R. C., ‘Coisas que giram’ – a conservação do momento angular de forma interativa. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XVI, 2005, Rio de Janeiro. Atas...

SANTOS D. C., Tecnologias da informação e comunicação na prática pedagógica docente. (Dissertação de Mestrado). Lajeado – RS, 2016.

SÃO PAULO. Lei nº 12.730, de 11 de outubro de 2007. Proíbe o uso telefone celular nos estabelecimentos de ensino do Estado. São Paulo, SP, out. 2007.

SÃO PAULO. Lei nº 16.567, de 06 de nov. de 2017, Altera a Lei nº 12.730, de 11 de outubro de 2007, São Paulo, SP, nov. 2017.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. *Investigações em Ensino de Ciências*, [s.l.], v. 13, n. 3, p.333-352, jul. 2008.

SASSERON, L. H.; Alfabetização Científica, Ensino Por Investigação E Argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (belo Horizonte)*, [s.l.], v. 17, p.49-67, nov. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-2117201517s04>.

SASSERON, L. H., Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: Estrutura e Indicadores deste processo em sala de aula. 2008. 265 f. Tese 74 (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Educação. Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P., A construção de argumentos em aulas de ciências: o papel dos dados, evidências e variáveis no estabelecimento de justificativas. *Ciência & Educação (bauru)*, [s.l.], v. 20, n. 2, p.393-410, abr. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1516-73132014000200009>.

TODOROV, J. C.; MOREIRA, M. B., O conceito de motivação na psicologia. **Rev. bras. ter. comport. cogn.**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 119-132, jun. 2005. Disponível em <http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-55452005000100012&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 20 dez. 2018.

TOULMIN, S.E., *Os Usos do Argumento*, São Paulo: Martins Fontes, 2ª. Edição, 2006.

UNESCO, *Strategic approaches on the use of ICTS in education in Latin America and the Caribbean*; 2014

VALENTE, J. A., Diferentes usos do computador na Educação. Em J.A. Valente (Org.), *Computadores e conhecimento: repensando a educação* (pp.1-23). Campinas, SP: Gráfica da UNICAMP, 2003

Villani, A. e Carvalho, L. O. (1994), “Dificuldades de um estudante na análise de Experimentos Qualitativos”. *Rev. Bras. Ens. Fís.*, 16 (1-4): 98-109

Villani, A. e Carvalho, L. O. (1993), “Representações mentais e Experimentos Qualitativos”. *Rev. Bras. Ens. Fís.*, 15 (1-4): 74-89

VEIT E. A., ARAUJO I. S., Modelagem computacional no ensino de Física. In: XXIII ENCONTRO DE FÍSICOS DO NORTE E NORDESTE, 2005.

Apêndice A. Avaliação Diagnóstica inicial

Analisando as afirmativas a seguir, assinale se ela é Verdadeira, Falsa ou se Não Sabe afirmar:

Uma medida é apenas um valor numérico.

()V()F ()NS

Espaço e Velocidade são a mesma coisa.

()V()F ()NS

Velocidade e Aceleração são a mesma coisa.

()V()F ()NS

Velocidade média é a média aritmética das velocidades.

()V()F ()NS

Movimentos curvos nunca tem aceleração.

()V ()F ()NS

Velocidade angular e velocidade linear são sinônimos.

()V()F ()NS

Período e frequências são a mesma coisa.

()V()F ()NS

Aceleração sempre altera o valor da posição e velocidade.

()V()F ()NS

Aceleração negativa significa movimento retardado.

()V()F ()NS

Um objeto rápido é um objeto acelerado.

()V()F ()NS

Para ter movimento é necessário que haja uma força empurrando o objeto.

()V()F ()NS

Assinale todas as alternativas se estiver prestando atenção neste teste.

()V()F ()NS

Se um objeto está em repouso quer dizer que não tem forças aplicadas nele.

()V()F ()NS

Peso se mede em quilogramas (kg).

()V()F ()NS

Um astronauta se sente mais leve no espaço porque tem menor massa no espaço.

()V()F ()NS

Dois vetores de módulos 3 newtons e 4 newtons, quando somados, tem valor resultante sempre 7 newtons.

()V()F ()NS

São exemplos de força: O Peso, a Normal, a Massa, a Aceleração e a Resultante.

()V()F ()NS

Apêndice B. Registro das massas dos objetos



Figura 15. Registro das massas. Fonte: O Autor.

Apêndice C. Alunos em grupos realizando as medidas nas aulas 5 e 7



Figura 16 - Alunos interagindo como a rampa e discutindo a atividade. Fonte: O autor.



Figura 17 - Alunos interagindo com a rampa. Fonte: O Autor.



Figura 18 Alunos interagindo com a rampa. Fonte: O Autor.