



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

JOSEMAR BESERRA DE MÉLO FILHO

**SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA: estudo experimental de uma
situação problema envolvendo um plano inclinado**

Caruaru
2022

JOSEMAR BESERRA DE MÉLO FILHO

**SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA: estudo experimental de uma
situação problema envolvendo um plano inclinado**

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

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

Orientadora: Profa. Dra. Tassiana Fernanda Genzini de Carvalho

Caruaru

2022

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

M528s Mélo Filho, Josemar Beserra de.
Sequência de ensino investigativa: estudo experimental de uma situação problema envolvendo um plano inclinado. / Josemar Beserra de Mélo Filho. – 2022.
97 f.; il.: 30 cm.

Orientadora: Tassiana Fernanda Genzini de Carvalho.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, 2022.
Inclui Referências.

1. Planos inclinados (Psicologia). 2. Didática (Ensino médio). 3. Aprendizagem experimental – Caruaru (PE). 4. Física (Ensino médio). I. Carvalho, Tassiana Fernanda Genzini de (Orientadora). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.) UFPE (CAA 2022-024)

JOSEMAR BESERRA DE MÉLO FILHO

**SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA: estudo experimental de uma
situação problema envolvendo um plano inclinado**

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

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

Aprovada em: 09/03/2022.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Tassiana Fernanda Genzini de Carvalho (Orientadora)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Diana Patricia Gomes de Almeida (Examinadora Externa)

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

RESUMO

O aspecto motivador para o desenvolvimento deste trabalho deu-se pela percepção de que o estudo do plano inclinado no Ensino Médio é desenvolvido com uma ênfase excessiva na aplicação de fórmulas, e com isso, alguns conceitos importantes não são estudados pelos alunos. A partir dessa motivação, produzimos uma Sequência de Ensino Investigativa, cujo seus aspectos são fundamentados por Carvalho (2013), e aplicamos um problema específico do plano inclinado em uma turma do primeiro ano do Ensino Médio, com a pretensão de entender como essa Sequência poderia contribuir para aprendizagem de conceitos físicos. No decorrer deste trabalho desenvolvemos modelos conceituais e matemáticos que descrevem e explicam o experimento que utilizamos. Nossa pesquisa possui uma abordagem qualitativa, e a coleta de dados se deu ao longo da aplicação da Sequência Didática, onde aplicamos 3 questionários relacionados: às práticas experimentais, à interpretação das equações envolvidas, às situações sociais em que são utilizados os planos inclinados. Foi possível perceber que os alunos evoluíram na utilização do vocabulário científico, partindo de conhecimentos do cotidiano para o científico, e, em termos conceituais percebemos que o entendimento com maior desenvoltura foi o da força de atrito. Esperávamos também, que os alunos compreendessem o procedimento experimental em termos das energias envolvidas, e o não aparecimento desse conceito nas respostas provavelmente se deu pelo pouco tempo disponível para poder sistematizar o conhecimento, e as poucas aulas acompanhadas pelos alunos ao longo de 2021, que interferiu diretamente na aprendizagem dos conhecimentos prévios necessários para o acompanhamento da Sequência de Ensino Investigativa.

Palavras-chave: plano inclinado; sequência de ensino investigativa; práticas experimentais.

ABSTRACT

The motivating aspect for the development of this work was the perception that the study of the inclined plane in High School is developed with an excessive emphasis on the application of formulas, and with that, some important concepts are not studied by the students. Based on this motivation, we produced an Investigative Teaching Sequence, whose aspects are supported by Carvalho (2013), and we applied a specific problem of the inclined plane in a class of the first year of high school, with the intention of understanding how this Sequence could contribute to the learning of physics concepts. In the course of this work we developed conceptual and mathematical models that describe and explain the experiment we used. Our research has a qualitative approach, the data collection took place throughout the application of the Didactic Sequence, where we applied 3 questionnaires related to: experimental practices, interpretation of the equations involved, and social situations in which inclined planes are used. It was possible to notice that the students evolved in the use of scientific vocabulary, starting from everyday knowledge to the scientific one, and, in conceptual terms, we realized that the understanding with greater ease was the friction force. We also hoped that students would understand the experimental procedure in terms of the energies involved, and the non-appearance of this concept in the answers was probably due to the short time available to systematize the knowledge, and the few classes followed by students throughout 2021, which it directly interfered in the learning of the necessary prior knowledge to follow the Investigative Teaching Sequence.

Keywords: inclined plane; investigative teaching sequence; experimental practices.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	10
1.2	DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	ANÁLISE FÍSICA DO EXPERIMENTO DESENVOLVIDO	12
2.1.1	Modelagem através das energias – Etapa: plano inclinado	13
2.1.2	Modelagem através das forças atuantes – Etapa: plano inclinado	16
2.1.3	Modelagem através do Teorema trabalho energia cinética – Etapa: superfície horizontal	19
2.2	BASES TEÓRICAS PARA A SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA	21
2.3	SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA	23
2.3.1	O problema	24
2.3.2	Atividade de sistematização do conhecimento	27
2.3.3	Contextualização	27
2.3.4	Avaliação	28
2.4	CATEGORIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA	29
3	METODOLOGIA	33
3.1	O DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL	33
3.2	APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL E CATEGORIAS DE ANÁLISE	34
4	RESULTADOS E ANÁLISES	43
4.1	ANÁLISE DO PRIMEIRO QUESTIONÁRIO: GUIA EXPERIMENTAL	43
4.2	ANÁLISE DO SEGUNDO QUESTIONÁRIO: DESENHAR E ESCREVER	48
4.3	ANÁLISE DO TERCEIRO QUESTIONÁRIO: AVALIAÇÃO	56
4.4	ANÁLISE DOS ELEMENTOS DA SEI	73
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78

REFERÊNCIAS	81
APÊNDICE A - PRODUTO EDUCACIONAL	83
APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO PARA PARTICIPAÇÃO DA PESQUISA	97

1 INTRODUÇÃO

Podemos estudar e analisar, conceitualmente e matematicamente, diversos conteúdos da Física em situações experimentais voltadas para corpos redondos sendo abandonados sobre o plano inclinado. Do ponto de vista da cinemática, é possível estudar: deslocamento, velocidade, aceleração, entre outras grandezas. Da perspectiva energética, estão presentes as energias: potencial gravitacional, cinética de rotação e translação e térmica. Por fim, outra possibilidade seria o envolvimento da dinâmica newtoniana, abordando os conceitos de inércia, força resultante podendo incluir a resistência do ar, força de atrito. Através de dois objetos simples, corpo redondo e plano inclinado, conseguimos estudar uma variedade de conteúdos físicos, e vale destacar que esses conteúdos normalmente são abordados ao longo da primeira série do ensino médio, ou seja, têm um potencial abrangente de formas e assuntos a serem explorados.

Nesta dissertação, desenvolvemos um produto educacional (Apêndice A) que envolve um problema experimental relacionado a uma bola de gude descendo sobre o plano inclinado e que, após o plano inclinado, deve parar em uma área determinada de superfície. Produzimos 4 superfícies horizontais, com 4 materiais diferentes: arroz, areia fina, lixa, e superfície lisa (própria madeira). É importante destacar que para as 4 superfícies horizontais criadas, as demarcações de onde as bolinhas deveriam parar eram iguais, o que diferia, era o solo que constitui a superfície horizontal.

Tomando como embasamento a metodologia de ensino da física desenvolvida por Carvalho (2013) denominada Sequências de Ensino Investigativas (SEIs), criamos uma sequência didática que propõe um desafio para os alunos, eles deveriam abandonar uma bolinha sobre o plano inclinado, e através desse abandono, fazer com que a bolinha parasse em uma região demarcada na superfície horizontal. Com a utilização dessa metodologia, foi possível estimular o pensamento crítico dos alunos através da escrita e de desenhos, introduzir e reforçar conceitos físicos, apresentar situações do cotidiano em que os conceitos físicos estudados aparecem, e avaliá-los, segundo os direcionamentos de Carvalho (2013).

Em outra pesquisa, no trabalho de conclusão de curso da graduação, a temática de corpos redondos sobre o plano inclinado foi investigada, mas não relacionada com as SEIs. Mélo Filho (2019), ao analisar 4 livros didáticos diferentes, utilizados em escolas do Ensino Médio de Pernambuco, percebeu que as questões

costumam desprezar o rolamento e a resistência do ar como parâmetro necessário para serem solucionadas. De 130 questões analisadas, todas desconsideram o rolamento e apenas 5 mencionam alguma informação relacionada a resistência do ar. Sabemos que dois objetos tão simples, como uma bola de gude e um plano inclinado, podem ser um recurso rico para o ensino de física, em especial para o primeiro ano do ensino médio. E uma das principais ferramentas didáticas, se não a principal, que é o livro didático, apresenta esses conteúdos com muitas simplificações conceituais e matemáticas.

Além de analisar livros didáticos, Mélo Filho (2019) desenvolveu alguns modelos matemáticos referentes a dois experimentos, o primeiro tratava-se da determinação da velocidade final de uma bola de isopor sobre o plano inclinado mantendo o ângulo de inclinação fixo e variando a altura de largada da bolinha. No segundo experimento, a meta foi a determinação da velocidade final de uma bola de isopor, porém ao invés de manter o ângulo de inclinação do plano inclinado fixo, o ângulo foi variado, e a altura de largada foi mantida fixa. Com esse desenvolvimento experimental e a criação dos modelos matemáticos, o autor percebeu que as melhores representações para os experimentos foram os modelos que consideravam o rolamento da bola de isopor e a força de resistência do ar.

Interessante perceber que a análise dos livros didáticos, o desenvolvimento experimental e dos modelos matemáticos convergem para um denominador comum. O que falta nos livros didáticos é o que melhor representa a situação real do experimento, e essas omissões podem comprometer o entendimento físico dos alunos sobre experimentos relacionados ao plano inclinado e em outros conteúdos da Física. Da maneira como são apresentados, os planos inclinados tornam-se entidades abstratas e sem sentido para os estudantes do Ensino Médio, que muitas vezes não são capazes de reconhecê-los ou aplicá-los em seu cotidiano.

Com essas situações que apresentamos sobre os livros didáticos, desenvolvimentos experimentais e de modelos matemáticos, foi desenvolvida uma pesquisa no Google Acadêmico, nos retornando 68 artigos, e na base de dados do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), contendo 580 dissertações. No Google Acadêmico foi pesquisado “Sequência de Ensino Investigativo + Plano Inclinado” e não encontramos nenhum trabalho que envolvesse as duas vertentes de maneira simultânea. Na base de dados do MNPEF, encontramos resultados semelhantes aos fornecidos pelo Google Acadêmico, os trabalhos

costumam trabalhar Sequência de Ensino Investigativa aliada a algum outro conteúdo da Física que não seja o plano inclinado, ou abordam o plano inclinado, mas não utilizam a Sequência de Ensino Investigativa. Com todos os fatores e dados apresentados até aqui, analisamos, investigamos e respondemos a seguinte pergunta neste trabalho: “Como uma Sequência de Ensino Investigativa sobre o plano inclinado pode contribuir para a apreensão dos conceitos físicos?”.

Para analisar, investigar e responder à pergunta, durante a aplicação da SEI, que se deu em uma escola pública de Caruaru-PE, coletamos os dados através de questões abertas, e os resultados, serão apresentados e comentados no capítulo 4 deste trabalho, denominado Discussão e análise dos resultados.

1.1 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Tomando como ponto de partida o que foi discutido, pretendemos desenvolver nesse trabalho de forma geral:

a. Analisar a contribuição para a apreensão de conceitos físicos de uma sequência de ensino investigativa sobre plano inclinado.

E de forma específica:

b. Construir uma Sequência de Ensino Investigativo sobre Plano Inclinado;

c. Trabalhar o plano inclinado no Ensino Médio a partir de uma abordagem não tradicional, fazendo a inserção em um processo de Ensino Investigativo.

1.2 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Nosso principal objetivo para esse trabalho é analisar como o produto educacional criado pode contribuir para aprendizagem dos conceitos físicos sobre o plano inclinado, lembrando que o produto educacional (Apêndice A), é constituído por uma SEI fundamentada por Carvalho (2013) que é dividida em quatro etapas: Problema, Sistematização do conhecimento, Contextualização e Avaliação. Através da análise das respostas em diferentes momentos da aplicação foi possível perceber se atingimos o nosso maior objetivo, que era a aprendizagem de conceitos físicos relacionados à situação do plano inclinado.

Essa dissertação possui 5 capítulos, sendo eles: introdução, fundamentação teórica, metodologia, resultados e análises, e considerações finais.

No Capítulo 1 (Introdução), apresentamos a pergunta norteadora da dissertação, os objetivos gerais e específicos, os aspectos e preocupações que motivaram o desenvolvimento desta dissertação.

No Capítulo 2 (Fundamentação teórica), desenvolvemos a solução física para o nosso problema experimental contido no produto educacional, a solução foi dividida por etapas, a parte do plano inclinado e a parte da superfície horizontal, para solucionar fisicamente, utilizamos a dinâmica lagrangeana, leis de newton e o teorema trabalho energia cinética. Neste capítulo, também explicamos as bases teóricas necessárias para uma SEI, o que é uma SEI na perspectiva de Carvalho (2013) e como categorizá-la segundo os elementos criados por Cardoso e Scarpa (2018).

No Capítulo 3 (Metodologia), expomos a abordagem da pesquisa, a natureza e procedimentos. Neste capítulo contém detalhes referentes a produção técnica do produto educacional: tempo para o desenvolvimento do produto educacional, materiais necessários, tempo ideal para aplicar a sequência em uma turma do ensino médio, dicas para professores que pretendem aplicar a sequência didática. Outro ponto contido, é sobre o contexto em que a pesquisa foi aplicada: local, turma, quantidade de alunos, assuntos que os alunos já haviam estudado, dificuldades, facilidades, entre outros. Por fim, apresentamos as categorias que serviram para analisar os dados coletados na pesquisa (realização da aula).

No Capítulo 4 (Resultados e análises), apresentamos uma análise da resolução dos questionários respondidos pelos alunos, onde classificamos e analisamos as respostas coletadas, segundo as categorias criadas e explicadas na metodologia do trabalho.

No Capítulo 5 (Considerações finais), concluimos se conseguimos responder à pergunta da dissertação e se os objetivos que propusemos foram atingidos, além disso, escrevemos sobre possibilidades futuras para o andamento da pesquisa desse trabalho, visto que a pesquisa é uma atividade contínua.

Apêndice A: Apresentação do produto educacional com os ajustes elaborados após a aplicação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, dividimos a fundamentação teórica em duas partes: explicação física do desenvolvimento experimental e aspectos da SEI. A explicação física foi dividida por etapas e conceitos físicos, as etapas foram a do plano inclinado e da superfície horizontal, os conceitos físicos foram através de energias e forças. Para a SEI, apresentamos as bases teóricas necessárias, sua estrutura (problema, sistematização, contextualização e avaliação), e, por fim, as categorias segundo os estudos de Cardoso e Scarpa (2018).

2.1 ANÁLISE FÍSICA DO EXPERIMENTO DESENVOLVIDO

Nas próximas seções iremos descrever fisicamente como podemos compreender nosso problema experimental. É importante reforçar que foi fixado 1 plano inclinado (rampa) com cada um dos 4 grupos, e 4 superfícies horizontais que durante o experimento foram comutadas entre os grupos, as superfícies horizontais possuem trilhos de: sal, arroz, lixa e liso (própria madeira). Além disso, cada uma das superfícies horizontais possui demarcações que foram consideradas como objetivo da trajetória da bola de gude, ou seja, os grupos abandonaram a bolinha sobre a rampa de tal maneira que ela parasse na demarcação. Dividiremos a análise física em dois momentos, o primeiro será o translado da bolinha sobre o plano inclinado, e o segundo será o translado sobre a superfície horizontal, para que contemplemos todo deslocamento da bolinha. Na Figura 1 a seguir, podemos entender como será a divisão de análise.

Figura 1 - Divisão de análise: plano inclinado e plano horizontal



Fonte: Autor (2021).

Na parte do plano inclinado explicamos de forma independente através dos conceitos da Dinâmica de Lagrange e da Dinâmica Newtoniana, e na parte do plano horizontal utilizamos o teorema trabalho energia cinética para explicar o experimento.

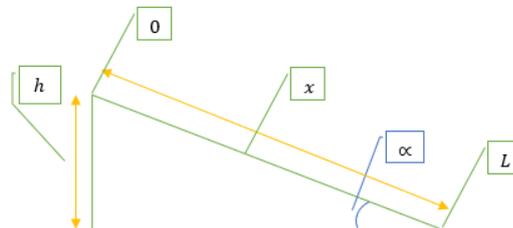
2.1.1 Modelagem através das energias – Etapa: plano inclinado

Nesse modelo será descrito o movimento da bolinha através das energias associadas ao seu deslocamento, utilizaremos fundamentos da dinâmica lagrangeana. O experimento deverá ser realizado através do abandono da bola de gude, ou seja, no primeiro momento de análise a velocidade inicial é nula. Sendo assim, do ponto de vista energético, temos a presença da Energia Potencial Gravitacional (U), que matematicamente é descrita por:

$$U = M \cdot g \cdot (L - x) \cdot \text{sen } \alpha \quad (\text{Eq. 01})$$

Para ilustrar a Eq. 01, a Figura 2 a seguir nos ajudará a entender os termos presentes na equação.

Figura 2 - Representação plano inclinado



Fonte: Autor (2021).

Através da Figura 2 percebemos que (L) é o comprimento do plano inclinado, (α) o ângulo de inclinação da rampa, (h) a altura do plano e (x) uma posição genérica entre 0 e L . Analisando os extremos da rampa, quando $x = 0$, a energia potencial gravitacional será $U = M \cdot g \cdot L \cdot \text{sen } \alpha$, lembrando que $\text{sen } \alpha = h/L$, sendo assim, a energia pode ser escrita como $U = M \cdot g \cdot h$ (expressão referente a energia potencial gravitacional total do sistema), quando $x = L$, temos $U = 0$, ou seja, nosso nível de referência para medições da energia potencial gravitacional.

É possível perceber quais grandezas a energia potencial gravitacional (U) depende: da massa (M), da aceleração gravitacional (g) e da altura (h) em relação ao nível de referência que definimos no parágrafo anterior, que para o nosso trabalho

consideramos o solo como nível de referência, ou seja, nosso ponto zero de medição. Durante todo procedimento experimental, as bolinhas utilizadas foram as mesmas, portanto não houve variação na massa (M), e a aceleração gravitacional considerada será de aproximadamente $9,81 \text{ m/s}^2$, para o caso de alguma aplicação numérica. Sendo assim, a princípio, o fator determinante para obtenção do êxito experimental será o controle da altura inicial da bolinha, visto que a energia potencial gravitacional possui como principal dependência a altura variável (h).

Ao percorrer a rampa a bolinha passará por processos de transformações de energia, alguns mais efetivos que outros. Podemos ter a transformação dessa energia mecânica inicial (energia potencial gravitacional) em energia térmica, em energia sonora e em outras formas de energia mecânica, tais como energia cinética de translação e rotação. Para nossa análise, consideraremos apenas as transformações mecânicas. Desprezaremos a energia térmica, pois não temos uma fricção entre o objeto solto e a rampa, para o nosso caso, o contato é pontual entre a bolinha e a rampa. Sobre a energia sonora, sua consideração seria pertinente se houvesse perda do movimento em função das possíveis colisões que gerassem efeitos sonoros, o que nos possibilita desprezar também essa forma de energia.

A energia cinética (T) em função dos termos translacionais e rotacionais é descrita por (adotamos o referencial paralelo ao plano inclinado como o eixo de coordenada x):

$$T = \frac{1}{2} \cdot M \cdot \dot{x}^2 + \frac{1}{2} \cdot I \cdot \dot{\theta}^2 \text{ (Eq. 2)}$$

O primeiro termo da equação corresponde a energia cinética de translação, que depende da massa (M) e da velocidade \dot{x} . O segundo termo, corresponde a energia cinética de rotação com dependência do momento de inércia (I) e da velocidade angular $\dot{\theta}$.

Durante o percurso da rampa a bolinha não desliza, temos um movimento misto de translação e rotação, sendo assim, a velocidade angular poderá ser obtida pela razão entre a velocidade linear e o raio da bolinha (R):

$$\dot{\theta} = \frac{\dot{x}}{R} \text{ (Eq. 3)}$$

O momento de inércia I , para um corpo rígido não discreto, é definido como:

$$I \equiv \int r^2 dm \text{ (Eq. 4)}$$

O dm da expressão anterior significa um elemento infinitesimal de massa contido no objeto em análise, para o nosso caso a bolinha, e o r , significa a distância

desse elemento de massa em relação ao eixo de rotação, para a situação experimental o eixo de rotação passa pelo centro de massa, sendo assim, não precisaremos usar o teorema dos eixos paralelo. Após desenvolver o cálculo da Eq. 4, podemos demonstrar que para a bolinha de gude maciça (tomando seu formato como esférico), o momento de inércia será dado por:

$$I = \frac{2.M.R^2}{5} \text{ (Eq. 5)}$$

Com as considerações e definições apresentadas até aqui, podemos escrever a lagrangiana (L_a):

$$L_a = T - U \text{ (Eq. 6)}$$

$$L_a = \frac{1}{2}.M.\dot{x}^2 + \frac{1}{5}.M.R^2.\dot{\theta}^2 + M.g.(x - L).sen \alpha \text{ (Eq. 7)}$$

Segundo os conceitos da dinâmica lagrangiana, a equação de restrição é dada por:

$$f(y, \theta) = x - R.\theta = 0 \text{ (Eq. 8)}$$

Para nosso caso de análise, as equações de Lagrange são:

$$\frac{\partial L_a}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L_a}{\partial \dot{x}} + \gamma \cdot \frac{\partial f}{\partial x} = 0 \text{ (Eq. 9)}$$

$$\frac{\partial L_a}{\partial \theta} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L_a}{\partial \dot{\theta}} + \gamma \cdot \frac{\partial f}{\partial \theta} = 0 \text{ (Eq. 10)}$$

Executando as diferenciações:

$$M.g.sen \alpha - M\ddot{x} + \gamma = 0 \text{ (Eq. 11)}$$

$$-\frac{2.M.R^2.\ddot{\theta}}{5} - \gamma R = 0 \text{ (Eq. 12)}$$

Combinando a Eq. 12 com a Eq. 3, obtemos:

$$\gamma = -\frac{2.M.\ddot{x}}{5} \text{ (Eq. 13)}$$

Através da Eq. 11, podemos determinar a equação do movimento da bola de gude sobre o plano inclinado. Para isso, combinamos a Eq. 11 com a 13, obtendo:

$$\ddot{x} = \frac{5.g.sen \alpha}{7} \text{ (Eq. 14)}$$

Thornton e Marion (2003) elucidam que se não houvesse rolamento, a equação do movimento sobre o plano inclinado seria $\ddot{x} = g.sen \alpha$. Sendo assim, a restrição do não deslizamento reduz a aceleração para $\frac{5}{7}$ do valor do deslizamento. O termo γ da Eq. 13 representa a força que produz a restrição do não deslizamento, que em módulo equivale a $\left(\frac{2.M.g}{7}\right).sen \alpha$.

No trecho do plano inclinado, a pretensão de análise é a determinação da velocidade final da bolinha, para isso, podemos usar a seguinte relação:

$$\dot{x}^2 = \dot{x}_0^2 + 2 \cdot \ddot{x} \cdot \Delta L \text{ (Eq. 15)}$$

Os itens da Eq. 15, são: (\dot{x}) - velocidade final da bolinha; ($\dot{x}_0 = 0$) - velocidade inicial da bolinha, consideramos nula pois a bolinha foi abandonada do repouso; (\ddot{x}) – equação do movimento que está expressa na Eq. 14, e (ΔL) - variação do comprimento percorrido pela bolinha.

Aplicando a Eq. 14 na Eq. 15 e lembrando que $\text{sen } \alpha = \frac{h}{L}$, obtemos por fim, a velocidade final da bolinha ao percorrer o plano inclinado.

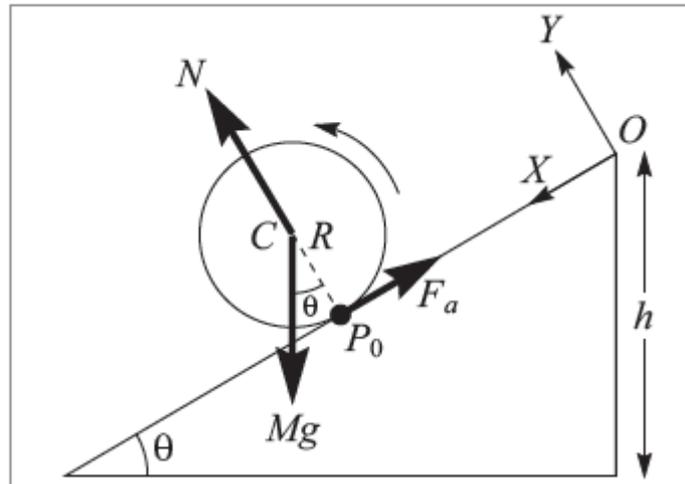
$$\dot{x} = \sqrt{\frac{10 \cdot g \cdot h}{7}} \text{ (Eq. 16)}$$

Durante o processo de análise, vimos que surgiu muitas grandezas que poderiam ser pertinentes para nossa análise: massa da bolinha, raio da bolinha, entre outras. Mas com as considerações coerentes aplicadas, podemos perceber e reafirmar que a principal grandeza para o desenvolvimento inicial do experimento é a altura de largada da bolinha de gude.

2.1.2 Modelagem através das forças atuantes – Etapa: plano inclinado

Antes de começarmos o desenvolvimento matemático, na Figura 3, a seguir, encontra-se a ilustração das forças atuantes durante o deslocamento da bola de gude sobre o plano inclinado. Na imagem, temos um recorte transversal da representação do plano inclinado e da bolinha de gude, com ângulo de inclinação θ , altura h e raio R , no topo do plano inclinado temos o nosso sistema de coordenadas XY , sendo X a direção paralela ao plano e Y a direção perpendicular ao plano, o recorte transversal da bolinha mostra 3 forças atuantes, sendo elas a força normal (\mathbf{N}), a força peso (\mathbf{Mg}) e a força de atrito (\mathbf{F}_a). Por fim, temos também a definição de 2 pontos que serão importantes para interpretação do problema, o ponto C , que está situado no centro geométrico e de massa da bolinha (Estamos considerando a esfera homogênea), neste ponto atuam as forças normal e peso, além do ponto C , temos o ponto P_0 localizado no ponto de contato da bolinha de gude e a rampa, onde atua a força de atrito.

Figura 3 - Representação do plano inclinado e das forças atuantes na bolinha



Fonte: Nussenzveig (2013).

No experimento que desenvolvemos consideramos que a esfera não desliza, ou seja, durante toda trajetória existe um movimento de rotação e translação. Das forças levadas em consideração, a força normal e a força peso estão atuando no centro de massa, sendo assim, essas forças não realizam torque na bolinha visto que elas não possuem distância em relação ao centro de massa, logo, se considerássemos apenas essas forças a bolinha deslizaria. Mas no ponto P_0 , temos a atuação da força de atrito de natureza estática, visto que se combinarmos o movimento de rotação e translação da bolinha a velocidade linear escalar no ponto P_0 é nula, isso implica que o contato entre a bolinha e a rampa serão pontuais. Essa força de atrito estático atuante será responsável por gerar o torque em relação ao centro de massa para que a bolinha rotacione.

O torque é calculado pelo produto vetorial entre o vetor posição em relação a um ponto fixo e a força responsável por gerar o torque.

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \text{ (Eq. 17)}$$

Para o nosso caso experimental, o módulo do torque gerado pela força de atrito estático no ponto P_0 em relação ao centro de massa C será dado por $|\vec{\tau}| = RF_a$.

As equações do movimento para as direções X e Y, serão:

$$\text{Direção X: } M \cdot g \cdot \text{sen}\theta - F_a = M \cdot a_{cm} \text{ (Eq. 18)}$$

$$\text{Direção Y: } N - M \cdot g \cdot \text{cos}\theta = 0 \text{ (Eq. 19)}$$

Nosso objetivo matemático será determinar a velocidade da bolinha ao chegar no final da rampa, então, em termos sequenciais determinaremos a a_{cm} e posteriormente usando a Eq. de Torricelli determinaremos a velocidade desejada.

Utilizando a Eq. 18, e multiplicando todos os termos por R (raio da esfera), temos:

$$R \cdot M \cdot g \cdot \text{sen}\theta - F_a \cdot R = R \cdot M \cdot a_{cm} \quad (\text{Eq. 20})$$

Note que o segundo termo da Eq. 20 equivale ao módulo do torque gerado pela força de atrito estático. Mas, o torque também é definido em termos do momento de inércia (I_{cm}) e da aceleração angular (α).

$$|\vec{\tau}| = I_{cm} \cdot \alpha \quad (\text{Eq. 21})$$

Conhecemos o momento de inércia de uma esfera homogênea (Eq. 5) e a aceleração angular é calculada como a razão entre a aceleração linear do centro de massa e o raio da esfera, reforçando, que estamos levando em consideração que não ocorre deslizamento.

$$\alpha = \frac{a_{cm}}{R} \quad (\text{Eq. 22})$$

Aplicando a Eq. 21, 5 e 22 na Eq. 20, encontramos:

$$R \cdot M \cdot g \cdot \text{sen}\theta - \frac{2}{5} \cdot M \cdot R^2 \cdot \frac{a_{cm}}{R} = R \cdot M \cdot a_{cm} \quad (\text{Eq. 23})$$

Fazendo as simplificações cabíveis, podemos expressar a aceleração do centro de massa de uma bolinha que desce sem deslizar sobre o plano inclinado.

$$a_{cm} = \frac{5}{7} \cdot g \cdot \text{sen}\theta \quad (\text{Eq. 24})$$

Por fim, através da Eq. de Torricelli, podemos concluir o interesse de análise (obtenção do módulo da velocidade final da bolinha).

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a_{cm} \cdot \Delta x \quad (\text{Eq. 25})$$

A bolinha no processo experimental foi abandonada o que implica $v_0 = 0$, na Eq. 24 temos a aceleração do centro de massa e Δx é a distância percorrida pela esfera sobre o plano inclinado, se utilizarmos a trigonometria do triângulo retângulo, podemos escrever Δx como a razão entre a altura (h) do plano inclinado e o seno do ângulo de inclinação do plano ($\text{sen}\theta$). Aplicando essas considerações, concluímos nosso objetivo.

$$v = \sqrt{\frac{10 \cdot g \cdot h}{7}} \quad (\text{Eq. 26})$$

Note que, desenvolvemos dois modelos para velocidade final, um através dos conceitos de energias e o outro utilizando conceitos de forças, e mesmo o caminho sendo diferente obtivemos os mesmos resultados para a velocidade final.

Outra observação importante é que a energia total se conserva, mesmo com a presença do atrito estático. A energia cinética total (rotação e translação), é dada por:

$$ENERGIA\ CINÉTICA\ TOTAL\ FINAL = \frac{M.v^2}{2} + \frac{I.\omega^2}{2} \text{ (Eq. 27)}$$

Se aplicarmos as definições de momento de inércia e velocidade angular explicadas anteriormente, podemos reagrupar a Eq. 27 da seguinte maneira:

$$ENERGIA\ CINÉTICA\ TOTAL\ FINAL = \left(\frac{7.M}{10}\right) . v^2 \text{ (Eq. 28)}$$

Pela modelagem das forças, temos v^2 (Eq. 26), aplicando na Eq. 28:

$$ENERGIA\ CINÉTICA\ TOTAL\ FINAL = M . g . h = ENERGIA\ POTENCIAL\ INICIAL \text{ (Eq. 29)}$$

Nussenzveig (2013) aponta que pode parecer contraditório existir atrito e a energia manter-se conservada, mas como vimos, o ponto P_0 está em repouso, o que implica que a força de atrito não realiza trabalho, a função do atrito para essa situação experimental é de converter energia cinética de translação em rotação.

2.1.3 Modelagem através do Teorema trabalho energia cinética – Etapa: superfície horizontal

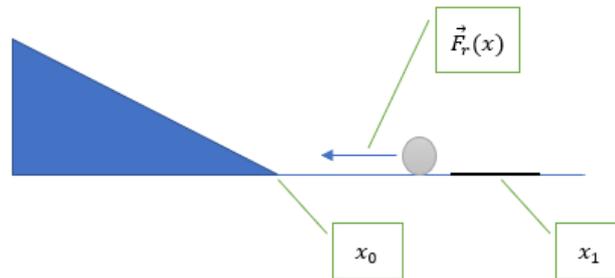
Nesse último trecho de análise, podemos associar os conceitos de forças e energia para entendermos o comportamento físico da bolinha na etapa da superfície horizontal, nossa ferramenta será o Teorema trabalho energia cinética, que matematicamente, encontramos definido no Halliday (2012) da seguinte maneira (para o caso unidimensional):

$$W_{x_0 \rightarrow x_1} = \int_{x_0}^{x_1} \vec{F}_r(x) . d\vec{x} = \frac{M.v_f^2}{2} + \frac{I.\omega_f^2}{2} - \left(\frac{M.v_i^2}{2} + \frac{I.\omega_i^2}{2}\right) = \Delta K \text{ (Eq. 30)}$$

O teorema nos diz que o trabalho da força resultante é responsável pela variação da energia cinética do sistema, como não sabemos a natureza da força, constante ou variável, devemos aplicar o conceito de integração, que vale para os dois casos. Para essa modelagem, temos o objetivo de terminar a intensidade da força resultante responsável por fazer a bolinha parar, no momento final do modelo aplicaremos algumas restrições para calcularmos o desejado.

Na Eq. 30, os limites de integração x_0 e x_1 correspondem respectivamente, ao início e final da superfície horizontal, $\vec{F}(x)$ é a força resultante atuante sobre a bolinha, $d\vec{x}$ é um elemento infinitesimal de deslocamento entre os limites de integração, os demais termos, conhecemos dos modelos passados, correspondem as energias cinéticas de rotação e translação finais e iniciais, para ilustrar a situação segue a Figura 4.

Figura 4 - Ilustração experimental etapa superfície horizontal



Fonte: Autor (2021).

Na Eq. 30 podemos eliminar as energias cinéticas de rotação e translação finais, ao completar o deslocamento, quando a bolinha chegar na posição x_1 a velocidade linear final será nula, sendo assim $v_f = \omega_f = 0$. Aplicando essas considerações, e lembrando as definições de momento de inércia e velocidade angular, obtemos:

$$\int_{x_0}^{x_1} \vec{F}_r(x) \cdot d\vec{x} = - \left(\frac{7 \cdot M \cdot v_i^2}{10} \right) \quad (\text{Eq. 31})$$

Perceba que na Eq. 31, conseguimos obter facilmente todas as grandezas contidas no lado direito, a massa M , é de aproximadamente 15 gramas, a velocidade v_i obtemos a expressão nos modelos anteriores. Com essas informações podemos encontrar o trabalho necessário para fazer com que a bolinha pare na região de interesse.

Se a força resultante que atua sobre a bolinha fazendo com que ela pare fosse constante, poderíamos determinar a intensidade dessa força, partindo da Eq. 31, obteríamos:

$$\vec{F}_r = - \left(\frac{7 \cdot M \cdot v_i^2}{10 \cdot (x_1 - x_0)} \right) \hat{i} \quad (\text{Eq. 32})$$

Para o caso em que a força não seja constante, seria preciso conhecer seu comportamento em função da posição, para calcularmos a integral e pudermos

determinar sua intensidade. De toda forma, percebemos que a força resultante depende de três fatores, massa (M), logo, quanto maior a massa do objeto maior será a força resultante resistiva para fazer com que a bolinha pare na região demarcada, temos também a dependência da velocidade com que a esfera chega no final da rampa, quanto maior o módulo dessa velocidade, maior será a dificuldade para frear na região demarcada, e por fim, existe a dependência do comprimento da rampa ($x_1 - x_0$), quanto maior esse comprimento, menor será a força resultante resistiva responsável por parar a bolinha.

Não aparecem na equação, mas outros aspectos que contribuem para o processo de parada da bolinha são os materiais que as superfícies horizontais foram confeccionadas: arroz, sal, areia fina e lisa. Esses materiais como não foram distribuídos totalmente de maneira uniforme geram forças de colisões que aos poucos retardam o movimento da bolinha ao longo da superfície horizontal.

2.2 BASES TEÓRICAS PARA A SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA

A SEI é uma metodologia do Ensino de Ciências fundamentada por Carvalho (2013). Para desenvolver a estrutura dessa metodologia foi necessário embasamentos teóricos, sendo assim, a próxima seção explanará alguns autores que trazem uma compreensão sobre as SEIs.

Uma situação inserida no contexto do ensino decorre, muitas vezes, das práticas reprodutoras. Nessas práticas reprodutoras, a criatividade do aluno não é estimulada e compromete severamente a capacidade reflexiva dos alunos. Essas relações de ensino necessitam ser superadas devido a alguns fatores, dentre eles: aumento considerável do conhecimento produzido, ou seja, não é possível ensinar todo conhecimento existente para as pessoas.

Apesar de não terem produzidos suas obras diretamente voltadas ao âmbito escolar, dois autores fundamentais para práticas de ensino e para as SEI, são Piaget e Vigotsky, que mostraram como crianças e jovens constroem seus conhecimentos.

Piaget (1977 apud CARVALHO 2013) desenvolveu estudos empíricos por meio de entrevistas com estudantes e não estudantes e através destes grupos, foi possibilitado perceber ensinamentos úteis que orientam os professores. Na sua teoria, a construção do conhecimento deve ser iniciada por meio de um problema, essa necessidade é um ponto chave que separa o ensino expositivo de uma abordagem

diferenciada, já que, na vertente expositiva, normalmente não há espaços para problemas/questionamentos, o professor constrói o raciocínio e o aluno apenas o segue e acompanha.

Um dado importante dos estudos de Piaget é compreendido na forma como os conceitos são formados. Para o autor, conceitos velhos geram novos conceitos e assim sucessivamente. Pontos fundamentais da sua teoria, são: Desequilíbrio, Reequilíbrio e Equilíbrio.

A Desequilíbrio segundo Piaget (1977 apud CARVALHO 2013) ocorre quando o professor envolve o aluno em novas situações, ou seja, a partir do que o aluno compreende o professor introduz uma temática que não seja do território de conhecimento do aluno (o desequilibra). Neste processo é importante que a situação problema promova uma transição de uma ação manipulativa para uma ação intelectual, já que sabemos que uma das finalidades das disciplinas escolares é a aprendizagem de construtos teóricos: conteúdos e conceitos. Sendo assim, ao desequilibrar o aluno, ele poderá questionar, elucidar e testar suas hipóteses – processo que ocorre na ação manipulativa.

Na transição para a ação intelectual torna-se importante a mediação do professor para conduzir o aluno a aprendizagem. Carvalho (2013) destaca que, em meio a esse processo, o erro é importante, pois através dele o aluno poderá refletir e tomar consciência sobre a construção do conhecimento. A etapa de Reequilíbrio ocorre quando o aluno, com o auxílio do professor, constrói novos conhecimentos.

Um ponto importante que não é considerado por Piaget são situações coletivas, apesar de evidenciar dados importantes que nos dias atuais são utilizados e pertinentes, não foi considerado por Piaget a complexidade das práticas sociais que ocorrem no âmbito escolar, em que as turmas costumam ter uma quantidade considerável de alunos. Porém, como autor complementar, temos Vigotsky, que busca estudar processos sociais e psicológicos como agentes do desenvolvimento psíquico dos sujeitos.

Um conceito fundamental de Vigotsky (1984 apud CARVALHO 2013) é o da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) que é compreendido como a distância entre o nível de desenvolvimento real (capacidade que o aluno tem de resolver o problema sem ajuda) e o nível de desenvolvimento potencial (capacidade que o aluno tem de resolver determinado problema com ajuda/orientação). Apesar de serem medidas subjetivas, esse conceito é muito importante, principalmente para a produção de

trabalho em grupos, onde os alunos, ao trabalharem em grupos, estão próximos do nível de desenvolvimento real de seus parceiros, o que facilita a comunicação, o entendimento do conteúdo pela explicação do seu colega. Nesse processo o professor torna-se fundamental na construção de questionamentos que direcionem o aprendizado dos alunos.

Os estudos de Piaget e Vigotsky aliados podem ser ferramentas valiosas para atingir determinados objetivos na aprendizagem dos alunos, pois criam condições individuais e sociais para o contexto escolar.

Bachelard (1938 apud CARVALHO 2013) também contribui para o ensino investigativo, já que, para ele, todo o conhecimento é a resposta a uma questão. Vale notar que um denominador comum entre os estudiosos mencionados até aqui é a valorização de uma questão ou problema inicial para iniciar a construção do conhecimento. Em Bachelard é percebida a necessidade de mudança na cultura experimental, supondo que a transformação deve existir no sentido da evolução da experimentação espontânea para experimentação científica, em que os alunos poderão aprimorar seus conhecimentos, a experimentação científica possibilita a elaboração e testes de hipóteses, fator importante para o ensino investigativo.

No contexto científico a linguagem utilizada pelos alunos é um recurso importante para construção dos conceitos, alguns autores que contribuem para essa temática dentro das SEIs são: Bachelard (1938 apud CARVALHO 2013), Lemke (1997 apud CARVALHO 2013), Vigotsky (1984 apud CARVALHO 2013), Locatelli (2007 apud CARVALHO 2013), Sasseron (2008 apud CARVALHO 2013) e Carvalho (2013). Em resumo, é discutido entre esses autores a necessidade da evolução da linguagem cotidiana para a científica, atentando-se para as várias formas de linguagens, que contemplam figuras, tabelas, gráficos, gestos, em que a união entre elas transmite o sentido completo da comunicação do conhecimento científico.

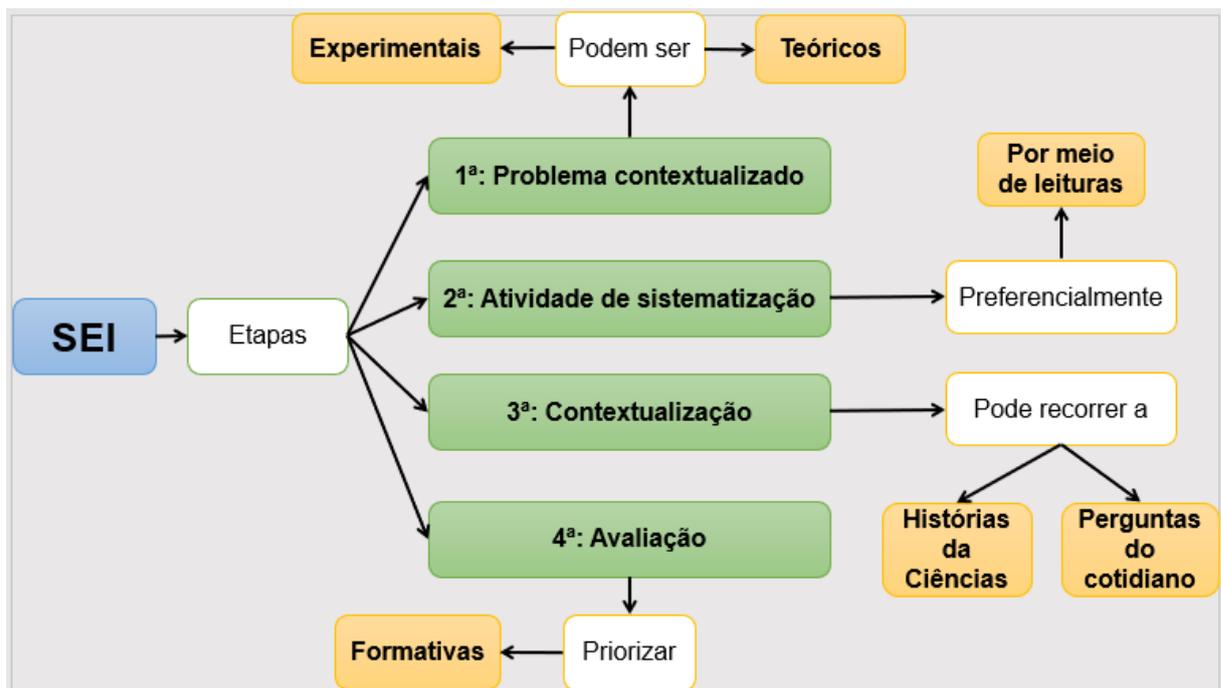
2.3 SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA

Dado as contribuições dos teóricos apresentados anteriormente, as SEIs não objetivam replicar teorias de aprendizagens, mas, a partir das contribuições de teóricos, como Vigotsky e Piaget, buscam possibilidades de melhoria para o ambiente escolar a partir de uma concepção à respeito do ensino de ciências e da construção do conhecimento científico por parte dos estudantes. O principal objetivo desta

proposta teórico-metodológica, segundo Carvalho (2013), é a criação de um ambiente investigativo nas aulas de Ciências, que possibilite ensinar os alunos o processo do trabalho científico para ampliarem progressivamente sua cultura científica.

As SEIs são desenvolvidas para abordar algum(ns) conteúdo(s) do currículo escolar e, para sua aplicação, é necessário seguir algumas etapas que serão representadas no mapa conceitual da Figura 5.

Figura 5 - Mapa conceitual envolvendo as etapas da SEI.



Fonte: Autor (2021).

Pelo mapa conceitual da Figura 5, percebemos que as etapas que compõem a SEI são: Problema Contextualizado; Atividade de Sistematização; Contextualização; e, Avaliação. Essas etapas, serão detalhadas nas próximas seções.

2.3.1 O problema

Os problemas da SEI podem ser propostos com as seguintes vertentes: atividades experimentais: quando os alunos manuseiam o experimento, demonstrações investigativas: quando os professores manuseiam o experimento e problemas não experimentais. Nesse item, podemos fazer um paralelo com os estudos de Piaget, que orienta o início da construção do conhecimento através de um

problema ou com Bachelard, que considera como importante a pergunta para a construção de um novo conhecimento.

Alguns professores chamam o problema de desafio, mostrando que a questão da nomenclatura pode variar. Nas atividades experimentais o papel do professor é guiar os alunos para o entendimento do problema, mas o manuseio e a construção experimental são feitos pelos alunos. Na demonstração investigativa, o professor será responsável por manipular o experimento, variar as grandezas e estimular o raciocínio do aluno, essa vertente torna-se interessante quando a atividade envolve um maior cuidado no manuseio ou oferece algum risco aos estudantes. Nos problemas não experimentais, a atividade pode ocorrer por meio de figuras de jornais ou internet, texto, músicas, entre outros. Apesar da existência dessas vertentes, todas devem ter algumas características em comum: possibilitar que os alunos levantem e testem suas hipóteses sobre um determinado tema que será trabalhado. Outro ponto importante, está na característica que deve ter esse problema, a ponto de possibilitar a transição da ação manipulativa para ação intelectual.

No produto educacional desenvolvido trabalharemos com atividades experimentais, e existem algumas características que são essenciais para essa vertente. A atividade deve ser intrigante, nesse sentido, não seria interessante um experimento que fosse óbvio para o aluno, já que a intenção é retirar o aluno da “zona de conforto”, fazê-lo refletir e pensar para o desenvolvimento da solução do problema. Além disso, deve ser de fácil manuseio, que possibilite variar as grandezas e perceber suas correspondências. Por fim, dentro das limitações sociais, o problema deve ser desafiador.

Ainda nessa etapa, o gerenciamento da classe e o planejamento das interações são de extrema importância, para que o planejado seja satisfeito, é importante que o professor atente aos seguintes pontos e que desenvolva na seguinte sequência que detalhamos no Quadro 1.

Quadro 1 - Gerenciamento e planejamento das interações durante o problema experimental.

Sequências de gerenciamento	Principal agente?	Descrição
------------------------------------	--------------------------	------------------

Primeira: Distribuição do material e proposição do problema.	Professor	O professor divide a turma em grupos, apresenta o problema, deve verificar se todos o compreenderam e ter cuidado para não dar a resposta.
Segunda: Etapa de resolução do problema	Alunos	Nessa etapa são importantes os levantamentos de hipóteses e testes.
Terceira: Sistematização dos conhecimentos elaborados no grupo	Professor e Aluno	Recolher os materiais e propor um debate coletivo, o professor estimula os alunos através de perguntas, e nesse momento é esperado a tomada de consciência do aluno, ou seja, esperamos a passagem da ação manipulativa (manuseio do experimento) para ação intelectual (explicar o fenômeno físico do experimento).
Quarta: Escrever e/ou desenhar	Aluno	Etapa de construção da aprendizagem individual, através da escrita e desenho.

Fonte: Autor (2021).

Na quarta sequência de gerenciamento definida no Quadro 1, esperamos que os alunos consolidem a passagem da ação manipulativa para ação intelectual, ao

explicar o experimento através da escrita e do desenho, se as explicações forem coerentes com a proposta, é possível admitir que os alunos atingiram a transição.

2.3.2 Atividade de sistematização do conhecimento

Com todo esforço feito até o momento pelo professor, não temos a garantia do aprendizado dos alunos, mesmo com as atividades individuais e coletivas. Sendo assim, um texto complementar torna-se necessário para reforçar a aprendizagem do aluno, que deve ser uma espécie de solução para o problema proposto apresentado com uma linguagem formal, deve envolver detalhamento dos conceitos e das ideias que surgiram durante a resolução do problema. Essa atividade deve ser pensada como complementar ao problema. No ensino médio, a leitura do texto deve ser feita pelo aluno, porém o professor deve investigar se foi compreendido a leitura.

2.3.3 Contextualização

Uma forma utilizada com frequência para a contextualização do problema da SEI ocorre pela pergunta de como o aluno percebe ou relaciona determinado fenômeno com o seu dia a dia. Entretanto, essa não é a única forma, e, outra possibilidade, é recorrer à associações, como por exemplo: se for um experimento que envolva transformações de energia, o professor pode apresentar um texto elaborado sobre a montanha russa de um parque de diversões e perguntar quais as semelhanças entre o experimento e o texto. Caso o professor opte pela utilização de um texto, deverá seguir as seguintes etapas: discussão em grupo pelos alunos, abertura para discussão entre toda a classe e escrita individual dos alunos.

Em alguns casos, a contextualização pode ir além do experimento, o professor pode criar uma atividade que mostre uma aplicação do conhecimento envolvido, ampliando o repertório dos estudantes, e, essa aplicação pode ser extraída de livros didáticos, jornais, jogos, entre outros recursos didáticos que possam colaborar com essa função de contextualizar o assunto.

Uma outra forma interessante de contextualizar, principalmente para o ensino médio, é através de textos da História e Filosofia das Ciências. Nesse formato, é possível discutir aspectos relacionados ao desenvolvimento social, ou seja, como determinados objetos/ferramentas/conceitos evoluíram com o passar do tempo, não

se esquecendo do planejamento, que deve possibilitar discussões coletivas orientadas pelo professor.

2.3.4 Avaliação

Etapa é necessária que ocorra ao final de cada ciclo. O formato da avaliação deverá ser do tipo formativa, ou seja, que possibilite verificar se os envolvidos: alunos e professores, estão evoluindo e aprendendo durante o processo. Uma avaliação somativa não se enquadra como ideal para essa metodologia, pois o interesse não é classificar os alunos como bons ou ruins em determinado conteúdo.

A avaliação deve ser coerente com o objetivo proposto pela metodologia, para a SEI, segundo Carvalho (2013), o objetivo desse método é: aprendizagem dos conceitos, termos e noções científicas, aprendizado de ações, atitudes e valores próprios da cultura científica, sendo assim, a avaliação necessita convergir com o objetivo da metodologia.

Para avaliar a aprendizagem dos conceitos, uma das possibilidades é a aplicação de questionários sobre os pontos fundamentais ao final da SEI, apesar de ser um meio tradicional, se bem planejado, a avaliação não representará um instrumento que leva a tensão, entre outros sentimentos que inferiorizem os alunos e os atrapalhem na hora de colocar tudo aquilo que eles sabem no papel.

No que tange a avaliação processual e de atitudes, é recomendado que o professor preste atenção e faça atenção sobre os alunos durante as etapas de resolução do problema, em grupos pequenos e depois diante de toda a turma. O foco é perceber se discutem o conteúdo buscando ideias ou levantam hipóteses para resolução do problema, participando ativamente da resolução do problema.

No momento de discussão coletiva um aspecto importante de avaliar, é se o estudante espera sua vez para se posicionar, se presta atenção e respeita a explicação dos colegas e do professor. Durante a explicação do aluno, o professor deve atentar para a construção das explicações de causa e efeito. Perceba um exemplo: “para elevar o objeto sobre o plano inclinado a força deverá ser maior devido a maior inclinação do plano inclinado”, a causa: maior inclinação do plano inclinado, efeito: maior força aplicada.

No trabalho escrito, que ocorre de forma individual, a avaliação deve estar concentrada nos verbos utilizados para explicar o fenômeno, se os alunos valorizam

a construção das ideias em grupo, e o desenho servirá para identificar a sequência das ações desenvolvidas para solucionar o problema.

Nas leituras feitas, durante as atividades de Sistematização e Contextualização, o principal fator de análise são as relações que os alunos conseguem fazer entre os textos e as etapas da experimentação e na resolução do problema. Por fim, o professor de alguma maneira, pode pensar em algum mecanismo de autoavaliação, para que os alunos reconheçam seus avanços e necessidades de melhoria.

2.4 CATEGORIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA

Foi utilizado uma ferramenta de análise para caracterizar nossa SEI, cujos autores que a desenvolveram foram Cardoso e Scarpa (2018). Essa ferramenta é denominada: Diagnóstico de Elementos do Ensino de Ciências por Investigação (DEEnCI), e consiste em uma tabela com 5 temas principais, que possuem suas subdivisões. Os temas são: introdução à investigação, apoio à investigação dos alunos, guia as análises e conclusões, incentivo a comunicação e ao trabalho em grupo e estágios futuros à investigação. Os temas são constituídos por elementos, para avaliar a construção e aplicação da SEI, onde é necessário marcar os elementos como: Presente (P), Ausente (A) e não aplicável (NA), junto de uma justificativa. No Quadro 2, a seguir, temos uma adaptação da tabela feito por Cardoso e Scarpa (2018) para ilustrar com mais detalhes a distribuição dos temas e elementos.

Quadro 2 - Temas e elementos da ferramenta DEEnCI.

Tema		Elementos
A. Introdução à investigação		A1 O professor estimula o interesse dos alunos sobre um tópico de investigação.
B. Apoio à investigação dos alunos	B1. Problema/questão	B1.1 Há a definição de problema e/ou questão de investigação
		B1.2 O professor envolve os alunos na definição do problema e/ou questão de investigação

	B2. Hipóteses/previsão	B2.1 Há a definição de hipótese e/ou previsão para a investigação
		B2.2 O professor envolve os alunos na definição de hipótese e/ou previsão
		B2.3 O professor envolve os alunos na justificação da hipótese e/ou previsão definida
	B3. Planejamento	B3.1 Há a definição de procedimentos de investigação
		B3.2 O professor envolve os alunos na definição dos procedimentos da investigação
		B3.3 Os procedimentos de investigação definidos são apropriados ao problema e/ou questão.
	B4. Coleta de dados	B4.1 Há a coleta de dados durante a investigação
		B4.2 O professor envolve os alunos na coleta de dados
		B4.3 O professor ajuda os alunos a manter notas e registros durante a coleta de dados
		B4.4 O professor encoraja os alunos a checar os dados
		B4.5 Os dados coletados permitem o teste da hipótese e/ou previsão
	C. Guia as análises e conclusões.	C1 O professor encoraja os alunos a analisar os dados coletados
C2 O professor encoraja os alunos a elaborar conclusões		
C3 O professor encoraja os alunos a justificar as suas conclusões com base em conhecimentos científicos		

	C4 O professor encoraja os alunos a verificar se as suas conclusões estão consistentes com os resultados
	C5 O professor encoraja os alunos a comparar as suas conclusões com a hipótese e/ou previsão
	C6 O professor encoraja os alunos a considerar as suas conclusões em relação ao problema e/ou questão de investigação
	C7 O professor encoraja os alunos a refletir sobre a investigação como um todo
D. Incentivo à comunicação e ao trabalho em grupo	D1 O professor encoraja os alunos a trabalhar de forma colaborativa em grupo
	D2 O professor encoraja os alunos a relatar o seu trabalho
	D3 O professor encoraja os alunos a se posicionar frente aos relatos dos colegas sobre a investigação
E. Estágios futuros à investigação	E1 O professor encoraja os alunos a aplicar o conhecimento adquirido em novas situações
	E2 O professor encoraja os alunos a identificar ou elaborar mais problemas e/ou questões a partir da investigação.

Fonte: Adaptado de Cardoso e Scarpa (2018).

Ao total tem-se 5 temas e 26 elementos. Essa ferramenta servirá de autoanálise para reflexão desse trabalho, nos indicando se, ao desenvolvermos a SEI, tivemos uma predominância de marcações Presente (P). Segundo os autores, isso significa que contemplamos características importantes e necessárias para uma SEI, caso

contrário, precisaremos fazer alguns ajustes para uma eventual aplicação futura e na apresentação do produto educacional desta dissertação.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa possuirá uma abordagem qualitativa, pois, como apontam Silveira e Gerhardt (2009) e Godoy (1995), esse tipo de pesquisa busca entender o porquê por trás dos processos, possuindo uma forma de análise dos dados subjetiva, ou seja, onde não há a pretensão de quantificar o processo de investigação. Para cumprir com o objetivo dessa abordagem, aspectos sociais e do contexto das pessoas envolvidas na pesquisa são importantes. Nosso interesse da pesquisa corrobora com essa abordagem, já que temos a intenção de associar a Sequência de Ensino Investigativa, sobre o conteúdo de plano inclinado, para investigarmos como essa associação pode contribuir para aprendizagem de conceitos físicos.

Outras definições são necessárias sobre a natureza desta pesquisa, já que, segundo Silveira E Gerhardt (2009), as pesquisas científicas, além da sua abordagem, podem ser classificadas quanto a sua natureza e procedimentos.

Sendo assim, a natureza dessa pesquisa é aplicada, já que nossa intenção é gerar conhecimentos para aplicação prática, solucionando eventos específicos, que, neste caso está relacionado a inserir uma Sequência de Ensino Investigativa ao problema do plano inclinado. Nossa revisão da literatura mostrou que não há estudos diretamente relacionados as duas temáticas: Sequência de Ensino Investigativa e plano inclinado. Já a solução de eventos específicos seria a tentativa de superar a abordagem tradicional no estudo do plano inclinado.

Quanto aos procedimentos, a pesquisa será classificada como Estudo de Caso, segundo Godoy (1995), esse procedimento é utilizado com frequência quando queremos entender o “como” e “por quê” da ocorrência de determinados fenômenos, essa ferramenta é ideal quando não se tem um controle efetivo da situação estudada. Além disso os fenômenos estudados são atuais, e só podem ser pesquisados dentro de um contexto da vida real. Neste caso, esta pesquisa ocorreu em uma escola pública de Caruaru, ou seja, em um contexto da vida real onde não temos um controle efetivo da situação estudada, e os resultados obtidos dependeram dos alunos participantes e do contexto em que a proposta foi inserida.

3.1 O DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional desenvolvido consiste em uma Sequência de Ensino Investigativa, fundamentada por Carvalho (2013), sobre a temática do plano inclinado, e toda sua estrutura encontra-se no Apêndice A deste trabalho. Em relação a duração da produção do produto educacional foi de aproximadamente 5 meses, envolvendo: a produção do aparato experimental, os testes experimentais, a produção da sequência didática, a aplicação do produto e a reformulação do produto. As atividades que demandaram maior tempo foi a produção experimental e os testes experimentais, que ocorreram de forma paralela. Para um leitor que tenha interesse em desenvolver essa sequência, estimamos um tempo de preparo menor, visto que, não será necessário fazer tentativas que foram desconsideradas para a montagem experimental e a sequência didática apresentada neste trabalho, que está pronta para ser reproduzida, com as alterações que forem necessárias.

É importante destacar os materiais necessários para produção experimental foram: madeiras MDF, isopor, arroz, areia fina, lixa, cola, bola de gude, régua, folhas A4 e tinta spray preta. Todos materiais são de baixo custo, viabilizando a produção experimental. A forma detalhada como os materiais foram associados estão descritos no Apêndice A deste trabalho. Foram construídas rampas de mdf, com contenção de isopor, seguidas de uma superfície horizontal, com diferentes atritos, e uma demarcação na superfície horizontal, dentro da qual a bolinha deveria parar quando os alunos abandonassem sobre a rampa. As superfícies horizontais eram móveis e podiam ser trocadas entre os grupos. O aparato na sua versão finalizada pode ser visualizado na Figura 6, a seguir.

Figura 6 – Aparato experimental produzido para aplicação da SEI



Fonte: Autor (2021).

3.2 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL E CATEGORIAS DE ANÁLISE

A aula ocorreu em uma Escola de Referência do Ensino Médio, localizada no município de Caruaru-PE, no dia 17 de agosto de 2021. A duração da aula foi de aproximadamente 150 minutos equivalente a 3 aulas, a turma era composta por 15 alunos, quando necessário dividimos a turma em 4 grupos, sendo 3 grupos com 4 alunos e um grupo com 3 alunos. O número de alunos em sala de aula encontrava-se reduzido por conta do plano de retomada das atividades na pandemia de COVID-19.

Antes da realização da aula ocorreu uma conversa com a gestora da escola solicitando a liberação para o desenvolvimento da pesquisa, e paralelo a solicitação foi feito um termo de consentimento para que os responsáveis pelos discentes autorizassem a participação na aula, este termo de consentimento encontra-se presente no Apêndice B deste trabalho.

Durante a aula os alunos desenvolveram as atividades propostas da sequência investigativa, mostrando muito entusiasmo e participando efetivamente dos desafios propostos durante o momento experimental. Por outro lado, no momento das explicações sobre o processo experimental, realizado posteriormente, os alunos apresentaram algumas dificuldades, visto que só tinham estudado os conteúdos de Cinemática e parte inicial de Leis de Newton, e, para essa sequência didática, além desses conteúdos, necessitavam também de conhecimentos básicos relacionados a energia e sua conservação. Mesmo não estudando o conteúdo base, decidimos manter a aplicação da sequência, uma vez que os conceitos de energia possivelmente já foram abordados no Ensino Fundamental.

Como recurso para coletar os dados da pesquisa aplicamos três questionários em momentos diferentes. O primeiro questionário ocorreu posteriormente a realização do experimento, contendo 6 perguntas, nesse questionário os alunos se dividiram em grupos e responderam de forma intuitiva as questões, logo, para esse primeiro não era esperado respostas aprofundadas, mas sim que refletissem sobre a atividade experimental realizada. O segundo questionário, por meio de desenho e produção textual, os alunos responderam, individualmente “Como o problema experimental foi solucionado?”, nesse momento, esperávamos um maior envolvimento de conceitos físicos, visto que os alunos passaram pela etapa de Sistematização do Conhecimento, etapa que explica formalmente os conceitos atrelados ao experimento. Por fim, o questionário final, respondido de forma individual, consistiu na resolução de 4 problemas abertos, e para isso, foi esperado maior aprofundamento possível da parte

dos alunos, visto que já passaram pelas etapas de Problema, Sistematização do Conhecimento e Contextualização.

Na etapa de apresentação do Problema, o professor aplicador tinha um papel de observador e mediador, ou seja, o problema foi apresentado aos alunos e eles foram orientados, sempre que solicitaram, para garantir que compreendessem o problema e desenvolvessem a solução adequada. No momento de discussão das resoluções, o papel do professor foi de mediador, atentando para não os influenciar na sua compreensão sobre a solução do problema e dos conceitos físicos associados. Na etapa de Sistematização do Conhecimento, o professor foi o principal atuante, conduzindo a leitura e tentando firmar o conhecimento de maneira mais aprofundada. Durante a Contextualização ocorreu uma discussão de forma dialogada, entre o professor e os alunos de forma dialogada entre o professor e os alunos. E, por fim, na Avaliação, o professor não induziu nem ajudou os alunos na solução dos problemas propostos, já que, nessa etapa, os principais atuantes são os alunos, que resolveram os problemas abertos, aplicando os conhecimentos trabalhados ao longo da sequência.

De forma breve apresentaremos os questionários que serviram para coletar os dados da pesquisa e as categorias que iremos investigar durante o processo de pesquisa. A construção do questionário, assim como o contexto estão apresentados com maior detalhe no Apêndice A deste trabalho.

● Primeiro questionário (Em grupos) vs. Categorias analisadas

Agora, mostraremos o que iremos verificar em cada uma dessas questões, lembrando que nesse primeiro questionário os alunos preencheram as respostas intuitivamente e em grupo. No Quadro 3 a seguir, estruturamos e organizamos as perguntas contidas no primeiro questionário, as respostas esperadas e as categorias de análise, que foram definidas a priori em relação a coleta de dados.

Quadro 3 - Estrutura de análise para o primeiro questionário

Perguntas: questionário	Respostas esperadas	Categorias de análise
------------------------------------	----------------------------	------------------------------

1 - Quais alturas encontradas para cada uma dessas superfícies horizontais?	Alturas médias em ordem decrescente: altura média do trilho que contém arroz > altura média do trilho que contém areia fina > altura média do trilho que contém lixa > altura média do trilho liso.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Compreenderam o problema proposto (Alunos que se aproximarem da resposta esperada); ➤ Não compreenderam o problema proposto (Alunos que se distanciarem da resposta esperada).
2 - Quais estratégias que vocês utilizaram para solucionar o problema?	Percepção do atrito da superfície horizontal e altura inicial de abandono.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mencionaram algum conceito físico como estratégia de solução; ➤ Mencionaram a altura de abandono; ➤ Mencionaram itens não coerentes com o problema experimental.
3 - Vocês encontraram alturas iguais de abandono para superfícies horizontais diferentes?	Predominância da resposta não.	Quantificação das respostas sim e não obtidas.
4 - Caso sim para última pergunta, o que você acha que ocasionou a obtenção do mesmo resultado? Caso não, por que obtivemos alturas diferentes?	Envolvimento de aspectos físicos que justifiquem a resposta não.	<p>Para quem respondeu não:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Atribuição a algum aspecto físico explícito; ➤ Atribuição a algum aspecto físico implícito.

		<p>Para quem respondeu sim:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Busca de semelhanças entre as combinações de alturas iguais; ➤ Atribuição a fatores aleatórios que podem interferir no experimento (como colisões da bola de gude com os trilhos de isopor).
5 – Houve alguma superfície horizontal que a bolinha não parou, independente da altura de abandono? Justifique.	Esperamos que a bolinha pare em todas as superfícies horizontais (Com o ajuste da altura de largada), mas, em termos de dificuldade, a superfície lisa e a com a lixa foram desafiadoras para a meta proposta.	<p>Quantificação das respostas sim e não. As categorias para as resoluções, foram:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Não justificou; ➤ Mencionou a superfície lisa ou a superfície com lixa; ➤ Mencionou algum conceito físico para justificar.
6 - Quais grandezas e/ou conceitos físicos você consegue perceber/associar com o problema que estudamos?	Energias: cinética e potencial gravitacional, conservação de energia, Força de atrito, Leis de Newton, velocidade e aceleração.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Não respondeu à questão; ➤ Utilizou conceitos físicos coerentes com o experimento; ➤ Mencionou conceitos físicos desconexos com o problema.

- **Segundo questionário (Individual) vs. Categorias analisadas:** “Como o problema experimental foi solucionado?”

Reforçamos que nesse questionário os alunos deveriam responder por meio da escrita e de um desenho. No Quadro 4, detalhamos como foram feitas as análises das questões.

Quadro 4 - Estrutura de análise segundo questionário

Pergunta: questionário	Respostas esperadas	Categorias de análise
Como o problema experimental foi solucionado?	Parte escrita: Envolvimento da maior quantidade possível de conceitos físicos, ou seja, desenvolver a explicação por meio de argumentos, tais como: variação da energia mecânica inicial, diferentes atritos das superfícies horizontais, entre outros.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mencionou todos os conceitos físicos esperados; ➤ Mencionou aspectos ou conceitos físicos incorretos com a solução do problema; ➤ Mencionou alguma(s) grandeza(s) primária(s) (altura, massa, entre outras), ou 2 ou 3 conceitos físicos.
	Desenho: Elaborar diagramas de forças atuantes no experimento, representar a alteração da energia inicial.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Concordam com a escrita; ➤ Acrescentam informações e/ou conceitos físicos que não apareceram na parte escrita; ➤ Não apresentam os conceitos e relações com as informações escritas.

Fonte: Autor (2021).

Os desenhos serviram de suporte para situações em que o aluno entendeu a problemática, porém não soube se expressar por meio da escrita, o que ampliará nossas possibilidades de análise dos resultados.

• Terceiro questionário (Individual) vs. Categorias de análise

De forma semelhante ao primeiro e segundo questionário, o Quadro 5, a seguir, nos ajudará a compreender nossa pretensão de análise.

Quadro 5 - Estrutura de análise terceiro questionário

Perguntas: questionário	Respostas esperadas	Categorias de análise
1 - No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar.	Variar a altura de largada; alterar o ângulo de inclinação da rampa; variar a energia inicial da bolinha de gude; variar o atrito da superfície horizontal; variação da força sobre a bolinha.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mencionou apenas uma possibilidade; ➤ Mencionou algumas possibilidades; ➤ Não mencionou corretamente nenhuma possibilidade.
2 – Vimos, através das equações que sobre o plano inclinado, a massa do corpo não é relevante para análise experimental, mas, na prática, a massa do	Sim. Para a situação experimental prática, a massa é inversamente proporcional a velocidade, ou seja, quanto maior a massa do objeto, menor será	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Quantificação das respostas sim e não. Para justificativa as categorias são: ➤ Massa inversamente proporcional a velocidade;

<p>objeto é importante? Você acha que se a bolinha fosse outro objeto, mais pesado ou mais leve, os resultados seriam diferentes? Justifique.</p>	<p>sua velocidade adquirida ao longo da superfície horizontal e vice-versa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Não atribuiu significado físico a explicação; ➤ Associou a massa da bolinha a força de atrito do solo e/ou força gravitacional; ➤ Massa diretamente proporcional a velocidade; ➤ Não entendeu o questionamento.
<p>3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema.</p>	<p>Subida: quanto maior a inclinação, maior deverá ser a força aplicada para conseguir subir a rampa, o contrário também é válido para subida. É possível associar transformações de energia e conceitos de força para essa resolução.</p> <p>Descida: quanto maior a inclinação maior será a força resistiva aplicada pelo cadeirante para que a energia cinética não sofra variações elevadas, quanto menor a inclinação, facilitará para o cadeirante o translado em termos de</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Variação da força para subir ou descer; ➤ Aumento da velocidade na descida dependendo da inclinação; ➤ Não utilizou conceitos físicos; ➤ Não entendeu o questionamento; ➤ Inclinação associada ao atrito.

	força, porém, será necessário maior espaço físico para construção da rampa.	
4 – Você acha que as rampas de acessibilidade podem ser desenvolvidas para qualquer inclinação? Ou deve existir um limite? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema.	Existem especificações segundo as normas regulamentadoras, que são elaboradas com o intuito de facilitar o translado dos cadeirantes. A facilitação ocorrerá no sentido de exercer menos esforço físico ou de não necessitar realizar trabalho excessivo para conversão de energia.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Não atribuiu significado físico; ➤ Associou aceleração adquirida a inclinação da rampa; ➤ O limite de inclinação como função da força aplicada para subir ou descer, atrito, gravidade ou velocidade; ➤ Reprodução da informação apresentada no vídeo sobre inclinações apropriadas no momento da contextualização.

Fonte: Autor (2021).

No Quadro 5, temos as perguntas utilizadas na avaliação, algumas respostas que esperamos e as categorias de análise que foram definidas a priori a realização da SEI.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo apresentamos os resultados obtidos a partir das respostas dos alunos diante das atividades propostas na SEI. Através da análise, esperamos concluir, no próximo capítulo, se atingimos nosso principal objetivo, que consiste em analisar a contribuição para a aprendizagem de conceitos físicos de uma sequência de ensino investigativa sobre plano inclinado. Além dessa pretensão, responderemos à pergunta norteadora deste trabalho, como uma SEI sobre plano inclinado pode contribuir para a aprendizagem de conceitos físicos.

Merece destaque que a SEI elaborada (Apêndice A) foi planejada para ser realizada em 2 ou 3 encontros presenciais com 1 ou 2 aulas por encontro, porém, devido a disponibilidade da escola, a sequência foi aplicada em 1 encontro que durou aproximadamente 3 aulas. Reforçamos que, na escola em que ocorreu a aplicação, a duração da aula é de 50 minutos. Mesmo com essa limitação temporal, tentamos seguir a sequência de maneira mais fidedigna possível, porém em alguns momentos tivemos que ser breves e práticos na aplicação da aula.

4.1 ANÁLISE DO PRIMEIRO QUESTIONÁRIO: GUIA EXPERIMENTAL

O primeiro questionário, denominado guia experimental, serviu de suporte para aplicação experimental. Nesse momento os alunos responderam as questões de maneira intuitiva, ou com base em conceitos estudados em outros momentos com a professora da disciplina. É importante destacar que no momento da aplicação os alunos tinham estudado em aulas precedentes, cinemática e leis de newton (forças, 1ª e 2ª leis), e ainda não tinham estudado a 3ª lei. Essa informação é fundamental para análise que desenvolvemos.

O guia experimental consistiu em 6 perguntas, a primeira pergunta os alunos responderam durante a realização do experimento, que inclusive demonstraram muita curiosidade e entusiasmo com a realização do mesmo, as outras 5 perguntas foram respondidas após a realização do experimento em um determinado tempo disponibilizado. Nessa atividade, os alunos foram divididos em 4 grupos: 3 grupos com 4 alunos e 1 grupo com 3 alunos. A SEI foi aplicada para 15 alunos, e durante toda a aplicação seguimos todas as recomendações em relação aos cuidados contra a Covid-19, o que justifica a quantidade de alunos que participaram da pesquisa.

No guia experimental, na primeira pergunta tínhamos a pretensão de verificar se os grupos compreenderam o problema proposto e executaram o experimento de acordo com ele. A pergunta consistia no preenchimento de uma tabela com os dados obtidos no experimento (Vide Apêndice A). As superfícies horizontais foram denominadas da seguinte maneira, superfície A: trilho com arroz; superfície B: trilho com areia fina; superfície C: trilho liso (própria madeira); e superfície D: trilho com lixa. Para efeito de análise, a sequência de altura média deveria seguir a ordem decrescente: trilho com arroz, trilho com areia fina, trilho com a lixa e trilho liso. O entendimento do problema experimental será percebido ao longo da análise de todos os questionários, todas as questões serão fundamentais para termos essa percepção.

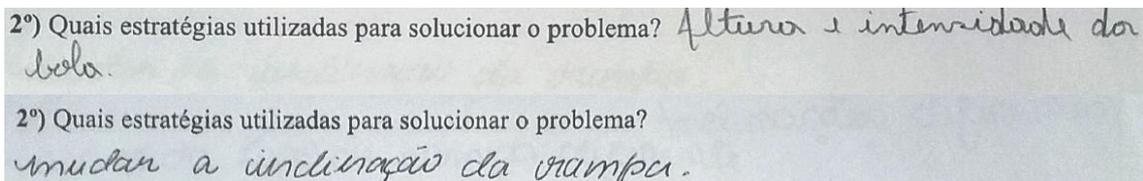
Dos 4 grupos, 2 grupos conseguiram completar a tabela com a sequência de altura média esperada, os grupos C e D. Os grupos A e B, não conseguiram preencher de acordo com o resultado esperado, a sequência de altura média, em ordem decrescente, obtida por esses dois grupos foi: trilho com arroz, trilho com areia fina, trilho liso e trilho com lixa. Mas ainda assim, se aproximaram do resultado esperado, pois comutando o trilho liso com o trilho com lixa teríamos o resultado esperado. A uma significativa evidência de que todos os grupos compreenderam o que era para ser feito no experimento, mas ainda assim, não podemos tomar como garantia o entendimento, os próximos questionamentos reforçam (ou não) essa evidência.

Como foi exposto na fundamentação teórica deste trabalho, com base na ótica de Carvalho (2013), a etapa de aplicação do problema é recomendado que sejam seguidas algumas etapas de gerenciamento: distribuição do material e proposição do problema; etapa de resolução do problema; sistematização dos conhecimentos elaborados no grupo; escrever e desenhar. A primeira questão mostrou o cumprimento da primeira e segunda etapa do gerenciamento, a terceira etapa foi concretizada com a resolução e discussão da segunda à sexta questão, o destaque dessa terceira etapa do gerenciamento é que os alunos devem tomar consciência do problema, passando da ação manipulativa (manuseio do aparato experimental) para ação intelectual (explicação física do ocorrido no experimento), vale salientar que primeiro eles responderam ao questionário e na sequência foi discutido na turma, sendo assim, em termos de registro, ainda não será totalmente perceptível a tomada de consciência por parte dos alunos.

Na segunda questão, uma das categorias elaboradas foi a menção a algum(ns) conceito(s) físico(s), porém, nenhum dos grupos mencionaram conceitos físicos como

estratégia para solucionar o problema. Outra categoria dessa questão foi a menção à altura de abandono, essa categoria foi predominante em relação as respostas, nesse momento da aula os alunos ainda não haviam passado completamente à ação intelectual, então é esperado que realmente não mencionassem conceitos físicos e que as respostas ficassem em torno do que foi visualizado de maneira mais direta por eles. A última categoria dessa questão foi a menção de itens não coerentes com o problema experimental, na Figura 7 a seguir podemos ilustrar exemplos que se enquadram nessa categoria.

Figura 7 – Respostas do grupo A e B (respectivamente) da segunda questão do primeiro questionário. Nesses exemplos, temos alguns itens que não são coerentes com a solução do problema apresentado.



Fonte: Autor (2021).

Percebemos através da Figura 7 uma resposta que parcialmente equivale a duas categorias, mas queremos destacar que o grupo A, que mencionou a “intensidade da bola”, e no momento da discussão em grupo, eles não mencionaram essa resposta, então ficamos no campo das possibilidades do que seria “intensidade da bola”. O pertinente dessa resposta é que Carvalho (2013) faz essa previsão, de que no momento em que os alunos não dominem noções e termos científicos é possível o surgimento de expressões não científicas, mas que ainda assim, não deixe de transmitir um pensamento científico.

Na segunda resposta da Figura 7, o grupo B mencionou um item não coerente com o problema experimental, a inclinação do plano inclinado é fixa, então pensamos em duas possibilidades, ou os alunos quiseram mencionar a altura de largada, mas utilizaram a palavra “inclinação” para expressar a altura, ou recorreram a algum artifício para variar a inclinação do plano. Entretanto, destacamos que a segunda possibilidade não está de acordo com a proposta, mas para atingir o objetivo, é possível que tenham utilizado possibilidades não permitidas com a proposta inicial do problema experimental.

Na terceira questão, os alunos deveriam responder sim ou não para obtenção da mesma altura de abandono em superfícies horizontais diferentes, nessa questão, esperávamos que todas as respostas fossem não, visto que cada um dos trilhos horizontais apresentava resistências diferentes ao deslocamento da bolinha de gude, porém, as respostas ficaram divididas igualmente entre sim e não.

Antes de aplicarmos a SEI, fizemos incansáveis testes e em nenhum momento obtivemos alturas iguais de abandono, para superfícies horizontais diferentes. Dessa maneira, dois grupos corresponderam às nossas expectativas de resolução, os demais grupos podem ter encontrado dificuldades na questão do manuseio das ferramentas experimentais, destacamos a utilização da régua como um fator que pode ter comprometido a resolução dos alunos.

A quarta questão pedia para os alunos justificarem a resposta da questão anterior. Para os que haviam respondido não, elaboramos as seguintes categorias: atribuição a algum aspecto físico explícito e atribuição a algum aspecto físico implícito. Para os que responderam sim, as categorias foram: busca de semelhanças entre as combinações de alturas iguais e atribuição a fatores aleatórios que podem interferir no experimento. As respostas obtidas estão registradas na Figura 8 a seguir.

Figura 8 - Respostas para a quarta questão

4º) Caso sim para última pergunta, o que você acha que ocasionou a obtenção do mesmo resultado? Caso não, por que obtemos alturas diferentes?

Poris Cada experimento tinha superficies diferentes.

4º) Caso sim para última pergunta, o que você acha que ocasionou a obtenção do mesmo resultado? Caso não, por que obtemos alturas diferentes?

Diferenças de solo

4º) Caso sim para última pergunta, o que você acha que ocasionou a obtenção do mesmo resultado? Caso não, por que obtemos alturas diferentes?

Suas bases eram mais lisas.

4º) Caso sim para última pergunta, o que você acha que ocasionou a obtenção do mesmo resultado? Caso não, por que obtemos alturas diferentes?

As texturas ásperas.

Fonte: Autor (2021).

Na Figura 8, as duas primeiras respostas foram de grupos que responderam não ao terceiro questionário, as duas se enquadram na categoria atribuição a algum aspecto físico implícito, o aspecto seria a força de resistência associadas a cada uma das superfícies horizontais. As outras respostas foram de grupos que responderam sim para terceira questão, as respostas enquadram-se na categoria busca de semelhanças entre as combinações de altura iguais, os alunos quiseram informar que não havia excessiva variação de força resistiva entre determinadas superfícies.

Note que, independentemente de ter respondido sim ou não, todos de alguma maneira quiseram direcionar sua resposta para a força de resistência, porém, nesse momento da aplicação, os grupos ainda não tinham propriedade do vocabulário científico. Lemke (1997 apud CARVALHO 2013) aponta a necessidade de conduzir os alunos da linguagem cotidiana para à científica. Nesse momento, as respostas dos alunos estavam mais voltadas para suas experiências cotidianas, porém, com o decorrer da SEI almejamos chegar na necessidade apontada pelo autor, de aquisição do vocabulário científico.

Na quinta questão, as categorias de análise foram: não justificou; mencionou a superfície lisa ou a superfície com lixa; mencionou algum conceito físico para justificar. Dois grupos enquadram-se na categoria não justificou, apenas responderam não e como tentativa de justificativa parafrasearam a questão. Um grupo mencionou a superfície lisa ou com lixa em que a bolinha não parou, nesse caso, eles tomaram o ocorrido em um ou outro lançamento e generalizaram, mas olhando o preenchimento da tabela da primeira questão, esse grupo havia completado a tabela, então o grupo conseguiu obter solturas da bolinha que parassem na demarcação horizontal. Nessa quinta questão merece destaque um dos grupos que apesar de não ter utilizado com todas as letras o conceito físico esperado, nos deixou com o pensamento de que entenderam qual grandeza poderia estar associada, percebe a resposta do grupo na Figura 9 a seguir.

Figura 9 - Exemplo notável quinta questão

5º) Houve alguma superfície horizontal que a bolinha não parou, independente da altura de abandono? Justifique. *Sim, com uma pista lisa e uma altura grande, ela pegou mais velocidade.*

Fonte: Autor (2021).

A expressão “...pegou mais velocidade.”, nos fez acreditar que de alguma maneira o aluno quis mencionar a energia cinética adquirida pela bolinha, porém, recai no que mencionamos na análise da quarta questão, nesse momento, as respostas ainda estão no campo de um conhecimento mais intuitivo. Posteriormente a resolução das questões houve um debate coletivo e aos poucos os termos científicos corretos foram surgindo, perceberemos com mais detalhes nos próximos questionários.

Por fim, a sexta questão, envolve as categorias: não respondeu à questão; utilizou conceitos físicos coerentes com o experimento; mencionou conceitos físicos desconexos com o problema. Um grupo não respondeu à questão, e os demais grupos correspondem a categoria de menção a conceitos físicos desconexos, todos mencionaram leis de newton e alguns detalharam a lei da inércia, essa resposta é entendida pelo fato de ter sido o último assunto estudado pelos alunos em aulas precedentes a aplicação da SEI, então, na falta de recursos argumentativos, arriscaram o último assunto estudado.

4.2 ANÁLISE DO SEGUNDO QUESTIONÁRIO: DESENHAR E ESCREVER

Seguindo as etapas de gerenciamento do problema, já apresentadas neste trabalho, a quarta etapa é denominada como desenhar e escrever. E os alunos, através da escrita e de desenho, deveriam responder como o problema experimental foi solucionado. Mas, sabendo das dificuldades apresentadas pelos alunos, por meio dos relatos da professora antes da aplicação da SEI, e dos poucos conteúdos estudados ao longo do primeiro ano, decidimos ajustar a proposta da SEI. Ao invés de seguirmos para a etapa do desenhar e escrever, antecipamos a “Sistematização do conhecimento”, e posteriormente aplicamos o questionário do quarto gerenciamento. Essa alteração contribuiu para os alunos adquirirem um maior suporte conceitual para resolução dos questionários posteriores. Porém, em situações que os alunos tenham estudado os conteúdos base necessários, o recomendado é que seja seguido a sequência proposta por Carvalho (2013).

O segundo questionário foi respondido individualmente, para a parte escrita as categorias foram: mencionou todos os conceitos físicos esperados; mencionou aspectos ou conceitos físicos incorretos com a solução do problema; mencionou alguma(s) grandeza(s) primária(s) (altura, massa, entre outras) ou 2 ou 3 conceitos físicos.

Mesmo após a Sistematização do conhecimento, alguns termos que esperávamos que começassem a surgir, como exemplo: energia cinética e energia potencial gravitacional, não surgiram. Vale salientar, que esses conteúdos quando estudados no ensino médio, demandam uma quantidade significativa de aulas para que os alunos amadureçam o conceito e comecem a desenvolver explicações em função desses, sendo assim, necessitamos lembrar que os alunos envolvidos na nossa aplicação, não haviam estudado em aulas precedentes o tema energia, e que nossa SEI, teve duração de aproximadamente 125 minutos, e pela proposta, não poderíamos nos delimitar apenas a sistematizar o conhecimento, era necessário seguir com as próximas etapas para cumprir o cronograma. Ainda assim, algumas respostas merecerem destaque, na parte escrita, enquadrando-se na categoria mencionou todos os conceitos físicos esperados, percebemos dois exemplos, na Figura 10.

Figura 10 - Exemplos de respostas parte escrita, categoria: mencionou todos os conceitos físicos esperados.

1º Medindo, analisando o solo e o atrito que a bolinha teria com a mesma; também observando a inclinação da rampa, sabendo até onde ela via sendo solta de certo centímetros da para se ter uma noção de que altura saltou-la

INICIALMENTE, VERIFIQUEI O SOLO DO PLANO HORIZONTAL, COM BASE NISSO, FIZ AS TENTATIVAS (QUANTO MAIS ASPERO O SOLO, MAIOR A ALTURA QUE COLABEI) - APÓS ISSO, CHEGUEI A DIFERENTES RESULTADOS NO MESMO E/ NOS OUTROS PLANOS.

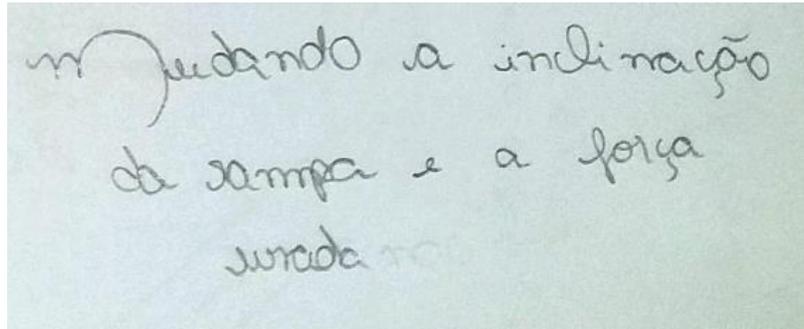
Fonte: Autor (2021).

Na primeira resposta, da Figura 10, note que surgiu um termo científico: atrito. Para nossa pesquisa, de certa maneira, o surgimento desse termo é um avanço, se comparado com o primeiro questionário. Essa resposta consideráramos como a ideal para a pergunta se ao invés de mencionar altura, o aluno mencionasse energia potencial gravitacional. Mas dentro dos recursos teóricos dos alunos, foi uma boa

resposta. Na segunda resposta, da Figura 10, apesar de não utilizar o termo científico atrito, o aluno descreveu corretamente o tipo de superfície com a altura de largada.

Na categoria, mencionou aspectos ou conceitos físicos incorretos com a solução do problema, temos o exemplo da Figura 11.

Figura 11 - Exemplo de respostas parte escrita, categoria: mencionou aspectos ou conceitos físicos incorretos com a solução do problema.

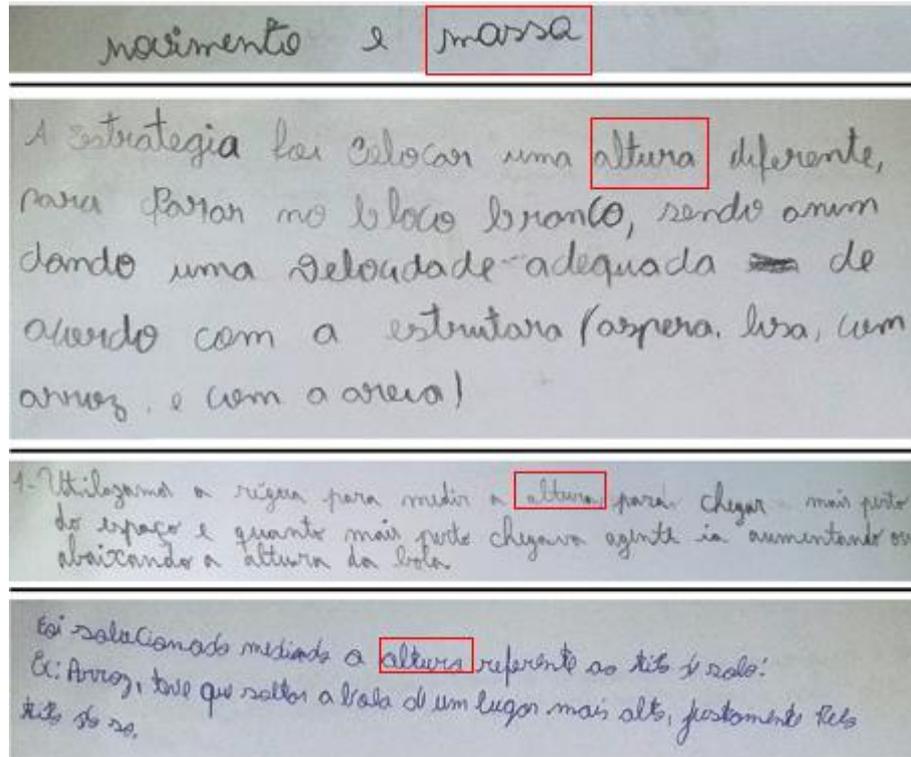


Fonte: Autor (2021).

Perceba que além do método para solucionar o problema, mudar a inclinação da rampa, o conceito físico mencionado não está de acordo com a proposta experimental, a bolinha de gude deveria ser abandonada, ou seja, partir do repouso, e no momento da aplicação da SEI, demos ênfase a essa necessidade. Ao mencionar força usada, temos um conceito físico incorreto com a solução do problema. Outros grupos, mencionaram também, força utilizada, porém, a resposta havia a menção a outros conceitos físicos corretos, sendo assim, na Figura 11, mostramos um exemplo que está incorreto tanto no método/aspecto quanto no conceito físico.

A última categoria para a parte escrita foi: mencionou alguma(s) grandeza(s) primária(s) (altura, massa, entre outras) ou 2 ou 3 conceitos físicos, na Figura 12, temos 4 exemplos associados a essa categoria.

Figura 12 - Exemplo de respostas parte escrita, categoria: mencionou alguma(s) grandeza(s) primária(s) (altura, massa, entre outras) ou 2/3 conceitos físicos.



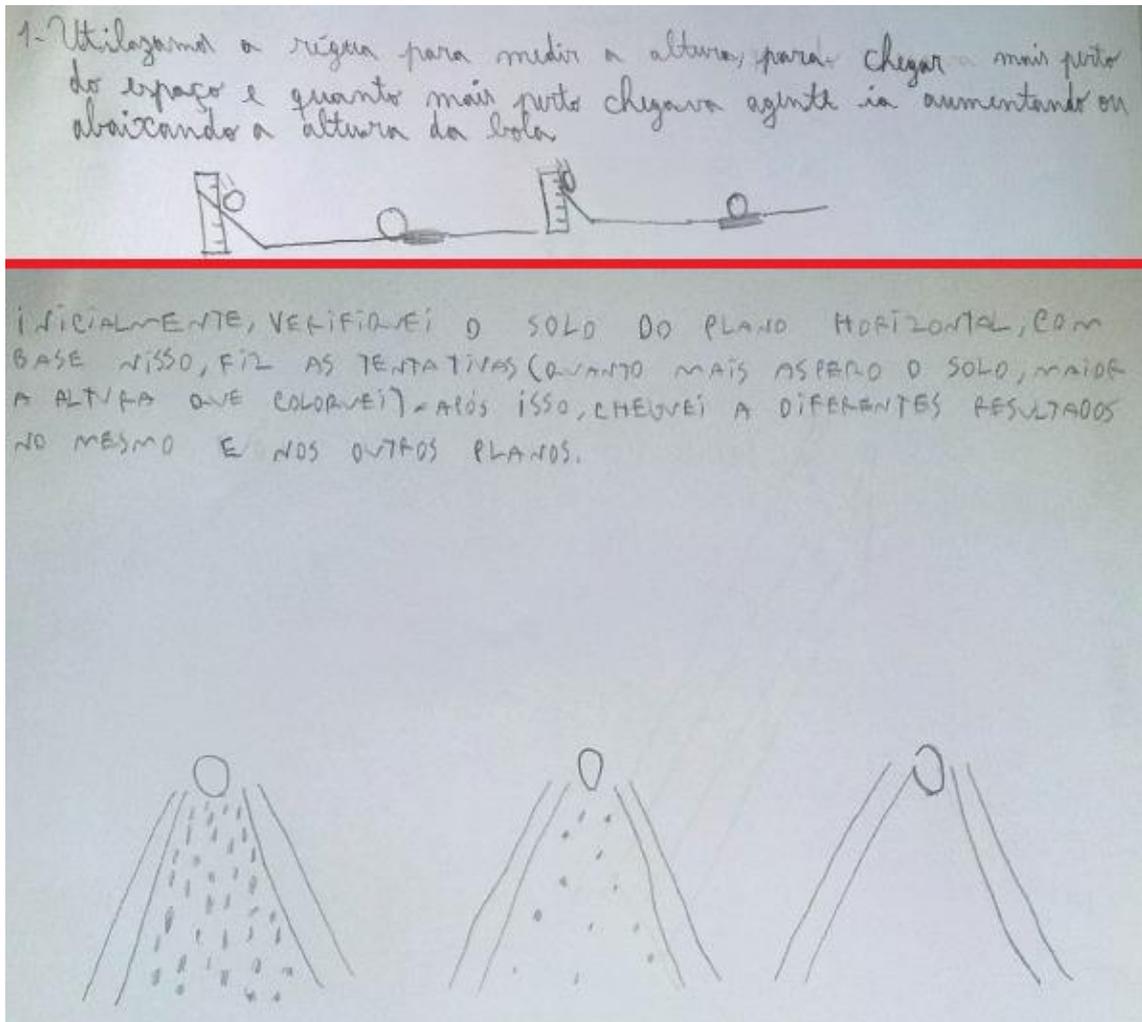
Fonte: Autor, 2021.

Na primeira resposta da Figura 12, temos o único exemplo de menção a massa da bolinha como estratégia para solucionar o problema, porém o aluno não se aprofundou tanto na explicação. Na segunda resposta, temos uma boa explicação para solucionar o problema, com alguns ajustes a resposta tenderia a uma versão ideal de resolução, note que em tudo que o aluno mencionou tem um conceito físico coerente por trás, a altura está relacionada a energia potencial gravitacional, a velocidade a energia cinética e a textura das superfícies a força de resistência sofrida pela bolinha. As outras duas respostas fazem menção exclusiva para a altura de largada da bolinha.

Na parte escrita, foi possível perceber evoluções em relação a utilização do termo científico correto, percebemos também que em casos que o aluno não mencionou o termo científico correto, a estrutura de raciocínio para solucionar o problema foi coerente, e, em alguns poucos casos, foi possível perceber métodos e conceitos incoerentes com a proposta inicial experimental.

Para os desenhos as categorias são: *concordam com a escrita; acrescentam informações e/ou conceitos físicos que não aparecem na parte escrita; não apresentam os conceitos e relações com as informações escritas.* Na Figura 13, é mostrado dois exemplos de desenhos que concordem a escrita.

Figura 13 - Exemplo de respostas parte desenhar, categoria: concordam com a escrita



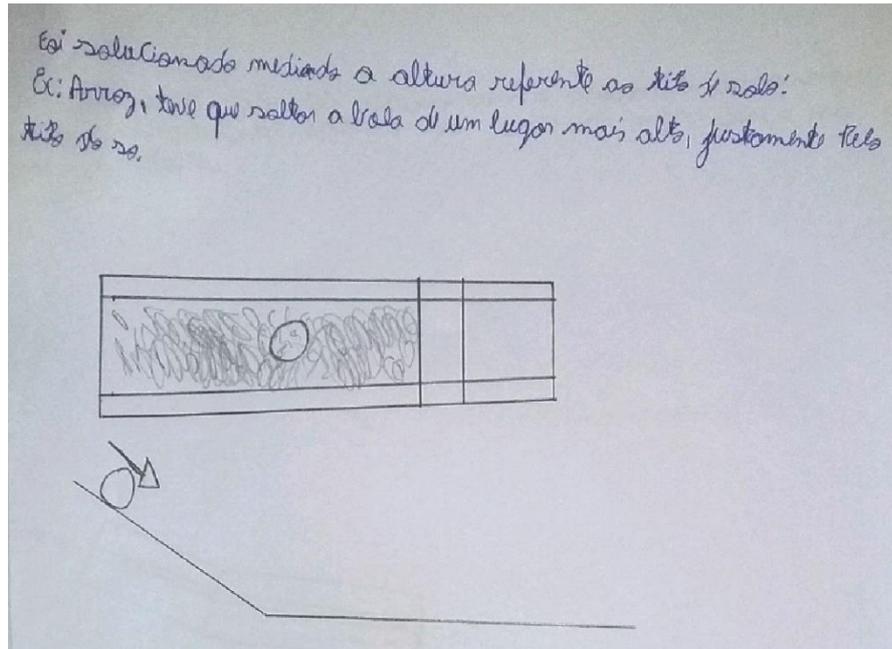
Fonte: Autor (2021).

No primeiro desenho da Figura 13, o aluno respondeu a parte escrita em termo da altura, e no desenho há essa correspondência, no primeiro momento ele quis demonstrar que em certa altura a bolinha parava antes da demarcação e no segundo momento do desenho é perceptível o aumento da altura, através da régua, e com esse aumento da altura de largada, a bolinha atinge a região demarcada.

No segundo desenho da Figura 13, o aluno na parte escrita mencionou a altura e o tipo de solo, e no seu desenho, percebemos que foi representado diferentes tipos de solos, que se enquadra no mencionado pelo aluno "...verificação do solo do plano horizontal...", então é notório a concordância entre a parte escrita e o desenho.

Outra categoria da parte do desenhar está relacionada com o acréscimo de informações através da análise dos desenhos, separamos 3 exemplos que correspondem a essa categoria, o primeiro, está na Figura 14.

Figura 14 - Exemplo de respostas parte desenhar, categoria: acrescentam informações e/ou conceitos físicos que não aparecem na parte escrita

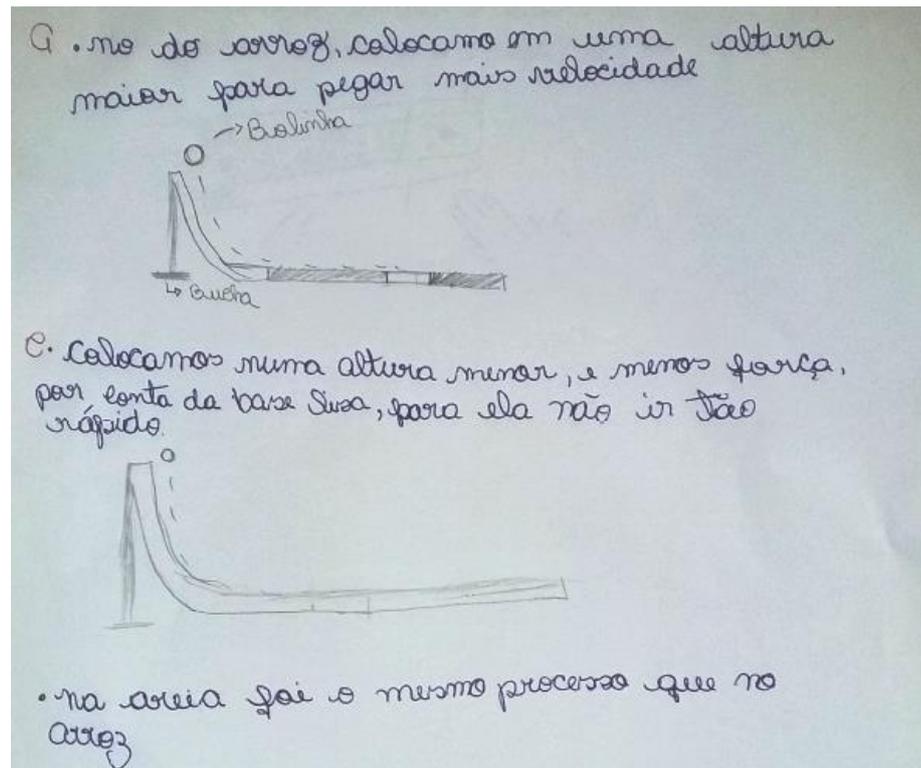


Fonte: Autor (2021).

Na figura 14, temos a representação de dois desenhos, o primeiro demonstra certa rugosidade da parte horizontal, o segundo, temos uma bolinha com uma seta apontando na direção do movimento, caso o aluno tenha feito a seta com a intenção de representar a velocidade da bolinha, temos um acréscimo de conceito físico se compararmos com a parte escrita, pois nessa parte é mencionado a altura de largada e o tipo de solo.

Permanecendo a análise na mesma categoria de acréscimo de informações e/ou conceitos físicos que não aparecem na parte escrita, a Figura 15 nos mostra a resposta de outro aluno que se enquadra nessa categoria.

Figura 15 - Exemplo de respostas parte desenhar, categoria: acrescentam informações e/ou conceitos físicos que não aparecem na parte escrita

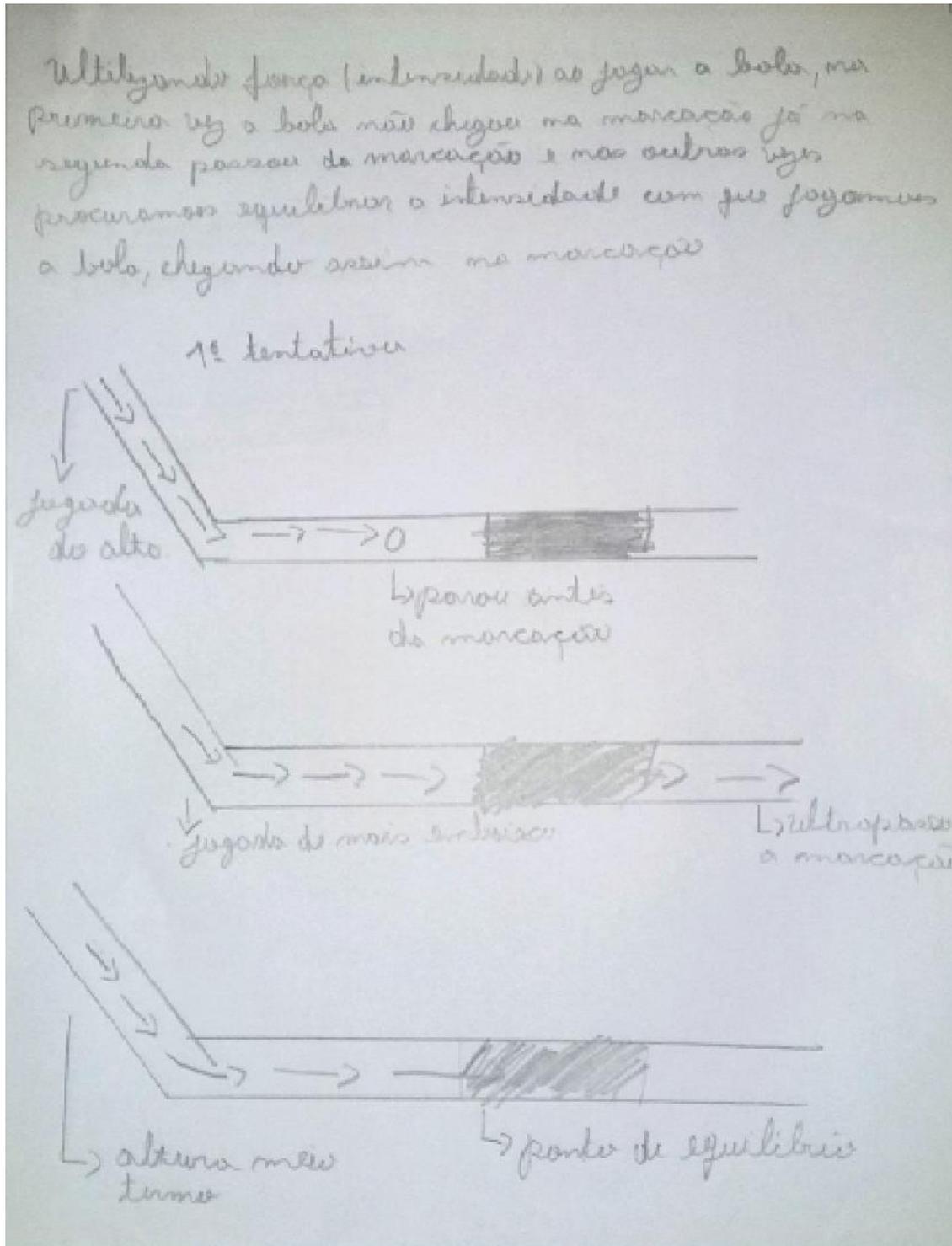


Fonte: Autor (2021).

Perceba que em sua primeira análise o aluno envolve altura e velocidade, e como tentativa para representação da velocidade foram feitos uns tracejados, no segundo momento o aluno menciona a altura e acaba não mencionando a velocidade, ao invés disso, menciona a força, mas analisando o desenho feito na sequência, note que os tracejados, que acreditamos que representem a velocidade da bolinha somem, o que nos faz conjecturar que ele quis dizer que colocando de uma altura menor, teríamos uma maior diminuição da velocidade da bolinha, e dessa maneira, o desenho acrescenta conceito que não está presente na parte escrita.

Um último exemplo da nossa análise para a categoria de acréscimo de informações e/ou conceitos físicos, é visualizado na Figura 16, nesta, percebemos uma associação que os alunos fizeram com frequência ao longo desse segundo questionário, de relacionar força com velocidade da bolinha.

Figura 16 - Exemplo de respostas parte desenhar, categoria: acrescentam informações e/ou conceitos físicos que não aparecem na parte escrita

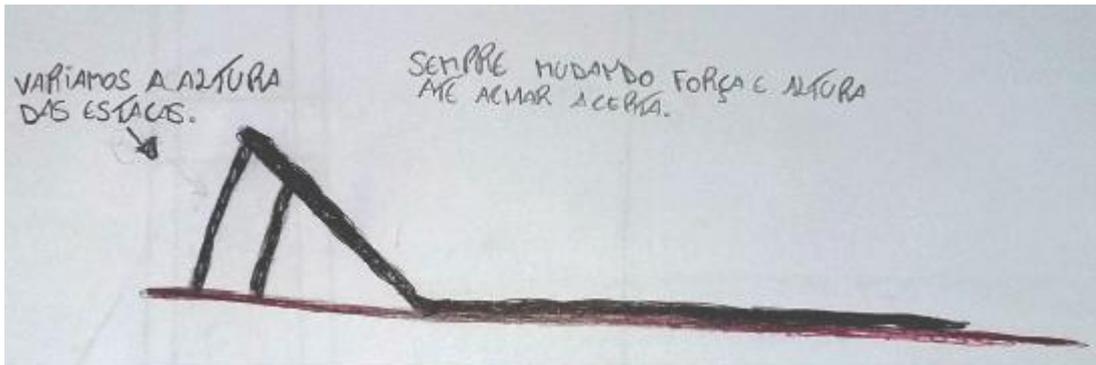


Fonte: Autor (2021).

Na Figura 16, embora na parte escrita o aluno utilize o conceito de força, erroneamente para o problema proposto, no desenho não há a representação de nenhuma força aplicada, o que nos reforça a percepção que alguns alunos estão associando força com a velocidade da bolinha.

Como última categoria da parte do desenhar, temos a não apresentação de conceitos e relações com as informações escritas, a Figura 17 expõem com clareza um aluno inserido nesta categoria.

Figura 17 - Exemplo de respostas parte desenhar, categoria: não apresentam os conceitos e relações com as informações escritas



Fonte: Autor (2021).

O desenho da Figura 17, não nos ajudou a melhorar o entendimento do que o aluno quis transmitir, ele apenas reproduziu o desenho do aparato experimental, sendo assim, não apresentou conceitos ou alguma relação com a parte escrita.

Os desenhos, de forma geral foram de grande valia para nossa análise, caso eles não fossem solicitados, algumas respostas escritas se enquadrariam, de forma equivocada, na categoria de não mencionar aspectos ou conceitos físicos incorretos com a solução do problema. Além disso, pudemos diversificar como analisar o pensamento dos alunos. E como indica Carvalho (2013), no desenhar e escrever, é onde ocorre a construção da aprendizagem individual do aluno.

4.3 ANÁLISE DO TERCEIRO QUESTIONÁRIO: AVALIAÇÃO

Nosso último questionário da SEI, foi aplicado durante o processo de avaliação dos alunos, nesse momento da aula, os alunos já haviam passado por todas as outras etapas envolvidas em uma SEI: Problema; Sistematização do conhecimento; Contextualização. A nossa aula foi concluída após os alunos resolverem esse último questionário, que consistiu de 4 questões abertas, que deveriam ser respondidas individualmente.

Um fator pertinente que necessitamos chamar atenção, deu-se que, no momento da aplicação deste último questionário, o professor da aula seguinte solicitou a turma, visto que seria sua aula, e através de uma conversa amigável, foi solicitado ao mesmo um tempo adicional. Mesmo com a concessão de um tempo extra, os alunos precisaram ser breves com a resolução do questionário.

Para a primeira questão deste último questionário, elaboramos 3 categorias, sendo elas: mencionou uma possibilidade; mencionou algumas possibilidades; não mencionou corretamente nenhuma possibilidade. Com o intuito de auxiliar na nossa análise, utilizaremos a legenda A1, A2 para alunos 1 e 2, e assim sucessivamente. Na Figura 18, a seguir, temos a respostas de 7 alunos que se enquadraram na categoria de mencionar uma possibilidade para solucionar o problema.

Figura 18 - Respostas da 1ª questão do questionário avaliativo, categoria: mencionou uma possibilidade

<p>1 – No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar. <i>Ajustar a altura que a bolinha irá dar no salto</i></p>	A1
<p>1 – No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar. <i>abaixar mais a rampa ou levantar para ter uma manuseabilidade</i></p>	A2
<p>1 – No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar. <i>Podríamos fazer com que a superfície no local fosse mais asfeta.</i></p>	A3
<p>1 – No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar. <i>Se quiséssemos que a bolinha parasse no começo deveríamos colocar elastóicos.</i></p>	A4
<p>1 – No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar. <i>Para deixar a bolinha na parte mais baixa da superfície.</i></p>	A5
<p>1 – No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar. <i>Abandonar de uma altura mínima dependendo da superfície.</i></p>	A6
<p>1 – No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar. <i>Diminuir a altura.</i></p>	A7

Fonte: Autor (2021).

Uma informação importante sobre o enunciado da primeira questão, Figura 18, os alunos podem desenvolver suas respostas em termos de conceitos ou soluções que, inicialmente, não eram permitidos para o problema experimental, percebe-se que nossa restrição foi direcionada para a posição das demarcações das superfícies horizontais. Não mencionamos que, nessa nova abordagem, eles deveriam abandonar a bolinha, ou seja, eles poderiam desenvolver sua resposta em termos de impulso, de força aplicada, etc. Outro ponto é que não delimitamos a alteração da inclinação da rampa, dessa forma, eles também poderiam responder em termos desse

parâmetro, e essas respostas, em função da força aplicada e inclinação da rampa, para este questionário, estão coerentes.

Em relação as resoluções, para essa primeira categoria de análise, percebemos a predominância do envolvimento do parâmetro altura, 4 alunos responderam em função dessa grandeza (alunos A1, A5, A6, A7). Outra grandeza mencionada foi a mudança de atrito da superfície horizontal, com 2 alunos fazendo menção (alunos A3 e A4), o aluno A4 não mencionou diretamente atrito ou rugosidade da superfície, mas o mencionado por ele “...obstáculos...”, nos levou a essa associação com o atrito da superfície horizontal. Uma última grandeza mencionada, nessa categoria, foi a inclinação da rampa (aluno A2), não sabemos se há esse reconhecimento do aluno, mas, de fato, a inclinação da rampa contribui para uma maior ou menor aceleração da bolinha e, conseqüentemente, um maior ou menor ganho de velocidade.

Para a categoria seguinte de análise, menção a algumas possibilidades, temos, na Figura 19, o registro das respostas de 8 alunos, suas respostas ficaram divididas entre as seguintes grandezas e conceitos: altura, inclinação, atrito e força aplicada. E como já mencionamos, não há restrição imposta pelo questionário para o envolvimento de força aplicada ou alteração da inclinação da rampa.

Figura 19 - Respostas da 1^o questão do questionário avaliativo, categoria: mencionou algumas possibilidades

<p>1 – No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar. <i>Uma rampa mais plana, solo com mais atrito</i></p>	A8
<p>1 – No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar. <i>Ter largado a bola do começo da rampa. ou a rampa fosse menos inclinada.</i></p>	A9
<p>1 – No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar. <i>mudar a força e a inclinação.</i></p>	A10
<p>1 – No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar. <i>deixar a rampa mais alta e inclinada para a bola parar</i></p>	A11
<p>1 – No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar. <i>Podemos inclinar menos a rampa e dar mais atrito a bolinha.</i></p>	A12
<p>1 – No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar. <i>Jogar da metade da rampa para baixo ou sem no final da rampa de forma leve sem muita força</i></p>	A13
<p>1 – No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar. <i>posicionarmos em um ponto adequado e colocar pouca força.</i></p>	A14
<p>1 – No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar. <i>Colocar uma parede para parar a bola, deixar o chão com mais atrito.</i></p>	A15

Fonte: Autor (2021).

Em função do atrito, a tivemos os alunos A8 e A15 utilizando esse conceito como recurso para solucionar o que a questão propõem. Envolvendo a altura, os alunos A9, A11 e A13, utilizaram essa grandeza como mecanismo de solução. Em relação a inclinação do plano inclinado, os alunos A9, A10, A11 e A12, propuseram a

mudança deste parâmetro para satisfazer o problema apresentado, e, por fim, em relação a força aplicada, tivemos os alunos A10, A12, A13 e A14, que se valeram desse conceito.

Nessas 15 respostas que analisamos percebemos que há uma predominância nas respostas que envolvam inclinação e altura da rampa, que para solucionar o que propomos. Isso não está errado, mas ficaríamos ainda mais satisfeitos se atrelado a essas grandezas os alunos fixassem os conceitos físicos que estão por trás: aceleração da bolinha e a energia potencial gravitacional. Os alunos utilizaram com uma boa frequência também “a força utilizada”, que é um conceito físico, e conjecturamos que esse termo apareceu com uma maior frequência, se comparado com as energias envolvidas, por ser uma temática que eles já estudaram recentemente. Nessa primeira questão, tínhamos última categoria de análise: não mencionou corretamente nenhuma possibilidade, mas, felizmente, nenhum aluno se enquadrou nessa categoria.

Para a segunda questão, os alunos deveriam responder se consideram a massa da bolinha importante para análise experimental, e na sequência, deveriam justificar. Dos 15 alunos que responderam ao questionário, 14 alunos consideram a massa da bolinha como um elemento importante para a análise experimental, e, apenas 1 aluno, respondeu que não considerava a massa como elemento importante. Do ponto de vista prático, em testes precedentes que fizemos antes da aplicação experimental, vimos que objetos leves ou pesados nos davam resultados diferentes, mas, na ótica das equações para os modelos que apresentamos aos alunos, a velocidade final sobre o plano inclinado independe da massa da bolinha ou do objeto envolvido. Dessa maneira, acreditamos que os alunos que responderam sim, se basearam na prática, e o aluno que respondeu não, tomou como referência os conceitos teóricos que provavelmente conhecia.

As justificativas foram diversas, distribuindo-se entre as categorias: Associou a massa da bolinha a força de atrito do solo e/ou força gravitacional; Massa diretamente proporcional a velocidade; Massa inversamente proporcional a velocidade; Não atribuição de significado físico a justificativa. Na metodologia, havíamos criado a categoria: Não entendeu o questionamento, mas desenvolvendo a análise não houveram alunos que a sua resposta fosse associada a essa categoria. A Figura 20 mostra as justificativas da primeira categoria que mencionamos neste parágrafo.

Figura 20 - 2º questão, categoria: Associou a massa da bolinha a força de atrito do solo e/ou força gravitacional.

2 – Vimos, através das equações que sobre o plano inclinado, a massa do corpo não é relevante para análise experimental, mas, na prática, a massa do objeto é importante? Você acha que se a bolinha fosse outro objeto, mais pesado ou mais leve, os resultados seriam diferentes? Justifique.

A8
Sim, pois a massa influenciaria no atrito do solo e a força gravitacional

2 – Vimos, através das equações que sobre o plano inclinado, a massa do corpo não é relevante para análise experimental, mas, na prática, a massa do objeto é importante? Você acha que se a bolinha fosse outro objeto, mais pesado ou mais leve, os resultados seriam diferentes? Justifique.

A9
Sim, por conta da força peso.

2 – Vimos, através das equações que sobre o plano inclinado, a massa do corpo não é relevante para análise experimental, mas, na prática, a massa do objeto é importante? Você acha que se a bolinha fosse outro objeto, mais pesado ou mais leve, os resultados seriam diferentes? Justifique.

A10
Sim, porque o atrito da rampa seria maior ou menor.

2 – Vimos, através das equações que sobre o plano inclinado, a massa do corpo não é relevante para análise experimental, mas, na prática, a massa do objeto é importante? Você acha que se a bolinha fosse outro objeto, mais pesado ou mais leve, os resultados seriam diferentes? Justifique.

A5
Sim, pois o seu atrito com os solos teria uma força mas mais ou menos dando um resultado diferente.

3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação...

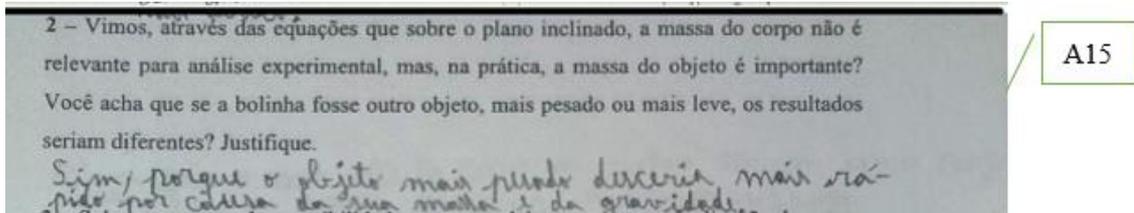
Fonte: Autor (2021).

Na Figura 20, os alunos A8, A9, A10 e A5 desenvolveram suas respostas em função da força peso/gravitacional e da força de atrito. Para o caso dos que mencionaram força peso/gravitacional, pensamos que há coerência no pensamento, visto que a bolinha/objeto desce o plano inclinado devido a ação do campo gravitacional, e dependendo da massa da bolinha o enfrentamento a força de resistência do ar será maior ou menor, e, conseqüentemente, teremos uma maior ou menor aceleração.

Aos que mencionaram a força de atrito, durante o deslocamento da bolinha sobre o plano inclinado, sabemos que o atrito atuante é estático, e esse atrito não interfere no sentido de dificultar o movimento, contudo, se ao invés de uma bolinha tivéssemos um objeto não redondo, a resposta estaria coerente, pois o atrito existente seria cinético e haveria uma “disputa” entre a força peso e o atrito cinético no deslocamento da bolinha sobre o plano inclinado.

A Figura 21 nos mostra que o aluno A15, desenvolveu sua resposta direcionada para o sentido da massa da bolinha ser diretamente proporcional a velocidade sobre o plano inclinado.

Figura 21 - 2º questão, categoria: Massa diretamente proporcional a velocidade



Fonte: Autor (2021).

Pensando em uma situação semelhante, soltar dois objetos em queda livre, um mais leve e outro mais pesado, qual chegaria primeiro ao solo? Desprezando a resistência do ar, os dois chegariam em instantes iguais no solo. Mas, devido a influência da resistência do ar, o mais pesado vence a disputa. Posto isto, alunos que foram por essa possibilidade, pensaram de forma coerente com a situação prática do nosso cotidiano, apesar de não utilizarem os termos específicos, como velocidade, a menção a “...desceria mais rápido...” nos possibilitou fazer essa associação.

Perguntando rapidamente o questionamento do parágrafo anterior, é possível que alguns respondam o mais leve chegaria primeiro ao solo, sabemos que não é o que ocorre na prática, mas é uma possibilidade de resposta, à vista disso, foi o que ocorreu com 5 alunos: A12, A13, A6, A7 e A11. Para esses alunos, A Figura 22 transparece suas justificativas para essa possibilidade da massa ser inversamente proporcional a velocidade.

Figura 22 - 2º questão, categoria: Massa inversamente proporcional a velocidade

<p>2 – Vimos, através das equações que sobre o plano inclinado, a massa do corpo não é relevante para análise experimental, mas, na prática, a massa do objeto é importante? Você acha que se a bolinha fosse outro objeto, mais pesado ou mais leve, os resultados seriam diferentes? Justifique. <i>Sim, porque ela pode ir mais longe ou não ir logo no começo</i></p>	A12
<p>2 – Vimos, através das equações que sobre o plano inclinado, a massa do corpo não é relevante para análise experimental, mas, na prática, a massa do objeto é importante? Você acha que se a bolinha fosse outro objeto, mais pesado ou mais leve, os resultados seriam diferentes? Justifique. <i>Sim, se fosse mais pesada seria mais difícil de achar um equilíbrio para atingir a marcação que nesse caso é mais no final.</i></p>	A13
<p>2 – Vimos, através das equações que sobre o plano inclinado, a massa do corpo não é relevante para análise experimental, mas, na prática, a massa do objeto é importante? Você acha que se a bolinha fosse outro objeto, mais pesado ou mais leve, os resultados seriam diferentes? Justifique. <i>Sim e Sim, se a massa for menor é mais rápido.</i></p>	A6
<p>2 – Vimos, através das equações que sobre o plano inclinado, a massa do corpo não é relevante para análise experimental, mas, na prática, a massa do objeto é importante? Você acha que se a bolinha fosse outro objeto, mais pesado ou mais leve, os resultados seriam diferentes? Justifique. <i>Sim, pois, quanto mais pesada, menos ela irá correr.</i></p>	A7
<p>2 – Vimos, através das equações que sobre o plano inclinado, a massa do corpo não é relevante para análise experimental, mas, na prática, a massa do objeto é importante? Você acha que se a bolinha fosse outro objeto, mais pesado ou mais leve, os resultados seriam diferentes? Justifique. <i>Sim, caso fosse mais pesado iria parar com mais facilidade, e se fosse mais leve seria mais difícil de parar.</i></p>	A11

Fonte: Autor (2021).

Atente, na Figura 22, que eles não mencionam velocidade, no entanto existem algumas expressões que nos permitem fazer essa presunção, as expressões são: A12 “... se fosse mais leve poderia ir muito longe...” (menor a massa, maior velocidade adquirida); A13 “...se fosse mais pesada seria mais difícil achar um equilíbrio para atingir a marcação...” (uma bolinha pesada pararia rápido, o achar equilíbrio foi entendido como a altura de largada, ou seja, qualquer altura que colocássemos, inclusive no topo, uma bolinha pesada não alcançaria a demarcação do plano horizontal); A6 “...se a massa for menor é mais rápido...” (quanto menor a massa, maior a velocidade); A7 “...quanto mais pesada, menos ela irá correr...” (quanto maior a massa, menor a velocidade); A11 “...e se fosse mais leve seria mais difícil de parar...” (quanto menor a massa, maior a velocidade). Esses foram trechos que nos permitiram associar a essa categoria.

Na Figura 23 temos as respostas da categoria: Não atribuiu significado físico a explicação.

Figura 23 - 2ª questão, categoria: Não atribuiu significado físico a explicação

The figure shows four examples of student answers to a physics question. Each example consists of a printed question and a handwritten response. The responses are categorized into four groups: A1, A2, A14, and A4.

Example A1: The question asks if mass is relevant for experimental analysis but important in practice. The student answers "Sim, pois dependendo da massa do objeto, ele desce que se for mais pesado ou mais leve" (Yes, because depending on the mass of the object, it descends whether it is heavier or lighter).

Example A2: The student answers "Sim, sim. porque se a massa for diferente poderia ser mais fácil ou difícil conseguir" (Yes, yes. because if the mass is different it could be easier or harder to get).

Example A14: The student answers "Sim, dependendo da 'massa' do objeto de qual a velocidade mais a chegar no ponto 'desejado'" (Yes, depending on the 'mass' of the object, which velocity will reach the 'desired' point).

Example A4: The student answers "Sim, sim, pois dependendo do valor da massa a força aplicada seria diferente" (Yes, yes, because depending on the value of the mass, the applied force would be different).

Fonte: Autor (2021).

Alguns alunos até mencionam conceitos físicos, ainda assim, não foi possível associar a alguma das categorias precedentes, os termos ou argumentos não formam um sentido lógico de raciocínio. Havíamos criado também a categoria não entendeu o questionamento, mas não associamos nenhum aluno a essa categoria, mesmo o que respondeu não, pressupomos que tomou como embasamento as teorias e simplificações, que independem da massa do objeto.

Na terceira questão apresentamos, na metodologia, 5 categorias possíveis para as respostas dos alunos, dessas 5, apenas em 1 categoria não obtivemos enquadramento das respostas: Não entendeu o questionamento. As categorias excedentes foram preenchidas com pelo menos 1 resposta, as categorias foram: Aumento da velocidade na descida dependendo da inclinação da rampa; Inclinação associada ao atrito; Não utilizou conceitos físicos; Variação da força para subir ou descer. Relembrando que a terceira questão fez referência a questão da

acessibilidade para os cadeirantes, perguntamos aos alunos como a inclinação da rampa poderia afetar na subida ou descida.

As respostas de alguns alunos para essa terceira questão poderia ser interpretada como pertencente a mais de uma categoria, todavia, criamos categorias com a intencionalidade de ser excludente, por conseguinte, respostas que poderiam ser inclusas em mais de uma categoria foram definidas para apenas uma em função da predominância de algum conceito ou lógica. Na Figura 24, a seguir, alguns alunos mencionaram a questão da força para subir ou descer a rampa, mas, mencionaram também o aumento da velocidade na descida dependendo da inclinação da rampa.

Figura 24 - 3º questão, categoria: Aumento da velocidade na descida dependendo da inclinação da rampa

3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema.

A9: SE FOR UMA RAMPA MUITO INCLINADA, FICA DIFÍCIL DE SUBIR E PERIGOSO PARA DESCER, POR CONTA DA VELOCIDADE E PESO.

3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema.

A12: SE ELE FOR MUITO VELOZ, FICARÁ DIFÍCIL DE SUBIR, PORÉM A DESCIDA SERÁ MAIS RÁPIDA. E NA DESCIDA ELE IRÁ DESCER MUITO RÁPIDO.

3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema.

A15: ELE TERIA QUE USAR MAIS FORÇA NA SUBIDA E NA DESCIDA ELE DESCERIA MAIS RÁPIDO SE FOSSE MUITO INCLINADO.

3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema.

A7: NA SUBIDA ELE PODE VOLTAR OU ATÉ MESMO NÃO CONSEGUIR SUBIR, E NA DESCIDA PODE SER QUE ELE NÃO CONSEGUIR PARAR.

Fonte: Autor (2021).

Os alunos A9, A12, A15 e A7 em algum trecho da sua resposta expressam o fato da velocidade aumentar dependendo da inclinação da rampa. Note: A9 “... perigoso para descer, por conta da velocidade...”; A12 “...e na descida ele irá descer muito rápido...”; A15 “...na descida ele desceria mais rápido...”; A7 “... e na descida pode ser que ele não consiga parar.”. Fisicamente essa situação mencionada ocorre, quanto mais inclinado a rampa, maior a velocidade adquirida pelo objeto ou cadeirante que esteja sobre a rampa. Apesar de não mencionarem todos os termos científicos envolvidos, são interpretações consideradas corretas para solucionar a questão.

Sobre a Inclinação associada ao atrito, obtivemos apenas um aluno com sua resposta envolvida nesta categoria, sua resposta está presente na Figura 25, a seguir.

Figura 25 - 3º questão, categoria: Inclinação associada ao atrito.

3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema.

Sim, Pessoas idosas podem estorço na descida.

A3

Fonte: Autor (2021).

O aluno A3, não aponta a subida da rampa como um problema, mas, para ele, na descida os cadeirantes poderiam escorregar dependendo da inclinação da rampa. Em outros termos, ele associou a inclinação da rampa ao atrito, percebe-se que ele não menciona diretamente o termo atrito, mas a característica de escorregar pode ser relacionada ao atrito da rampa.

Uma categoria que foi presente na maioria dos questionários que criamos foi a Não utilização de conceitos físicos, na Figura 26, visualizamos exemplos inseridos nessa categoria.

Figura 26 - 3º questão, categoria: Não utilizou conceitos físicos

3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema.

Sim, mm, tem que ter os valores certos de largura, altura, rola que fica melhor

A2

3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema.

Sim, elas precisam ser calculadas corretamente incluindo força, massa etc.

A11

3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema.

pode! Se for alta na subida prejudica acaba atrapalhando, já na descida não prejudica tanto.

A14

3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema.

Sim, se for muito inclinada afeta a subida e descida.

A6

Fonte: Autor (2021).

Durante o processo de elaborar a questão pensávamos em situações que os alunos pudessem mencionar ou relacionar com o máximo de conceitos físicos apresentados na aula ou que fizesse parte do conhecimento do aluno. Mas, alguns, apesar de mencionarem grandezas físicas, não criaram uma conexão lógica ou explicação que demonstrasse a compreensão do conceito, nessa terceira questão, os alunos A2, A11, A14 e A6 estão nessa categoria.

Das categorias elaboradas para essa questão no resta a Variação da força para subir ou descer. Dos 15 alunos participantes, 6 alunos estão incluídos nessa categoria, na Figura 27 estão as resoluções desses alunos.

Figura 27 - 3º questão, categoria: Variação da força para subir ou descer.

3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. <i>De acordo com a inclinação da rampa, o cadeirante precisará usar mais força para subir e descer.</i>	A1
3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. <i>Se a subida for muito inclinada vai precisar de mais força para empurrar o cadeirante, e irá descer de vez.</i>	A8
3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. <i>Se for muito inclinada, tanto para subir quanto para descer vai ter uma ação contrária.</i>	A10
3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. <i>Le intuito da rampa de acessibilidade é ajudar o deficiente a se locomover sozinho, se a rampa não é tão inclinada, dificulta o acesso do cadeirante, por exemplo, para a maioria do deficiente pode não colaborar com seu acesso.</i>	A13
3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. <i>de acordo com o tamanho da inclinação colocamos a quantidade de força. Pode variar isso se aplica na descida também.</i>	A4
3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. <i>Se alta demais, a massa mesmo sendo leve não teria acessibilidade para subir sozinho.</i>	A5

Fonte: Autor (2021).

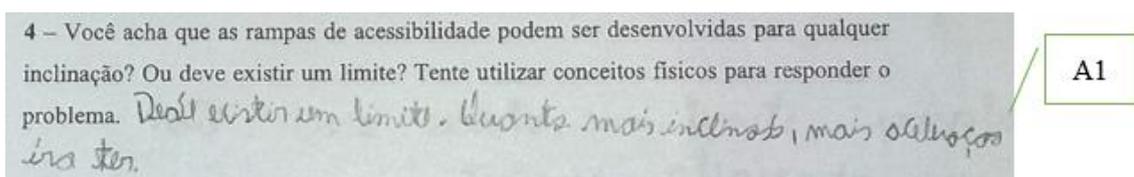
Para esse agrupamento de resoluções, temos as respostas dos alunos A1, A8, A10, A13, A4 e A5. Alguns alunos mencionam a força explicitamente, o que

consideramos uma característica positiva. Por outro lado, alguns não utilizam o termo força diretamente, mas deixam indícios de querer envolver esse conceito. Veja: A10 “...tanto pra subir quanto pra descer vai ter uma ação contrária.” (O cadeirante terá que competir com essa ação contrária, pode ser o indício da aplicação de força); A13 “...dificulta o acesso do cadeirante...” (Essa dificuldade pode está relacionada com a força que ele deve exercer para subir a rampa); A5 “... não teria acessibilidade para subir sozinho.” (O cadeirante não teria força suficiente para subir a rampa). Outro ponto importante é que a maioria das respostas independente de mencionar ou não o conceito físico, estão expressas em termos de esforço para subir ou descer, e essa interpretação pode ser associada ao trabalho realizado pelo cadeirante, em uma possível aplicação futura esse conceito poderia ser explorado com mais detalhes pelo professor.

Por fim, para a quarta e última questão, criamos 4 categorias de análise: Associou aceleração adquirida a inclinação da rampa; Reproduziu a informação apresentada no vídeo; Limite de inclinação como função da força aplicada, atrito, gravidade ou velocidade; Não atribuiu significado físico. Essas duas últimas categorias mencionadas foram as que apresentaram mais frequência de respostas.

Na Figura 28, o aluno A1, desenvolveu sua resposta associando a aceleração adquirida com a inclinação da rampa.

Figura 28 - 4º questão, categoria: Associou aceleração adquirida a inclinação da rampa



Fonte: Autor (2021).

Apesar de não ter detalhado a associação feita na resposta da Figura 28, o aluno, associou corretamente o aumento da inclinação com o aumento da aceleração adquirida pelo cadeirante.

Na Figura 29 temos uma resposta pertencente a categoria Reprodução da informação apresentada no vídeo.

Figura 29 - 4º questão, categoria: Reprodução da informação apresentada no vídeo.

4 – Você acha que as rampas de acessibilidade podem ser desenvolvidas para qualquer inclinação? Ou deve existir um limite? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. *Não, na lição diz que o ângulo é 8,55%.*

A13

Fonte: Autor (2021).

A Contextualização do conhecimento é a terceira etapa da SEI, nesse momento, apresentamos um vídeo disponível no Youtube no canal TV Plan (2017), para os alunos que mostrava a importância da acessibilidade, e o quanto a não adequação afetava os cadeirantes. O vídeo apresentava informações técnicas sobre limites para inclinação da rampa. O aluno A13, com sua resposta representada na Figura 29, provavelmente lembrou do vídeo que foi apresentado e reproduziu a informação.

Uma categoria que manteve sua aparição frequente foi a de Não atribuição de significado físico a resolução, para a quarta questão, 7 alunos ficaram nessa categoria, na Figura 30, mostramos 4 exemplos para essa categoria.

Figura 30 - 4ª questão, categoria: Não atribuiu significado físico.

4 – Você acha que as rampas de acessibilidade podem ser desenvolvidas para qualquer inclinação? Ou deve existir um limite? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. *Deve existir um limite.*

A10

4 – Você acha que as rampas de acessibilidade podem ser desenvolvidas para qualquer inclinação? Ou deve existir um limite? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. *Não, deve existir um limite, caso contrário as rampas não funcionariam por diversos fatores (força gravitacional, massa, etc).*

A11

4 – Você acha que as rampas de acessibilidade podem ser desenvolvidas para qualquer inclinação? Ou deve existir um limite? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. *Deve existir um limite, não seriam todos que utilizaria ali, pessoas com deficiência para andar com problemas nos pernas é uma delas.*

A3

4 – Você acha que as rampas de acessibilidade podem ser desenvolvidas para qualquer inclinação? Ou deve existir um limite? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. *Deve existir um certo limite, se não supõe se a rampa for muito alta para a subida do cadeirante pode "prejudicar".*

A14

Fonte: Autor (2021).

Na Figura 30, representamos as respostas dos alunos A10, A11, A3 e A14. Contudo, os alunos A2, A4 e A5 estão nessa categoria. Novamente, alguns até mencionam conceitos físicos, porém, não há uma linha de raciocínio que torne a resolução correta, dessa forma, os que mencionaram conceitos físicos por mencionar, foram postos na categoria: Não atribuiu significado físico a resolução.

A última categoria frequente nas resoluções dessa quarta questão foi a que os alunos associaram o limite de inclinação como função da força aplicada, do atrito, da gravidade ou velocidade, as respostas estão registradas na Figura 31, com um total de 6 respostas.

Figura 31 - 4^o questão, categoria: Limite de inclinação como função da força aplicada, do atrito, gravidade ou velocidade.

4 – Você acha que as rampas de acessibilidade podem ser desenvolvidas para qualquer inclinação? Ou deve existir um limite? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. *Sim, deve existir um limite que se ajuste com a força, o atrito e a gravidade*

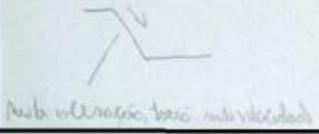
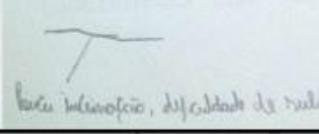
A8

4 – Você acha que as rampas de acessibilidade podem ser desenvolvidas para qualquer inclinação? Ou deve existir um limite? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. *DEVE EXISTIR UM LIMITE, POIS SE FOREM MUITO INCLINADA PODEM CAUSAR ACIDENTES*

A9

4 – Você acha que as rampas de acessibilidade podem ser desenvolvidas para qualquer inclinação? Ou deve existir um limite? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. *deve ter um limite, pois se não parte quem tem dificuldade para a rampa que utilizam deve muito basear-se nisso:*

A12

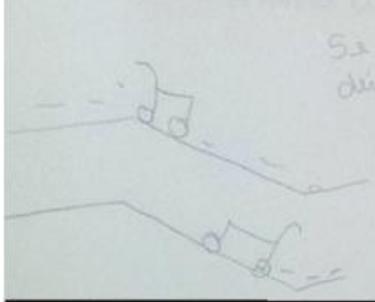
4 – Você acha que as rampas de acessibilidade podem ser desenvolvidas para qualquer inclinação? Ou deve existir um limite? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. *Não, existe um limite de inclinação para que não fique muito difícil para o cadeirante subir ou descer a rampa sem usar muita força*

A15

4 – Você acha que as rampas de acessibilidade podem ser desenvolvidas para qualquer inclinação? Ou deve existir um limite? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. *Deve existir limites*

A6

Se por inclinação demais deixa a subida muito difícil e a descida perigosa



4 – Você acha que as rampas de acessibilidade podem ser desenvolvidas para qualquer inclinação? Ou deve existir um limite? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema. *DEVE EXISTIR LIMITE, POIS É MUITO DIFÍCIL PARA O CADEIRANTE NO MOMENTO DE SUBIR.*

A7

Fonte: Autor (2021).

Os alunos A8, A9, A12, A15, A6 e A7 estão com suas respostas nessa categoria. O A8 vinculou a inclinação com a força aplicada, com o atrito e com a gravidade. O A9 associou com a velocidade e peso. O A12 além da parte escrita, desenvolveu um desenho para conectar inclinação com velocidade e força aplicada. O A15 combinou inclinação com força aplicada. O A6 implicitamente correlacionou a

inclinação com a força aplicada. Por fim, o A7 conectou inclinação com força aplicada, percebemos isso através da expressão “...*pode dificultar*...”.

Com isso percebemos diversas maneiras de expressar suas resoluções em termos da força aplicada, evidenciando ser um conceito melhor compreendido pelos alunos.

4.4 ANÁLISE DOS ELEMENTOS DA SEI

Na fundamentação teórica, conhecemos a ferramenta DEEnCI, criada por Cardoso e Scarpa (2018), mediante os elementos criados pelos autores, temos a intenção de analisarmos nossa SEI para percebemos o quão próximo estamos de um ensino investigativo, e também, perceber elementos que podem contribuir para melhorias futuras, no Quadro 6, a seguir, relembramos os elementos criados, fizemos avaliações em Presente (P), Ausente (A) e Não se aplica (NA), e, por fim, comentamos em quais momentos da nossa proposta determinado elemento está presente, ou justificamos a ausência ou a não aplicação de determinado elemento.

Quadro 6 - Autoavaliação dos elementos da nossa SEI

Elementos	Avaliação (P, A, NA) / Comentários
A1 O professor estimula o interesse dos alunos sobre um tópico de investigação.	P / Nossa SEI tem como ponto de partida um desafio proposto aos alunos.
B1.1 Há a definição de problema e/ou questão de investigação	P / Para o desenvolvimento de uma SEI é importante explicar e sanar possíveis dúvidas sobre a questão que pretendemos analisar/resolver, e assim fizemos.
B1.2 O professor envolve os alunos na definição do problema e/ou questão de investigação	P / O envolvimento ocorre de forma prática, quando os alunos recebem os aparatos experimentais e itens que os ajudarão a solucionar a proposta.
B2.1 Há a definição de hipótese e/ou previsão para a investigação	NA / Durante o processo de solução do problema os alunos

	desenvolveram suas hipóteses, mas, esse desenvolvimento ocorreu de forma espontânea, não foi necessário, para a nossa SEI, definir hipótese. Sobre a previsão investigativa, sabíamos quais conceitos seriam possíveis os alunos aprenderem.
B2.2 O professor envolve os alunos na definição de hipótese e/ou previsão	NA / O comentário feito em B2.1 se aplica a esse elemento.
B2.3 O professor envolve os alunos na justificção da hipótese e/ou previsão definida	NA / O comentário feito em B2.1 se aplica a esse elemento.
B3.1 Há a definição de procedimentos de investigação	P / Durante a apresentação do problema, definimos alguns aspectos que deveriam ser respeitados para solucionar o problema: a bolinha deveria ser abandonada; o ângulo de inclinação não poderia ser alterado, sendo fixado em 30°; o único elemento de medição utilizado seria uma régua.
B3.2 O professor envolve os alunos na definição dos procedimentos da investigação	P / No momento que os alunos começam a fazer os testes experimentais, eles estão sendo envolvidos nas definições do procedimento investigativo.
B3.3 Os procedimentos de investigação definidos são apropriados ao problema e/ou questão.	P / Através dos resultados que obtivemos, percebemos que foram apropriados.
B4.1 Há a coleta de dados durante a investigação	P / Durante a realização experimental, os alunos deveriam preencher uma

	tabela com as alturas obtidas para as largadas que fizeram a bolinha parar na demarcação.
B4.2 O professor envolve os alunos na coleta de dados	P / As coletas de dados foram feitas pelos alunos.
B4.3 O professor ajuda os alunos a manter notas e registros durante a coleta de dados	P / Antes da realização experimental, foi distribuído uma tabela para os alunos preencherem de maneira simultânea a realização experimental (Vide Apêndice A).
B4.4 O professor encoraja os alunos a checar os dados	P / Para verificação dos dados, pedimos que fizessem, pelo menos, 3 medições, repetidas para cada superfície horizontal, e essas medições deveriam corresponder a largadas que pararam na demarcação horizontal.
B4.5 Os dados coletados permitem o teste da hipótese e/ou previsão	P / Existe uma relação entre altura de abandono e resistência oferecida pela superfície horizontal, sendo essa, uma das principais hipóteses levantadas pelos alunos. Com os dados coletados, os alunos puderam corroborar a hipótese.
C1 O professor encoraja os alunos a analisar os dados coletados	P / Nos momentos de debates coletivos, os foram indagados da coerência do resultado, se fazia sentido, se não.
C2 O professor encoraja os alunos a elaborar conclusões	A / O processo conclusivo ocorreu na Sistematização do conhecimento, acontecendo de forma conjunta, por meio da leitura compartilhada, entre o professor e os alunos.

C3 O professor encoraja os alunos a justificar as suas conclusões com base em conhecimentos científicos	P / Foi uma de nossas pretensões, que os alunos conseguissem aprender conceitos científicos com a aplicação da SEI.
C4 O professor encoraja os alunos a verificar se as suas conclusões estão consistentes com os resultados	A / Um importante ponto, que pretendemos considerar em próximas aplicações.
C5 O professor encoraja os alunos a comparar as suas conclusões com a hipótese e/ou previsão	A / Esse processo ocorreu de maneira natural, na SEI, a partir do momento do Desenhar e Escrever, os alunos tomam consciência do problema, passando da ação manipulativa para ação intelectual
C6 O professor encoraja os alunos a considerar as suas conclusões em relação ao problema e/ou questão de investigação	A / Aspecto importante, que, em outra oportunidade pretendemos inserir na proposta.
C7 O professor encoraja os alunos a refletir sobre a investigação como um todo	P / Em quais situações do cotidiano o problema estudado poderia aparecer, esse é um dos fundamentos da Contextualização, terceira etapa da SEI.
D1 O professor encoraja os alunos a trabalhar de forma colaborativa em grupo	P / Em diversos momentos foi necessário o trabalho em grupo: problema experimental, debate coletivo, sistematização do conhecimento.
D2 O professor encoraja os alunos a relatar o seu trabalho	P / Durante o debate coletivo, foi o que ocorreu, os alunos deveriam comentar como foi o processo experimental, dificuldade, técnicas utilizadas.

D3 O professor encoraja os alunos a se posicionar frente aos relatos dos colegas sobre a investigação	P / No decorrer do relato de um aluno, os outros foram questionados se encontraram os mesmos resultados, se utilizaram técnicas diferentes, para promover uma reflexão coletiva.
E1 O professor encoraja os alunos a aplicar o conhecimento adquirido em novas situações	P / Na Avaliação, a terceira e quarta questão são exemplos desse elemento, os alunos foram estimulados a utilizarem o que aprenderam para solucionar um novo problema.
E2 O professor encoraja os alunos a identificar ou elaborar mais problemas e/ou questões a partir da investigação.	P / Na Contextualização, estimulamos por meio de questionamentos, em quais situações os alunos poderiam perceber a presença/importância do plano inclinado no cotidiano, em seguida, mostramos um vídeo relacionado a rampas de acessibilidade.

Fonte: adaptado de Cardoso e Scarpa (2018)

Com o preenchimento do Quadro 6, percebemos que, houveram 19 avaliações para a categoria Presente, 4 para Ausente, e 3 para Não se aplica. Evidenciamos que nosso trabalho possui uma característica predominante de ensino investigativo, com praticamente todos os elementos marcados em Presente, as marcações em Ausente e Não se aplica, é justificado pelo elemento ter ocorrido de maneira natural durante a SEI e não por encorajamento do professor, alguns elementos certamente estarão presentes em aplicações futuras para envolver os alunos ainda mais em uma prática de ensino investigativo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nossa motivação investigativa foi buscar responder como uma Sequência de Ensino Investigativa sobre o plano inclinado poderia contribuir para a apreensão dos conceitos físicos, e, aliado a busca por essa resposta, tivemos alguns objetivos que foram concretizados ao longo da pesquisa e do processo de produção da dissertação: construímos uma Sequência de Ensino Investigativa; trabalhamos o plano inclinado no Ensino Médio a partir de uma abordagem não tradicional; e inserimos os alunos em um processo de Ensino Investigativo.

A coleta de dados dessa pesquisa deu-se por meio de 3 questionários, o primeiro foi aplicado em grupos e serviu como guia para realização do processo experimental, o segundo foi o questionário do desenhar e escrever, individualmente os alunos deveriam responder como o problema experimental foi solucionado, por fim, o terceiro questionário, ocorreu de forma individual no momento avaliativo, onde os alunos resolveram quatro questões abertas relacionadas ao problema experimental, ao modelo matemático apresentado e a situações de acessibilidade para cadeirantes.

Em relação ao primeiro questionário foi possível verificar a defasagem de conhecimento dos alunos em relação aos conceitos envolvidos na investigação. Nessa etapa, o conceito físico mais próximo de aparecer foi o da força de atrito, porém, não mencionaram propriamente a grandeza, com este nome, já que as menções estavam relacionadas a diferenças de solo, texturas ásperas, bases mais lisas. Os alunos percebiam que a motivação para bolinha parar seria a força resultante resistiva, porém, o vocabulário científico ainda não estava amadurecido, e esse ocorrido é previsto por Carvalho (2013) e os teóricos que dão subsídio a sua proposição teórica, pois na ausência de argumentos/expressões científicos, os alunos tentarão utilizar suas próprias palavras, expressões que eles acreditam representar o conceito.

No segundo e no terceiro questionário foi possível perceber uma evolução significativa em relação a utilização dos conceitos, e as respostas que mencionavam a força de atrito ficaram mais frequentes, com alguns alunos que até conseguiram descrever corretamente todo processo ou parte significativa dele, percebendo quais grandezas contribuíam para ocorrência do fenômeno, qualificando a importância da massa do objeto e como sua variação afetaria no processo experimental.

No experimento não houve a permissão para que os alunos alterassem o ângulo de inclinação do plano inclinado e aplicassem um impulso inicial para

movimentar a bolinha, porém, nas respostas dos questionários, em que não existiam essas restrições, foi possível perceber que muitos alunos conseguiram, corretamente, entender a contribuição da inclinação e do impulso inicial aplicado.

De maneira geral, avaliamos como pontos positivos os seguintes aspectos: os alunos se envolveram e participaram, principalmente durante a realização experimental, foi notório o interesse em investigar e tentar solucionar o problema apresentado; durante os debates, e em alguns questionários, percebemos o levantamento de hipóteses desenvolvidos pelos discentes; se compararmos o primeiro e o terceiro questionário é perceptível uma evolução significativa do vocabulário científico, partindo de termos do senso comum à termos científicos; outro ponto importante está relacionado com a aplicação dos conceitos físicos em outras áreas não relacionadas ao problema experimental em si, trabalhamos com plano inclinado, mas os alunos conseguiram aplicar corretamente os conceitos físicos aprendidos em situações de rampas de acessibilidade.

Como pontos negativos, esperávamos que os alunos desenvolvessem suas explicações em termos das energias envolvidas no processo experimental, porém, não houveram respostas que utilizassem diretamente as formas de energia envolvidas, o não aparecimento dessas respostas acreditamos que se deu pelo pouco tempo disponível para poder sistematizar o conhecimento, e atrelado a esse aspecto, as poucas aulas acompanhadas pelos alunos ao longo de 2021 devido a pandemia do COVID-19.

Refletimos alguns pontos necessários para melhoria do nosso produto educacional para aplicações futuras, ou para outros professores que pretendam aplicar, recomendamos que seja separado uma maior quantidade de tempo para aplicação da SEI, e se possível, dar uma ênfase detalhada para sistematização do conhecimento, já que essa etapa é uma das mais importantes para que os alunos amadureçam os conceitos atrelados ao problema. Sugerimos também que o professor, antes de aplicar, certifique-se de que os alunos possuem uma compreensão razoável dos conceitos que serão apresentados ao longo do processo, caso os alunos não tenham essa compreensão é importante que o professor planeje como pode inseri-los antes ou durante a aplicação da SEI.

Essa proposta foi uma maneira de diversificar a forma como o plano inclinado é estudado no Ensino Médio, já que, na maioria das vezes, essa temática é estudada com maior foco nas equações envolvidas. Nesta proposta fizemos com que os alunos

participassem de forma mais ativa da aula, motivamos eles a aplicarem os conceitos aprendidos em outras situações do cotidiano, foi possível explorar aspectos sociais e através dos questionários percebemos a apreensão dos conceitos físicos atrelados a investigação.

REFERÊNCIAS

ACADEMICO, Google. **Plano inclinado - ensino por investigação**. Disponível em: [https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&as_vis=1&q=%22plano+inclinado%22+%22ensino+por+investiga%C3%A7%C3%A3o%22&btnG=)

[BR&as_sdt=0%2C5&as_vis=1&q=%22plano+inclinado%22+%22ensino+por+investiga%C3%A7%C3%A3o%22&btnG=](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&as_vis=1&q=%22plano+inclinado%22+%22ensino+por+investiga%C3%A7%C3%A3o%22&btnG=). Acesso em: 13 maio 2021.

CARDOSO, Milena Jansen Cutrim; SCARPA, Daniela Lopes. Diagnóstico de Elementos do Ensino de Ciências por Investigação (DEEnCI): uma ferramenta de análise de propostas de ensino investigativas. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3, p. 1025-1059, 15 dez. 2018.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; OLIVEIRA, Carla Marques Alvarenga de; SCARPA, Daniela Lopes; SASSERON, Lúcia Helena; SEDANO, Luciana; SILVA, Maíra Batistoni e; CAPECCHI, Maria Candida Varone de Moraes; ABIB, Maria Lucia Vital dos Santos; BRICCIA, Viviane. **Ensino de Ciências por investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 1-20.

FÍSICA, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de. **Dissertações MNPEF**. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/dissertacoes>. Acesso em: 13 maio 2021.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Ufrgs, 2009.

GODOY, Arilda Schmidt. PESQUISA QUALITATIVA: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 20-29, maio 1995.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. Tradução de Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 1 v.

MÉLO FILHO, Josemar Beserra de. **O PROBLEMA DE UMA ESFERA DE ISOPOR SOBRE O PLANO INCLINADO**: análise de livros didáticos do ensino médio e desenvolvimento de modelagens matemáticas. 2019. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Física, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2019.

MORAES, Roque. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica**. 5. ed. São Paulo: Blücher, 2013.

RAMPA ACESSIBILIDADE. Tv Plan. **Youtube**. 16 mar. 2017. 2min41s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Intmo1zbFYE>. Acesso: 01 ago. 2021.

THORNTON, Stephen T; MARION, Jerry B. **Dinâmica clássica de partículas e sistemas**: tradução da 5ª edição norte americana. Tradução de All Tasks. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

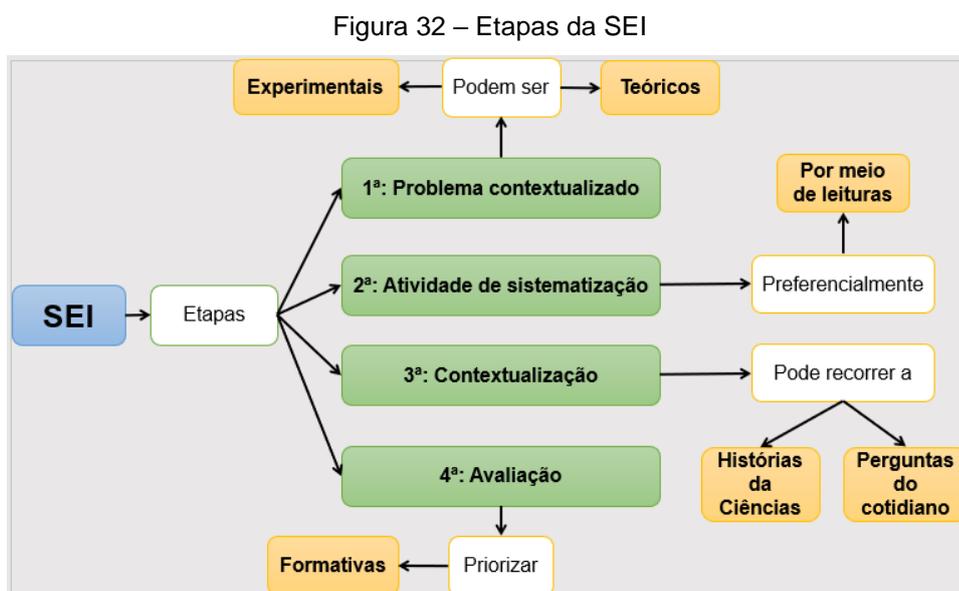
APÊNDICE A - PRODUTO EDUCACIONAL

APRESENTAÇÃO

Os livros didáticos, geralmente, abordam a problemática do plano inclinado de acordo com a seguinte perspectiva: abandonando um bloco ou um corpo redondo sobre uma superfície inclinada em relação a horizontal e, a partir desta representação experimental, são estudadas questões relacionadas à determinação da velocidade final, conservação de energia, força de atrito, dissipação de energia e aceleração do centro de massa do objeto, entre outros.

O plano inclinado em si pode ser considerado um laboratório de Física, já que, com um simples aparato, podemos estudar diversos conteúdos relacionados a Física, como mencionamos anteriormente. Valendo-se desse importante recurso, pretendemos tratar essa temática com uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), visto que, em alguns momentos a abordagem desses conteúdos são estudados com uma preocupação excessiva com a Matemática e, com isso, alguns conceitos importantes podem não receber a ênfase necessária.

Na Figura 32, podemos visualizar as etapas que compõem uma SEI e outros detalhamentos que podem auxiliar o professor na utilização dessa ferramenta para o ensino.



Fonte: Autor (2022).

A SEI, no aspecto conceitual, contribuirá positivamente para a aprendizagem no decorrer das suas etapas: Problema, Sistematização, Contextualização e Avaliação. Na proposta apresentada cada etapa foi alinhada para que o aluno entenda os conceitos envolvidos, ao mesmo tempo em que se envolve no âmbito da pesquisa científica, já que, em certos momentos, o aluno deverá tomar atitudes semelhantes à de um pesquisador (levantamento de hipóteses e testes), o que reforçará a capacidade crítica dos alunos, em relação ao agir e ao pensar sobre o objeto de estudo.

Aparato experimental utilizado na SEI

O aparato experimental que desenvolvemos é composto por 4 rampas com inclinações fixas de 30° e, 4 segmentos horizontais com trilhos de diferentes materiais: lixa, areia fina, arroz e superfície lisa. As madeiras direcionadas na direção horizontal deverão ter demarcações de comprimento e posições iguais, no nosso experimento, essas demarcações ficaram próximo do final da madeira e objetivamos ser o ponto de parada das bolinhas. No Quadro 7, podemos visualizar o custo médio para produção do aparato experimental.

Quadro 7 – Custo médio

Material	Quantidade	Custo
MDF	(40x130) cm	R\$ 120
Arroz	200g	R\$ 1,20
Lixa	4 folhas com 100 de gramatura	R\$ 4
Areia fina	200g	R\$ 0,35
Isopor	3 folhas – (1m x 0,5m x 10mm)	R\$ 12
Tinta spray preta	400 ml	R\$ 15
Bola de gude	4 bolinhas	R\$ 2
Folhas A4	10 folhas	R\$ 0,50
		Valor final: R\$ 155,05

Fonte: Autor (2022).

Na Figura 33 a seguir, podemos visualizar o aparato experimental na sua versão finalizada.

Figura 33 - Aparato experimental para a SEI.



Fonte: Autor (2021).

Perceba que o item de mais caro do aparato experimental são as madeiras MDF, porém, esse material pode ser reciclado facilmente, tornando mais viável o desenvolvimento desse trabalho.

Orientações para utilização da Sequência de Ensino Investigativa

Para a nossa Sequência de Ensino Investigativa trabalhamos em torno do aparato experimental exposto na Figura 33, planejamos o Problema, as atividades de Sistematização e Contextualização e, por fim, aplicamos uma atividade avaliativa para diversificar e qualificar o estudo do plano inclinado no Ensino Médio.

1. Problema (≈ 55 minutos)

No primeiro momento o professor deverá dividir a turma em 4 a 5 alunos por grupo, para nossa proposta, poderíamos dividir em até 4 grupos, visto que essa era a quantidade que tínhamos de plano inclinado e superfície horizontal. Dessa maneira, cada grupo ficou com um plano inclinado fixo, e ao longo da realização experimental as superfícies horizontais foram comutadas.

Primeiro gerenciamento (≈ 15 minutos): (Apresentação do problema e divisão dos grupos). Com a divisão feita, o professor deve apresentar para os alunos o aparato experimental, e expor o seguinte questionamento: **Como podemos abandonar a bola de gude a partir do plano inclinado, de modo que ela pare na região demarcada no plano horizontal?** Ratificando, o problema consiste em fazer com que a bola de gude pare na demarcação da superfície horizontal para uma determinada altura de abandono, durante o

processo experimental os alunos devem preencher uma tabela disponibilizada, com as alturas obtidas para cada uma das superfícies horizontais.

Segundo gerenciamento (≈ 15 minutos): (Acompanhar o desenvolvimento dos grupos). Nesse momento, os alunos devem trabalhar com seus grupos e o professor acompanhar se eles entenderam o problema e se estão manipulando o aparato de maneira correta. É importante que o professor não interfira no levantamento de hipótese e testes dos alunos, mesmo que a solução inicialmente esteja distante do esperado. O erro pode ter um papel importante para que o aluno desenvolva e aprimore seu entendimento sobre o experimento em questão.

Nesse gerenciamento, o professor faz a distribuição do questionário entre os grupos. As perguntas que sugerimos para o questionário são:

1 – Quais alturas encontradas para cada uma dessas superfícies horizontais?

2 - Quais estratégias que vocês utilizaram para solucionar o problema?

3 - Vocês encontraram alturas iguais de abandono para superfícies horizontais diferentes?

4 - Caso sim para última pergunta, o que você acha que ocasionou a obtenção do mesmo resultado? Caso não, por que obtemos alturas diferentes?

5 – Houve alguma superfície horizontal que a bolinha não parou, independente da altura de abandono? Justifique.

6 - Quais grandezas e conceitos físicos você consegue perceber/associar com o problema que estudamos?

A primeira pergunta do questionário deve ser respondida simultaneamente a realização do experimento, para não correr o risco dos alunos esquecerem os dados obtidos, recomendamos, que a pergunta, seja respondida através do preenchimento da Quadro 8, a seguir, esse preenchimento ajudará na organização das análises posteriores:

Quadro 8 – Tabela das alturas obtidas no experimento

Superfícies horizontais	Altura de abandono (h1)	de Altura de abandono (h2)	de Altura de abandono (h3)	Média das
-------------------------	-------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------

		alturas ($h_{\text{médio}}$)			
Superfície A:					
Arroz					
Superfície B: Sal					
Superfície C:					
Lixa					
Superfície D:					
Lisa					

Fonte: Autor (2021).

As demais perguntas devem ser respondidas após a realização do experimento, o professor pode estabelecer um prazo para resolução das demais perguntas e pedir para que os alunos procurem escrever tudo aquilo que julgarem pertinentes.

Terceiro gerenciamento (≈ 10 minutos): (Recolher os materiais e debate coletivo). Depois do recolhimento dos materiais, os alunos organizam-se em círculo e o professor toma como guia o questionário aplicado e discute as respostas desenvolvidas. É importante que os alunos sejam direcionados para o conhecimento científico, através de perguntas que derivem do questionário aplicado, o ideal para esse momento é que todos os alunos participem, dando suas contribuições. O professor pode fazer anotações ou organizar um esquema mais conceitual no quadro, desde que respeite as ideias apresentadas pelos estudantes. No final desse gerenciamento é esperado que os alunos obtenham a tomada de consciência do problema proposto, em relação aos conceitos e grandezas físicas envolvidas.

Quarto gerenciamento (≈ 15 minutos): (Desenhar e escrever) Como finalização do problema, o professor solicitará aos alunos que respondam, individualmente, a seguinte pergunta: “Como o problema experimental foi solucionado?”

Com o cumprimento desses gerenciamentos, o professor pode considerar encerrada a etapa denominada Problema, todos os

gerenciamentos do Problema são pertinentes e precisam ser considerados para o momento avaliativo.

2. Atividade de sistematização (≈ 30 minutos)

Recapitulando o problema, o objetivo é fazer com que uma bola de gude pare nas demarcações das diferentes superfícies horizontais. As tentativas para atingir o objetivo decorrem da variação da altura de abandono da bola de gude. Mas qual seria a grandeza Física associada à altura de um objeto? Será que a altura é o único parâmetro importante de ser considerado para solucionar o problema? Quais processos físicos ocorrem durante o abandono até o momento de parada da bola? Para solucionar esses questionamentos dividimos a explicação em três etapas: 2.1) Etapa Física no plano inclinado (Versão energia); 2.2) Etapa Física no plano inclinado (Versão forças) e 2.3) Etapa Física na superfície horizontal.

Na etapa Física no plano inclinado (Versão energia), desenvolvemos a explicação utilizando as energias potencial gravitacional, cinética de rotação e translação, porém, em análises precedentes a aplicação da SEI, decidimos não incluir a energia cinética de rotação no processo de explicação, essa decisão foi tomada em função dos poucos conteúdos que os alunos tinham estudado ao longo do ano letivo em razão da COVID-19. Mostraremos a modelagem pensada inicialmente antes da aplicação, envolvendo as energias que mencionamos, mas os modelos podem sofrer alterações a depender do objetivo ou do público que o professor pretenda aplicar a sequência didática.

2.1 Etapa Física no plano inclinado (Versão energia)

De fato, o parâmetro inicial a ser considerado para que a meta seja cumprida é a altura, mas existem outros fatores que podem passar despercebidos, como exemplo, a massa do corpo, pois, supondo que soltássemos objetos de massas muito diferentes da mesma altura, não obteríamos o mesmo resultado, então podemos perceber que além da altura, esse é outro fator relevante. Essas grandezas mencionadas, são as variáveis independentes, que se relacionam a uma grandeza mais geral, denominada energia potencial gravitacional (U), essa grandeza é determinada pelo produto

da massa (m) do objeto pela aceleração gravitacional local (g) e pela altura (h) de largada em relação a um nível de referência.

$$U = m \times |\vec{g}| \times h \text{ (Eq. 01)}$$

Como o experimento será sempre realizado no mesmo ambiente, podemos tomar como constante a aceleração gravitacional, além disso, não mudaremos os objetos abandonados, então a massa será constante para os procedimentos experimentais, logo, a energia potencial gravitacional inicial será escrita como função da altura, $U(h)$.

Ao regular a altura, na verdade, estamos ajustando essa energia inicial. Na natureza, existem alguns princípios importantes, um deles, é o Princípio da Conservação de Energia, através desse, sabemos que a energia será sempre transformada em outras formas de energia. Algumas possibilidades de transformações para este caso são em energia térmica e/ou cinética. A térmica poderia ser considerada com maior relevância se o objeto escorregasse com um atrito excessivo, que não é o caso. Sendo assim, a transferência que ocorre com maior intensidade é a conversão da energia potencial gravitacional em energia cinética, lembrando que a energia cinética é uma forma de energia relacionada ao movimento de translação e rotação dos corpos.

A transferência de energia nos remete a um outro princípio mais específico da Física, o Princípio da Conservação da Energia Mecânica, onde por meio dele compreendemos que toda energia potencial gravitacional inicial será convertida em energia cinética final, considerando como final o momento em que a bola de gude chega no final do plano inclinado – e, portanto, antes de iniciar o movimento pela superfície horizontal.

A energia cinética, para esse caso, possuirá duas parcelas, a de translação e a de rotação. A de translação dependerá da massa (m) e da velocidade de translação (v) da bola de gude. A de rotação dependerá do momento de inércia (I) e da velocidade angular (ω). Admitindo o Princípio de Conservação da Energia Mecânica, podemos escrever:

Energia Mecânica Inicial = Energia Mecânica Final

$$m \times |\vec{g}| \times h = \frac{m \times |\vec{v}|^2}{2} + \frac{I \times |\vec{\omega}|^2}{2}$$

Fazendo algumas substituições e manipulações matemáticas, obtemos que a equação que define a velocidade final da bola de gude em função da altura (h), ao final do plano inclinado, está representada a seguir:

$$v(h) = \sqrt{\frac{10 \times |g| \times h}{7}} \text{ (Eq. 2)}$$

Com essa equação, conseguimos obter numericamente uma boa aproximação para a velocidade da bola de gude no final da rampa (início da superfície horizontal), utilizando $g \cong 9,81 \frac{m}{s^2}$, e com a altura (h) obtida no procedimento experimental.

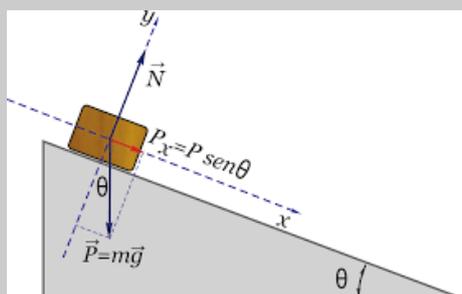
Note que para esse modelo, a velocidade final independe da massa do objeto utilizado, porém, na prática, sabemos que há uma interferência significativa para a rapidez da bolinha sobre o plano inclinado, e, como sugestão de investigação posterior, deixamos esse questionamento sobre o do porquê dessa diferença entre o modelo matemático e situação prática.

2.2 Etapa Física no plano inclinado (Versão forças)

Como a bola de gude será abandonada sobre o plano inclinado a força que contribui para que a bola desça, é a força devido à ação da aceleração gravitacional, conhecida como força peso.

A força peso nessa situação do plano inclinado possuirá duas componentes, uma na perpendicular, outra paralela ao plano. Essa divisão de componentes resulta em uma manipulação matemática que pode nos ajudar a interpretar algumas vantagens que podemos ter ao utilizar o plano inclinado no nosso cotidiano. Na Figura 34 a seguir, podemos visualizar a decomposição da força peso.

Figura 34 - Decomposição da força peso



Fonte: UFJF.

O plano inclinado pode ser entendido como uma máquina mecânica simples, ou seja, de alguma maneira sua utilização pode auxiliar em algumas situações que exigem esforços físicos, como, por exemplo, diminuindo a força necessária para movimentar para cima certo corpo. Se desejarmos elevar algum objeto, temos duas possibilidades: desenvolver um movimento vertical ou colocá-lo sobre um plano inclinado e empurrá-lo até a altura de interesse. Um dos caminhos mencionados demanda um esforço menor. Qual deles seria? Por quê?

Agora, vamos retomar a análise conceitual e matemática do problema, suponha que o movimento de rotação não fosse tão relevante para o trecho do plano inclinado, visto que é um segmento curto se comparado com a superfície horizontal. Dessa maneira, se desprezarmos o rolamento, o atrito existente seria o atrito cinético entre o objeto e o plano inclinado, porém, a rampa de madeira é excessivamente lisa, o que nos possibilita não levar em consideração a força de atrito cinético. Com essas imposições, a aceleração de descida da bola de gude é dada por:

$$\vec{a} = \vec{g} \times \text{sen}\theta \text{ (Eq. 3)}$$

Na expressão anterior, g é aceleração gravitacional local e θ é o ângulo de inclinação do plano inclinado. Como a pretensão é determinar a velocidade final da bola de gude sobre o plano inclinado, podemos utilizar a equação de Torricelli:

$$\vec{v}^2 = \vec{v}_0^2 + 2 \times \vec{a} \times \Delta\vec{S} \text{ (Eq. 4)}$$

Unindo a equação da aceleração com a de Torricelli (Equações 3 e 4), podemos calcular a velocidade final pela expressão:

$$\vec{v} = \sqrt{2 \times \vec{g} \times \vec{h}} \text{ (Eq. 5)}$$

Note que tanto pela modelagem da força, quanto da energia obtemos resultados parecidos para o cálculo da velocidade final. Porém o da energia pode ser considerado mais próximo do real, visto que inclui o movimento de rotação da bola de gude, enquanto que aqui consideramos apenas o movimento de translação.

2.3) Etapa Física na superfície horizontal

Ao terminar de descer a rampa a energia potencial gravitacional torna-se zero, porque $h=0$, e, nesse momento, toda a energia foi convertida em energia cinética.

Existe um teorema fundamental que nos auxilia na próxima investigação: o trabalho da força resultante é igual a variação da energia cinética. O que pretendemos fazer é variar a energia cinética, de modo que seu valor final seja nulo, isto é, que a bolinha pare completamente na demarcação. Matematicamente, temos:

$$W_{fr} = \Delta E_c$$

A variação da energia cinética (E_c), é compreendida pela energia cinética final ($E_{c,f}$) menos a energia cinética inicial ($E_{c,i}$), como a $E_{c,f}$ é nula, então o teorema anterior pode ser escrito como:

$$W_{fr} = -\frac{m \times |\vec{v}|^2}{2} \text{ (Eq. 6)}$$

A velocidade v que aparece na expressão anterior é considerada a velocidade inicial para o segmento horizontal, isto é, a final para o plano inclinado. Seu valor numérico, pode ser obtido pelos modelos precedentes desenvolvidos.

Nesta situação estudada, os trabalhos de forças que podem ser considerados são: o atrito com o ar e o atrito com a superfície. O atrito com o ar possuiria maior relevância experimental se tivéssemos uma alta área de seção transversal do objeto, mas, nosso objeto utilizado tem uma pequena área de seção transversal o que possibilita desprezar o trabalho realizado pela força de resistência do ar e considerar apenas a força resistiva entre a bolinha e a superfície horizontal.

A resistência com a superfície será praticamente a única grandeza que contribuirá para redução da energia cinética a zero, momento em que a bolinha para. Temos 4 superfícies diferentes, cada uma delas apresentará uma resistência de contato diferente. Em ordem decrescente em relação a dificuldade da movimentação, a sequência seria: arroz, areia fina, lixa e madeira lisa.

Para quantificar a força resultante (F_r), podemos utilizar a definição de trabalho. O trabalho de (F_r) é obtido pelo produto de (F_r) pelo deslocamento (d) da bola de gude pelo cosseno do ângulo ($\cos \theta$) formado pelo vetor (F_r) e (d).

$$W_{fr} = |\vec{F}_r| \times |\vec{d}| \times \cos\theta \text{ (Eq. 7)}$$

Aliando as equações 6 e 7, temos que o módulo da força resultante, pode ser calculada como:

$$|\vec{F}_r| = \frac{m \times v^2}{2 \times d} \text{ (Eq. 8)}$$

Perceba que para calcular a força resultante, dependemos apenas da massa, que, neste caso, é aproximadamente igual a 15 gramas, da velocidade (v), que foi obtida através de modelagens anteriores e do deslocamento (d) que a bolinha percorrerá na superfície horizontal até parar. Essa força que podemos calcular, não é especificamente a força de atrito, mas sim a combinação de todas as forças atuantes que fazem com que a bola de gude pare.

3. Contextualização (\approx 10 minutos)

Será que o aluno percebe a ocorrência do plano inclinado estudado em situações do seu cotidiano? Será que já notou a possibilidade de apresentar algum benefício ou facilidade em determinadas situações? Nossa contextualização visa explorar esse aspecto social, relacionar a importância do plano inclinado e a acessibilidade para os cadeirantes, compreende-se que através das rampas, os cadeirantes garantem o direito básico de ir e vir. Apesar da rampa não ser o único fator que contribua para a acessibilidade, sua presença é fundamental em relação a questão da mobilidade.

Para demonstrar essa importância, mostre um vídeo do YouTube denominado “RAMPA ACESSIBILIDADE”, encontrado no link: <<https://www.youtube.com/watch?v=Intmo1zbFYE>>. O vídeo mostra a negligência de uma cidade que em 2017 é carente de recursos mínimos para que os cadeirantes possam se locomover com tranquilidade e segurança. Vale ressaltar que as rampas não beneficiam apenas os cadeirantes, além deles, idosos e familiares com carrinhos de bebê.

Na Sistematização do conhecimento foi explicado como as forças sobre um corpo dividem-se quando este, está situado sobre o plano inclinado, e

como essa divisão, facilita o esforço físico. O cadeirante ao deparar-se com um degrau de uma calçada além de necessitar aplicar um esforço físico maior, aspectos geométricos da cadeira de rodas não contribuem para a subida do degrau.

Depois do vídeo, questione os alunos se eles já perceberam essas rampas pela cidade e se acreditam que elas atendem as condições e normas. Pode-se também discutir porque a inclinação tem um limite que deve ser respeitado, dentre outras possibilidades.

Caso tivéssemos mais tempo e aulas disponíveis para a aplicação da SEI, além da acessibilidade, exploraríamos um simulador gratuito. Mas, a nível de sugestão, deixaremos aqui uma outra possibilidade de contextualização.

Como mencionado anteriormente, outra possibilidade seria a utilização de um simulador disponível na internet, encontrado no link: https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/motion-series/latest/motion-series.html?simulation=ramp-forces-and-motion&locale=pt_BR. Esse simulador contém um personagem que pode elevar um caixote sobre um plano inclinado, é possível variar alguns parâmetros experimentais, tais como: ângulo de inclinação do plano inclinado, força do personagem para mover o caixote, coeficiente de atrito, entre outros.

O simulador servirá para demonstrar que o plano inclinado pode ser entendido como uma máquina simples. As máquinas simples são dispositivos que trouxeram grandes avanços para humanidade e servem de base para outras máquinas mais sofisticadas.

Desse modo, sugerimos a comparação de duas situações no simulador. O ângulo de inclinação do plano inclinado colocado em 80° (máximo suportado pelo simulador) e propor essa situação como uma aproximação para o movimento vertical, e mostrar, que para elevar o caixote é necessário aplicar uma força de 900N, em seguida, mudar o ângulo do plano inclinado para 30° , e com isso, a força necessária para empurrar o mesmo caixote e percorrer o mesmo comprimento do plano inclinado é de 700N.

Dessa forma, é possível mostrar aos alunos que o plano inclinado, assim como o braço de alavanca e outras ferramentas funcionam como uma máquina mecânica simples, podendo facilitar muitos processos mecânicos do

cotidiano, como exemplo, podemos mencionar a realização de mudanças de domicílios, em que costumamos colocar os móveis em caminhões para transportar os objetos. Caso o caminhão disponha de uma rampa, o processo necessitará de um menor esforço físico.

4. Avaliação (≈ 30 minutos)

A avaliação deverá estar de acordo com os objetivos de ensino e a metodologia escolhida. Para a SEI, segundo Carvalho (2013), o principal objetivo é o aprendizado dos conceitos, termos, noções científicas, ações, atitudes e valores próprios da cultura científica.

A avaliação do aprendizado das ações, atitudes e valores próprios da cultura científica podem ser identificados durante todas as etapas precedentes: Problema, Sistematização e Contextualização. O professor deverá prestar atenção nas argumentações, na maneira como os grupos se organizam para solucionar o problema e se a apropriação dos conceitos está sendo feita pelos estudantes, que podem apresentar mudanças em suas respostas e na implementação do vocabulário científico.

Para avaliar os conceitos, termos e noções científicas trabalhados, os discentes deverão responder a quatro problemas abertos, que fazem menção a situação experimental, a modelos matemáticos e a situações de acessibilidade. Temos um repertório de problemas diversificado que possibilitará demonstrar a aprendizagem dos alunos.

Problemas abertos:

1 - No nosso experimento, as demarcações estão no final da superfície horizontal. Caso, quiséssemos que a bolinha parasse no começo do segmento horizontal ou na metade. O que deveríamos fazer para atingir esse objetivo? Cite todas as possibilidades que conseguir imaginar.

2 – Vimos, através das equações que sobre o plano inclinado, a massa do corpo não é relevante para análise experimental, mas, na prática, a massa do objeto é importante? Você acha que se a bolinha fosse outro

objeto, mais pesado ou mais leve, os resultados seriam diferentes? Justifique.

3 – Sobre as rampas de acessibilidade para os cadeirantes, como a inclinação da rampa pode afetar na subida? E na descida? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema.

4 – Você acha que as rampas de acessibilidade podem ser desenvolvidas para qualquer inclinação? Ou deve existir um limite? Tente utilizar conceitos físicos para responder o problema.

**APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO PARA PARTICIPAÇÃO DA
PESQUISA**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE ACADÊMICO DO AGRESTE
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA (MNPEF)

TERMO DE CONSENTIMENTO

Solicitamos a sua autorização para convidar o (a) seu/sua filho (a) (ou menor que esteja sob sua responsabilidade) _____ para participar, como voluntário (a) da aula: Sequência didática para estudo experimental de um problema do plano inclinado.

Esta pesquisa é da responsabilidade do professor Josemar Beserra de Mélo Filho, sob a orientação da Professora Dra. Tassiana Fernanda Genzini de Carvalho. A aplicação dessa aula contribuirá para a produção da dissertação (Atividade final) do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e, possibilitará ao professor obter o título de mestre e contribuir para avanços no Ensino de Física em Pernambuco.

Assinatura do professor

Assinatura do responsável