



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

ANTÔNIO DE MELO FONSECA NETO

**CICLOS DE MODELAGEM INTEGRADOS A RECURSOS TECNOLÓGICOS: UMA
PROPOSTA PARA O ENSINO DE SISTEMAS MASSA MOLA EM AULAS REMOTAS.**

**CAMPINA GRANDE
2021**

ANTÔNIO DE MELO FONSECA NETO

CICLOS DE MODELAGEM INTEGRADOS A RECURSOS TECNOLÓGICOS: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE SISTEMAS MASSA MOLA EM AULAS REMOTAS.

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação: Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - (MNPEF) da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de Concentração: Física na Educação Básica.

Orientador: Prof. Dr. Heron Neves de Freitas

CAMPINA GRANDE

2021

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

F676c Fonseca Neto, Antônio de Melo.

Ciclos de modelagem integrados a recursos tecnológicos [manuscrito] : uma proposta para o ensino de sistemas massa mola em aulas remotas / Antônio de Melo Fonseca Neto. - 2021.

70 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Profissional em Ensino de Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2021.

"Orientação : Prof. Dr. Heron Neves de Freitas, Coordenação do Curso de Física - CCT."

1. Ensino de Física. 2. Ciclos de modelagem. 3. Ensino remoto. I. Título

21. ed. CDD 372.35

ANTÔNIO DE MELO FONSECA NETO

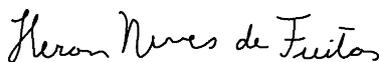
CICLOS DE MODELAGEM INTEGRADOS A RECURSOS TECNOLÓGICOS: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE SISTEMAS MASSA MOLA EM AULAS REMOTAS.

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação: Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - (MNPEF) da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de Concentração: Física na Educação Básica.

Aprovada em: 27 / agosto / 2021

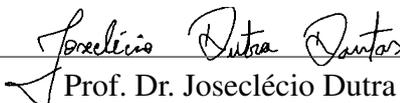
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Heron Neves de Freitas
Universidade Federal de Campina Grande - (UFCG)



Prof. Dr. Ana Paula Bispo da Silva
Universidade Estadual da Paraíba- (UEPB)



Prof. Dr. Joseclécio Dutra Dantas
Universidade Federal de Campina Grande- (UFCG)

AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Rafaela Menezes de Paiva, pela parceria, pelo apoio e incentivo para continuar no programa. Aos meus pais e irmãos que me apoiaram e ajudaram como puderam.

Ao meu orientador, Heron N. de Freitas, pela sua contribuição e ser meu braço direito na construção do projeto.

À Professora, Ana Paula Bispo, que foi uma peça importante na continuação e desenvolvimento do trabalho.

Aos professores do programa, Alessandro Frederico, Ana Raquel, José Jamilton, Pedro Carlos, Ivonete Batista, que disponibilizaram seus conhecimentos e tempo para contribuir para uma melhora no ensino de Física.

Aos amigos que construí no programa, Severino Neto, Alexandre Melo, Romeu Castro, Hallysson Pinto, obrigado pela parceria e pelas viagens construtivas.

À Coordenação do MNPEF/UEPB (Mestrado Nacional e Profissional em Ensino de Física) e a SBF (Sociedade Brasileira de Física).

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

Viver é enfrentar um problema atrás do outro.
O modo como você o encara é que faz a
diferença."

Benjamin Franklin

RESUMO

A aplicação da modelagem científica presente neste trabalho está baseada na proposta inicial de David Hestenes (2006, 2010) que realiza ciclos de modelagem com pequenos grupos de estudantes em cursos universitários, para o desenvolvimento de investigações a partir de problemáticas envolvendo fenômenos físicos, podendo ser diversificadas conforme o planejamento do professor. Objetivando fazer com que os estudantes criem modelos e representações para explicar tal problema, culminando em uma exposição à turma para compartilhar suas interpretações e conclusões. Apesar da existência de alguns trabalhos científicos aqui no Brasil sobre o tema, a adaptação da proposta inicial para a aplicação no ensino básico é algo pouco aplicado no ensino de física, desta forma este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta que viabiliza ao professor de física do ensino médio a utilização da instrução de modelagem no ensino de física na modalidade remota, fazendo uso de tecnologias no estudo de sistemas massa mola em turmas do 1º ano do ensino médio. Por se tratar de uma proposta investigativa e como um diferencial para as aulas de física a proposta contou com encontros que buscaram a participação do aluno como protagonista do seu próprio conhecimento. Como produto final de todo processo investigativo, tivemos uma exposição contendo um modelo de representação para a problemática inicial que será apresentado para todos da turma com o objetivo de aprimorar cada vez mais o modelo e introduzir termos científicos capazes de enriquecer o repertório científico dos alunos.

Palavras-chave: Ciclos de Modelagem. Análises computacionais. Aulas Remotas.

ABSTRACT

The application of scientific modeling present in this work is based on the initial proposal of David Hestenes (2006,2010). He conducts modeling cycles with small groups of students in university courses, for the development of research based on problems involving physical phenomenon. This may be diversified according to the planning of the teachers, which aims to make students create models and representations to explain such a problem. It culminates in an exposure to the class to share their interpretations and conclusions. Despite the existence of some scientific works here in Brazil about this subject, the adaptation of the initial proposal for application in primary education is something uneasy applied in the teaching of physics, thus this work aims to present a proposal that enables high school physics teacher to use high school education modeling in the teaching of physics in the home schooling, using technologies that help in the study of spring mass systems in classes of the 1st year of high school. Because it is a research proposal and as a differential for physics classes the suggestion had meetings that sought the student's participation as the protagonist of their own knowledge. As the final product of the entire investigative process, we will have an exhibition containing a representation for the initial problem that will be presented to everyone in the class with the objective of increasingly improving the model and introducing scientific terms capable of enrich the scientific repertoire of students.

Keywords: Modeling Cycles. Computational analysis. Remote Classes.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	MODELAGEM E O ENSINO DE SISTEMAS MASSA MOLA	11
2.1	Teoria da Modelagem	11
2.1.1	Modelos e o Ensino de Física	11
2.1.2	Instrução por Modelagem	13
2.1.3	Ciclos de Modelagem	17
2.1.4	As tecnologias no ensino	19
2.1.4.1	O software <i>Tracker</i>	20
2.1.4.2	Quadro Branco - <i>Whiteboard.chat</i>	21
2.1.5	O Sistema Blocomola	22
2.1.5.1	Análise de um oscilador real	22
2.1.6	Funções representativas do movimento	26
2.1.7	Frequência Angular	27
2.1.7.1	Velocidade angular	30
2.1.8	Amplitude Diminui com o Tempo	31
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	35
3.1	A Elaboração da Proposta	35
3.1.1	Desenvolvimento dos encontros	35
3.1.1.1	Primeiro encontro	36
3.1.1.2	Segundo encontro	36
3.1.1.3	Terceiro encontro	36
3.1.1.4	Quarto encontro	37
3.1.1.5	Quinto encontro	37
3.1.2	Recursos utilizados	37
3.1.2.1	O kit experimental	37
3.1.2.2	Análise utilizando Tracker	40
4	RELATO DE APLICAÇÃO	41
4.1	Introdução	41
4.2	Os Encontros	41
4.2.1	Encontro 1: O que é o ciclo de modelagem?	41
4.2.2	Encontro 2: As oscilações estão presentes em nossa vida?	42
4.2.3	Encontro 3: A investigação	44

4.2.4	Encontro 4: Exposição dos modelos	46
4.2.5	Encontro 5: Praticando o modelo	49
4.3	Análise dos encontros	50
4.3.1	Primeiro encontro	50
4.3.2	Segundo encontro	51
4.3.3	Terceiro encontro	51
4.3.4	Quarto encontro	51
4.3.5	Quinto encontro	52
4.3.5.1	Sugestão de problema	52
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL	58
A.1	Apresentação	58
A.2	Sequência de Ensino	58
A.3	Montagem do KIT experimental	68
A.3.1	Materiais utilizados	68
A.3.2	Construindo a base	68

1 INTRODUÇÃO

Na vivência em sala de aula, buscando uma alternativa que promovesse um diferencial para o ensino de física, tive a ideia de elaborar uma atividade investigativa sobre pêndulo simples, que tinha como objetivo ensinar o conteúdo, portanto de uma forma diferente, pois os próprios alunos iriam solucionar os problemas.

Durante a atividade, buscando coletar as respostas dos problemas recebi algumas muito ingênuas e outras que fugiam do conteúdo, mas que após as discussões entre os grupos e o professor foram redefinidas. Ao analisar a aplicação dessa atividade, observei que os alunos ficaram mais motivados em participar, e em responder as perguntas sobre o funcionamento do pêndulo, isso mostra o quanto as aulas ditas como “diferentes” do tradicional podem tirar o aluno da passividade. A meu ver, esse tipo de atividade bem estruturada e com auxílio de outros recursos pedagógicos e tecnológicos se torna uma ferramenta de grande potencial para um professor do ensino médio.

O processo de ensinar física é uma tarefa que necessita bastante esforço, pois aborda pensamentos abstratos, realização de cálculos e muitas vezes a idealização de uma situação problema. Neste último existe ainda a necessidade de criação de modelos, na tentativa de explicar os fenômenos sob estudo. No entanto todas essas são tarefas que exigem diversas habilidades e competências dos estudantes e muitos deles sentem dificuldades pois essas ainda não foram desenvolvidas. Buscar mudar essa realidade no ensino de física em uma modalidade virtual não é tarefa fácil.

Um ponto positivo para tudo isso é que devido ao avanço tecnológico a humanidade vive uma nova era na qual a informação é transmitida de forma eficaz. Por outro lado, para um aluno que vive neste contexto, buscar a informação de forma mais rápida é muito mais interessante do que participar de uma aula, em que apenas o professor detém o conteúdo, tornando-a uma atividade repetitiva sem o compartilhamento de ideias e pensamentos, causando uma desconexão entre os modelos conceituais e reais.

Diante desse contexto, é preciso pensar em novas possibilidades para o ensino de física, de modo que envolva o aluno de maneira ativa no processo de ensino aprendizagem tornando-o o centro do processo. Segundo Moreira (2010, p. 05), centrar o ensino no aluno não quer dizer que ele estará livre para aprender o que quiser, mas sim mostrá-lo que ele é o responsável pela sua aprendizagem, ou seja, ele buscará identificar quais conceitos terão novos significados na sua estrutura cognitiva.

O uso da modelagem tem grande importância na busca de respostas para entendermos o mundo que vivemos. Do ponto de vista educacional a modelagem científica é tratada como uma alternativa para inserção de conteúdos de natureza epistemológica, que, juntamente com a Física, traz uma visão mais real diante da criação e interpretação de modelos de representação de fenômenos físicos.

Nessa perspectiva, desenvolvemos uma adaptação da utilização dos ciclos de modelagem de David Hestenes (2006, 2010) com base na proposta de (HEIDEMANN; ARAUJO; VEIT, 2012) para aplicação no ensino médio, todavia na modalidade de ensino remoto. Integrando recursos tecnológicos e a modelagem, como uma nova estratégia de ensino, de modo a trazer uma nova visão para as aulas de física. Trabalhando os conceitos de sistemas oscilatórios, em particular o sistema massa mola, no intuito de obter dados capazes de responder a seguinte pergunta: Como os ciclos de Modelagem integrados a recursos computacionais podem contribuir para o desenvolvimento das aulas de Física?

A utilização da proposta almeja que os alunos durante os ciclos de modelagem construam modelos conceituais que estejam de acordo com os modelos reais propostos em aula.

2 MODELAGEM E O ENSINO DE SISTEMAS MASSA MOLA

2.1 TEORIA DA MODELAGEM

A teoria da modelagem vem sendo desenvolvida desde 1980, pelo físico-educador David Hestenes para orientar o design da instrução científica. A teoria distingue nitidamente a relação entre os modelos conceituais, que constituem o núcleo de conteúdo da ciência e os modelos mentais essenciais para compreendê-los.

Por se tratar de uma teoria de natureza cognitiva, a teoria da modelagem destaca que os estudantes criem modelos mentais para entender o mundo real que não são compatíveis com os modelos conceituais apresentados nos livros didáticos (WELLS; HESTENES; SWACKHAMER, 1995; MAZUR, 2015) . Com base nisso, defende que o problema fundamental na aprendizagem e na compreensão em ciências e em matemática é a articulação dos modelos mentais com modelos conceituais.

Wells, Hestenes e Swackhamer (1995), definem a modelagem como um campo conceitual subjacente aos campos conceituais específicos da ciência, para propor conhecimentos de referência que os estudantes precisam utilizar quando enfrentam situações que demandam a construção, o uso e a validação de modelos científicos.

Assim, a teoria da modelagem é percebida como estando fundamentada na hipótese principal de que a atividade cognitiva primária em ciências e em matemática envolve construção, validação e aplicação de modelos mentais (HESTENES, 2015), e que os conceitos de modelos mentais e modelos conceituais são necessárias para a utilização da teoria.

2.1.1 Modelos e o Ensino de Física

Para se entender o conceito de modelagem científica é preciso ter a compreensão do que é um modelo científico e compreender que para a maioria dos pesquisadores em ensino, os modelos são representações simplificadas da realidade com o objetivo de analisar, explorar e descrever objetos ou fenômenos.

Segundo Martinand (1986) a utilização de modelos viabiliza ao aluno uma melhor aprendizagem das características fundamentais da realidade. Portanto, em Pietrocola (1999), os modelos são a essência do próprio trabalho científico e,

...da mesma forma acreditamos que eles devam também o ser para o ensino de ciências, pois ao construirmos modelos exercita-se a capacidade criativa com objetivos que transcendem o próprio universo escolar. A busca de construir não apenas modelos, mas modelos que incrementem nossas formas de construir a

realidade, acrescenta uma mudança de "qualidade" ao conhecimento científico escolar. (Pietrocola, 1999:12)

Pode-se caracterizar o ensino de física como uma rede de modelos interligados por um sistema de princípios teóricos (HESTENES, 1997) e destacar as habilidades de modelagem, para a criação e uso de modelos para a compreensão da Física. Para Hestenes (1994) ao contrário das teorias, os modelos teóricos são testáveis, isso quer dizer que são empiricamente validados quando efetivados. Desta maneira, pode-se interpretar que a teoria se conecta com o mundo real através de modelos.

Quando se trata sobre o ensino de Física, os modelos estudados são modelos conceituais, construídos por uma comunidade de pesquisadores para facilitar a compreensão de sistemas físicos, constituindo em representações precisas, completas e mais sólidas. Mas é importante destacar que mesmo para a construção desses modelos conceituais, os pesquisadores fazem uso de seus modelos mentais ou suas representações internas.

Para Johnson-Laird (1983), modelos mentais são representações analógicas da realidade, entendida como um conjunto de símbolos que representam um evento ou situação do mundo real ou da nossa imaginação. Esses são essenciais para o entendimento da cognição humana, já que a nossa percepção do mundo não se dá de forma direta, mas sim por representações que criamos em nossa mente.

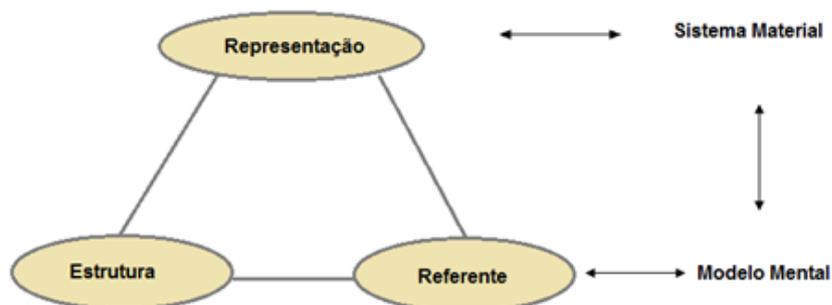
Para Hestenes (2006), os modelos mentais são particulares na mente de cada indivíduo, podendo ser elevados a modelos conceituais, quando codificados em símbolos que ativam as representações mentais.

Diferentemente dos modelos mentais, pode-se entender que os modelos conceituais são representações externas criadas por pesquisadores e cientistas com o objetivo de facilitar a compreensão de coisas do mundo. São representações mais precisas, mais completas que podem ser expressas por uma linguagem matemática através de fórmulas e analogias.

Hestenes (2006, p. 42) definiu um modelo conceitual “[. . .] como uma representação da estrutura de um sistema material, que pode ser real ou imaginário”. O autor define o modelo conceitual como uma extensão da ideia de conceito, caracterizado por uma tríade que ele classifica em: representação, estrutura e referente, como mostra a figura 1.

Diferentemente de um conceito, um modelo conceitual é visível, concreto, pode ser manipulado de alguma maneira a partir de transformações de registros de representação. Portanto, o referente de um modelo conceitual é sempre um modelo mental. Assim, deve-se distinguir dois tipos de representação para um modelo conceitual: uma representação externa (objetiva)

Figura 1 – Esquema de modelo conceitual



Fonte: Hestenes, 2006, p12.

em termos de sistemas simbólicos (visíveis) e uma representação interna na mente do sujeito modelador (HESTENES, 1987).

Hestenes (2010) classifica as estruturas de um modelo conceitual em: sistêmica, geométrica, objeto, interação e temporal. Na tabela 1 são apresentadas as características destas estruturas.

As estruturas que definem os modelos conceituais, representadas na tabela 1, são as mesmas dos modelos mentais e, assim, buscando cada vez mais refinar as definições de modelos, Hestenes conclui que “um modelo conceitual é uma representação da estrutura de um modelo mental” (HESTENES, 2010, p. 19). Dessa maneira, pode-se representar as relações entre o mundo físico, os modelos mentais e os modelos conceituais como é apresentado na figura 2.

De acordo com o esquema apresentado, na referida figura, se pode perceber que os modelos mentais quando incorporados à mente do indivíduo provocam a ação e a percepção de coisas do mundo real, permitindo interpretar e codificar em símbolos, para que validem o modelo conceitual, que por sua vez, represente o mundo real. Na prática efetiva de sala de aula, as ideias acima são concretizadas por meio da aplicação da modelagem, quando a partir de um problema o indivíduo internaliza o modelo mental com base em sua percepção, e na busca de solucionar o problema destaca variáveis e representações que constroem o modelo conceitual.

2.1.2 Instrução por Modelagem

O nome *Modellig Instruction* ou na tradução livre instrução por modelagem, expressa uma ênfase na construção e aplicação de modelos conceituais de fenômenos físicos com aspecto central de aprender e fazer ciência (HESTENES, 1987; WELLS; HESTENES; SWACKHAMER, 1995; HESTENES, 1997).

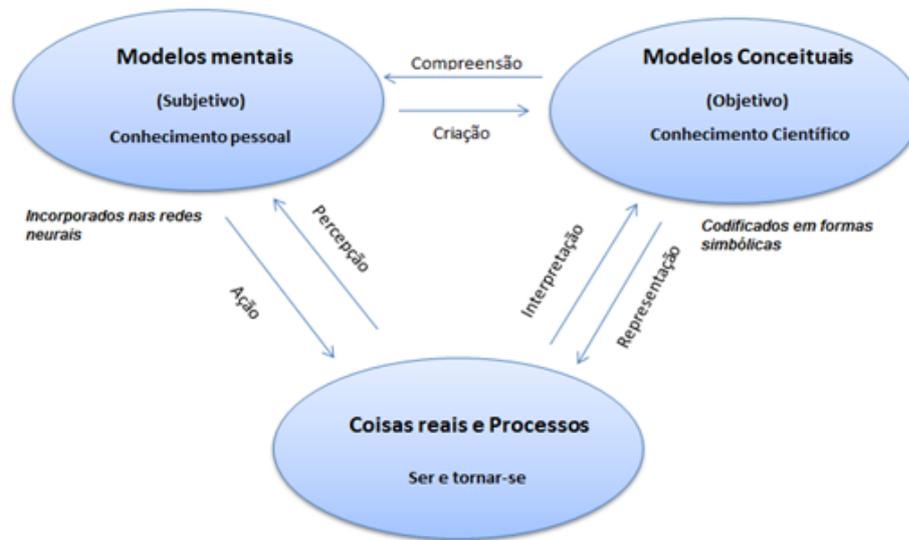
Tabela 1 – Estrutura universal dos modelos

Estruturas	Características
Sistêmica	Sua representação específica: (a) composição do sistema, (b) ligações entre as partes (objetos individuais), (c) ligações para agentes externos (objetos no ambiente). Uma representação diagramática é geralmente a melhor (com os objetos representados por nós e ligações representadas por linhas conectadas) porque permite uma imagem holística da estrutura como um todo. Exemplos: diagramas de circuitos elétricos, gráficos de setores, árvores de famílias.
Geométrica	Específica: (a) configuração (relações geométricas entre as partes), (b) localização (posição com respeito a um quadro de referência).
Objeto	Propriedades intrínsecas das partes. Por exemplo, massa e carga se os objetos forem coisas materiais, ou funções se forem agentes com comportamento complexo. Os objetos podem eles mesmos serem sistemas (tais como átomos compostos por elétrons e núcleons), mas suas estruturas internas não são representadas no modelo, embora possam ser refletidas nas propriedades atribuídas.
Interação	Propriedades das ligações (tipicamente interações causais) geralmente representadas como relações binárias sobre partes de objetos. Exemplos de interações: forças (mudanças de momentum, transporte de matéria de qualquer forma, mudança de informação).
Temporal	Mudança temporal no estado do sistema. Mudança na posição (movimento) é o tipo mais fundamental de mudança, pois ela permite medida básica de tempo. A teoria da medida específica como quantificar as propriedades de um sistema dentro de propriedades variáveis. O estado de um sistema é um conjunto de valores para suas propriedades variáveis (em um dado tempo). Mudança temporal pode ser representada descritivamente (como em gráficos), ou dinamicamente (por equações de movimento ou leis de conservação).

Fonte: Hestenes (2010 p.18-19).

O objetivo da Instrução por modelagem é fazer com que os estudantes coordenem seus modelos conceituais com os seus modelos mentais na construção, análise e validação de modelos físicos. Dessa maneira, os estudantes são incentivados a debaterem e a compartilharem conhecimento científico. O professor assume o papel de mediador, orientando as pesquisas, e ao mesmo tempo apresentando novos procedimentos e ferramentas úteis na modelagem. A prática efetiva da modelagem ocorre na aplicação dos ciclos que, após os estudantes discutirem e

Figura 2 – Esquema modelos mentais versus modelos conceituais



Fonte: Hestenes, 2006, p44.

fazerem uso das ferramentas de modelagem, fazem uso de *Whiteboard* para exposição de seus registros como maneira recursiva na exposição de seus argumentos e definições. Contudo, não se pode esquecer que os professores que fazem uso da modelagem estão equipados com uma metodologia que promove aos estudantes experiências de física com mais significado, melhor compreensão de afirmações científicas, uma articulação coerente nas defesas de opiniões e na defesa de argumentos sobre determinado modelo físico.

Jackson, Dukerich e Hestenes (2008) destacam que o método instrução por modelagem corrige muitas fraquezas do tradicional, incluindo a fragmentação do conhecimento, a passividade do aluno e a persistência de crenças ingênuas sobre o mundo físico.

Uma comparação, proposta por Brewster (2008), entre o ensino centrado na modelagem e o ensino tradicional é apresentada na tabela 2.

Tabela 2 – Comparação entre ensino centrado na modelagem e tradicional.

Ensino Centrado na Modelagem	Ensino Tradicional
Modelos são construídos baseados em leis e em condições de contorno.	Leis são apresentadas na forma de equações e são usadas na resolução de problemas.
Modelos são construídos com o auxílio de ferramentas de representação e, então, são usados para resolver problemas.	A resolução de problemas é predominantemente uma atividade de manipulação de equações.
Modelos são temporários e podem ser validados, refinados e expandidos.	O conteúdo é permanente; a validação já foi realizada.
Modelos são aplicados em situações físicas específicas.	Leis são aplicadas em situações físicas específicas.
A modelagem é um processo que é aprendido pelo acúmulo de experiência.	A resolução de problemas é um jogo que requer truques e é aprendida pela resolução de um grande número de problemas.
Modelos são distintos dos fenômenos que representam e podem incluir elementos causais, descritivos e preditivos.	O conteúdo é indistinguível do fenômeno físico.

Fonte: Hestenes (2010 p.18-19).

Brewe (2008 apud SOUZA; SANTO, 2017) relata a Instrução por Modelagem em um curso de física universitário norte-americano enfatizando as fases de: desenvolvimento, aplicação, adaptação, extensão e revisão de modelos. O autor comenta que a aplicação dessa metodologia possibilitou a organização efetiva do conhecimento consistente com a prática aceita cientificamente. Comenta ainda que o conteúdo do curso foi organizado em um pequeno número de modelos gerais, que puderam ser aplicados em uma ampla classe de situações. Isso resultou em pelo menos dois benefícios: primeiro, a organização curricular levou a uma expertise em modelagem matemática e, segundo, os discentes estudaram um pequeno número de modelos gerais como um corpo de conhecimento coerente. Por destacar a aplicação da modelagem em cursos universitários, Brewe comenta a existência de impedimentos quanto a sua aplicação no ensino de física, um deles é a falta de compreensão do papel dos modelos conceituais no ensino, porque diferem em alguns aspectos da realidade, por serem produtos de abstrações, aproximações e idealizações realizadas com uma intenção realista, ou seja, na tentativa de representar e explicar o mundo. O outro é sobre a aplicação da modelagem no ensino médio ser diferente dos cursos universitários, devido ao nível de conhecimento adquirido pelos estudantes.

Para Hestenes (2010 apud de Souza; ROZAL, 2016), a principal característica da Instrução por Modelagem consiste em ser uma abordagem instrucional investigativa centrada no estudante e orientada pelo professor. Ela focaliza a compreensão de um sistema ou processo físico concreto. O professor guia sutilmente todo o processo investigativo com questões, sugestões e desafios; introduzindo equipamentos, termos padrões, convenções e ferramentas representacionais quando necessário.

Jackson, Dukerich e Hestenes (2008) afirma que desde a sua criação, o programa de modelagem tem se preocupado com a reforma do ensino de Física no ensino médio tornando-o mais coerente e centrado no aluno, incorporando o computador como uma ferramenta científica essencial.

A seguir uma breve descrição dos Ciclos de Modelagem, destacando sua estruturação, e adaptações referentes à aplicação no ensino básico regular.

2.1.3 Ciclos de Modelagem

Na metodologia de Instrução por Modelagem o processo de ensino deve ser estruturado segundo Hestenes, por uma atividade investigativa organizada em ciclos de modelagem, que pode ser compreendida em dois estágios principais, denominado pelo autor como desenvolvimento e realização do modelo.

Buscamos adaptar a fase de desenvolvimento do modelo, com o objetivo de aplicar ao ensino remoto e no ensino médio, já que o projeto inicial de aplicação dos ciclos é no ensino superior e presencial. Dessa maneira, toda a estruturação do ciclo foi mantida, alterando os recursos que permitirão o desenvolvimento da investigação.

Seguindo a estruturação defendida por Heidemann, Araujo e Veit (2012) em seu trabalho sobre os ciclos de modelagem de David Hestenes, as fases que compõe os ciclos são:

Primeiro estágio: desenvolvimento do modelo

- *Discussão pré-laboratorial:* nesta etapa o professor apresenta o problema.
- *Investigação:* os alunos são divididos em pequenos grupos, e trabalham no planejamento, e na construção de hipóteses para explicar o problema em questão.
- *Discussão pós-laboratorial:* nesta etapa todos os alunos interagem, pois cada grupo apresenta e justifica as suas conclusões na forma oral e escrita por meio do "whiteboard".

Segundo estágio: realização do modelo

- Os alunos aplicam o modelo recém elaborado em outras situações: com problemas, experimentos ou análise computacional.

No estágio de desenvolvimento do modelo, que ocorre durante a discussão pré-laboratorial, o propósito é estabelecer um entendimento comum sobre o conteúdo que está sendo discutido. Pode iniciar com perguntas ou debate do tema em discussão. (JACKSON; DUKERICH; HESTENES, 2008).

O problema a ser modelado pode ser de diferentes formas: um experimento, um vídeo, uma situação-problema, uma simulação computacional etc. Segundo Hestenes (1997), o importante é que o problema em questão utilize ferramentas e habilidades de modelagem, para que isso venha acontecer, o tema em questão deve ser problematizado, com o intuito de evidenciar grandezas, que posteriormente farão conexão com os modelos mentais. Até mesmo problemas tradicionais presentes na literatura podem ser modificados para serem aplicados nos ciclos.

Durante o processo de investigação os alunos são organizados em pequenos grupos para planejar, construir argumentos e resolver o problema em questão (JACKSON; DUKERICH; HESTENES, 2008). A fase de investigação para melhor adequação ao ensino remoto é adaptada com uma situação experimental demonstrada virtualmente, que será manipulada pelo professor através de instruções dadas pelos alunos. Nessa fase, o professor deve estar preparado a introduzir ferramentas de representação à medida que os alunos progredirem na investigação. As ferramentas citadas dentro da perspectiva da modelagem são diagramas, equações, gráficos e tabelas. Agora é que são introduzidos termos científicos pelo professor com o objetivo de enriquecer os discursos dos estudantes. A questão ou tema de modelagem orienta a produção e representação de dados qualitativos e quantitativos, envolvendo discussões para o planejamento de procedimentos necessários e o levantamento de informações em diversas fontes.

Durante a investigação, (HESTENES, 1997) argumenta que não é de se esperar uma correspondência perfeita, porque cada modelo é uma representação incompleta do sistema que está sendo estudado.

Na fase denominada como pós-laboratorial os alunos, em conjunto, apresentam e justificam suas conclusões de forma oral sobre o que escreveram nos quadros brancos (JACKSON; DUKERICH; HESTENES, 2008). Como recurso didático para o registro dos modelos conceituais remotamente, cada grupo terá acesso ao *whiteboard* virtual. Nessa fase, afirma Hestenes, é importante criar um ambiente ideal para que os alunos se sintam instigados a participarem e

debaterem sobre o tema em questão. Neste momento do ciclo, o professor tem a tarefa de orientar as discussões dos alunos com o objetivo de inserir justificativas em teorias e leis físicas, para que os mesmos possam associar a seus modelos em meio às explicações, justificativas e previsões.

Após a conclusão do primeiro estágio, inicia-se o segundo quando se realiza a aplicação dos modelos anteriormente construídos, em novas situações-problemas, com o objetivo de alcançar a aprendizagem. Esses problemas são importantes do ponto de vista pedagógico pois aprofundam as compreensões e ramificam o conhecimento nos modelos conceituais.

Para que a execução desses ciclos de modelagem, como metodologia do ensino de Física seja efetiva, o professor deve possuir boas habilidades de gestão, um bom planejamento, saber manusear ferramentas tecnológicas, além de demonstrar clareza nos seus objetivos. Deste modo, irá proporcionar um ambiente propício para que os alunos exponham seus argumentos.

Na perspectiva de Souza e Santo (2017), o professor apto para realizar uma aplicação dos ciclos, de maneira significativa, deve ter propriedade sobre o discurso de modelagem. Os autores destacam que o objetivo deste é promover discussões argumentativas em sala de aula. Diante das pesquisas feitas na literatura é possível encontrar dois tipos básicos de gestão desses discursos:

O primeiro é o baseado na dialética de Sócrates, que é direcionado a pequenos grupos ou a uma sala como um todo, por meio de problematizações ou questionamentos feitas pelo professor. O objetivo desses será incentivar o pensamento dos estudantes, e além de estimular a relação entre os estudantes, o professor também é integrante do processo.

O segundo idealizado por (DESBIEN, 2002), que diferentemente da socrática, promove um discurso entre os próprios estudantes. Aqui os questionamentos devem surgir dos próprios grupos, não isentando entretanto a participação do professor. Ele pode atuar indiretamente, introduzindo ideias ou temas geradores que possam ser transformados em questionamentos posteriores.

Diante de toda estruturação que caracteriza os episódios de modelagem, e com o objetivo de potencializar a sua aplicação no ensino remoto, a seção seguinte traz a importância do uso da tecnologia para a continuação do processo de ensino.

2.1.4 As tecnologias no ensino

Com o objetivo de tornar o ambiente virtual propício para a aprendizagem, é importante fazer uso de ferramentas educacionais que simulem um contexto experimental, ou até mesmo softwares que permitam aos alunos realizarem análises de uma situação real, permitindo assim uma experiência mesmo que virtual com o objeto de estudo. Podemos citar como exemplo o

aplicativo de simulações *PhET -Interactive Simulations*¹ que é uma ferramenta de livre acesso na web e que permite aos professores e aos próprios estudantes manipularem a simulação desejada, além de sites de simulações gratuitos facilmente encontrados na web.

Para potencializar a utilização do computador e *smartphone* para a aplicação da proposta que trata esse trabalho, duas ferramentas são oferecidas como recurso para a obtenção de dados para a resolução do problema em questão e representação do modelo físico recém-construído. Essas ferramentas são o software *Tracker* e o *Whiteboard.chat*, que serão detalhadas a seguir.

2.1.4.1 O software *Tracker*

Com as constantes transformações e adaptações para construção de uma base de ensino de física mais eficaz, o *Tracker*² tem o objetivo de se tornar uma ferramenta destinada a professores e a alunos, de maneira que os possibilitem modos diferentes de descrever, explicar, prever e entender fenômenos físicos. Assim, para sua utilização em ambiente escolar necessitamos apenas de um computador e um instrumento para captação das imagens, tal como celular, filmadora, ou máquina digital.

Desenvolvido pela *Open Source Physics*, o software é gratuito, de código aberto, portanto pode ser modificado pelo usuário. Com o objetivo de ser aplicado no ensino de física, o software foi construído na plataforma Java, e está disponível para os sistemas operacionais Windows, Mac OSX e Linux podendo ser obtido facilmente na web (*Tracker*).

As análises feitas por esse aplicativo podem ser obtidas de duas maneiras: Partindo de vídeos que já o acompanham ou utilizando vídeos gravados a escolha do usuário, sendo esta segunda maneira a escolhida para execução desta pesquisa.

Os comandos são relativamente simples e intuitivos, necessitando apenas da movimentação do mouse do computador, de modo que os dados referentes às grandezas estudadas são apresentados em tempo real, facilitando a compreensão do fenômeno em estudo.

Do ponto de vista computacional, esse aplicativo exige pouco da máquina, ou seja, não é necessário o uso de computadores com configurações de alto desempenho, em geral qualquer computador com configuração doméstica padrão é capaz de executar qualquer análise feita a partir do *Tracker*, desde que esteja instalada sempre a versão mais atual da plataforma Java e que por sua vez encontrem-se, também, disponíveis gratuitamente para download na web.

Por se tratar de uma ferramenta de fácil manuseio, o software permite aos usuários uma exploração bem aprofundada do que se quer analisar, incluindo como seus recursos, o

¹ PHET <https://phet.colorado.edu/pt_BR/>, acessado em 20/07/2021

² Informações como baixar e utilizar acesse <<https://physlets.org/tracker/>>

rastreamento de objetos com sobreposições e gráficos de posição, velocidade e aceleração, filtros de efeitos especiais, vários quadros de referência, pontos de calibração e perfis de linha para análise de padrões de espectro e interferência. Em resumo, o software cumpre várias funções dentro do processo experimental, com a vantagem de ser gratuito e por ser um diferencial as aulas de física com experimentos didáticos.

Por ser de livre acesso e de fácil instalação em computadores, o software tracker é aplicado nesse trabalho como recurso dentro das etapas que compõem o ciclo de modelagem, devido ao potencial de análise e interpretação de movimentos, objetivando um melhor aproveitamento por parte dos estudantes, para a construção do modelo físico que será apresentado na última etapa do primeiro estágio do ciclo.

2.1.4.2 Quadro Branco - *Whiteboard.chat*

Atualmente estamos vivendo o que muitos chamam da era da informação ou era digital, onde cada vez mais, a tecnologia está ganhando espaço em todo o mundo e fazendo parte da vida das pessoas. Uma prova disso é o momento que estamos vivenciando com as aulas remotas, já que o computador e o *smartphone* passaram a ser os instrumentos de trabalho dos professores, objetivando a continuação do processo de ensino.

Dessa maneira, para a aplicação da proposta, o aplicativo *Whiteboard.chat*³ se torna um recurso necessário para a interação e compartilhamento de ideias entre os integrantes. O aplicativo é de livre acesso, e foi desenvolvido com o objetivo de buscar colaboração em ambientes de reuniões, permitindo a participação de até 100 usuários ao mesmo tempo, que interagem com a lousa digital, por meio do mouse, dedo, ou lápis para telas. O acesso a essa ferramenta é bem simples por meio da web, podendo acessar pelo computador, *tablet*, e *smartphone* de qualquer lugar que esteja sendo necessário apenas acesso a internet.

O *whiteboard.chat* se torna uma ferramenta útil para aquele professor que tem o objetivo de ter uma maior interatividade em sua aula, por que o aplicativo permite compartilhar telas e criar grupos de participantes que podem expor seus conteúdos para todos os integrantes da reunião. Esse compartilhamento da tela virtual acontece por meio do código QR ou por meio de link enviado para a sala virtual ou e-mail de cada participante da reunião.

Assim, para o desenvolvimento do estágio 1 do ciclo de modelagem proposto no presente trabalho, o aplicativo é uma ferramenta necessária para que os estudantes exponham seus argumentos e modelo físico para todo o grupo em um ambiente virtual, permitindo assim um

³ <<https://www.whiteboard.chat/>>, acessado em 21/0/2021

bom desenvolvimento da modelagem, além de criar uma interatividade nas aulas.

2.1.5 O Sistema Blocomola

O sistema que será tratado neste trabalho é o massa mola ou blocomola, utilizando um termo menos genérico. Este consiste de um bloco de massa, m , preso a extremidade de uma mola. A outra extremidade dessa é presa a um suporte fixo. Na situação em que a mola não está nem distendida, nem comprimida, o sistema é dito estar na *posição de equilíbrio*, denominaremos por O . Se o bloco é deslocado desta posição, pelo alongamento ou compressão da mola, até uma posição que denominaremos agora por $+A$ e depois é solto, o mesmo, devido a ação da mola tende a voltar a sua posição original, O . Entretanto devido a inércia ela passa dessa posição e continua seu movimento, agora do lado oposto a posição de equilíbrio, até que devido a ação da mola, ele para, na posição $-A$ e se move novamente em direção a O , passando por ela e chegando a $+A$, mais uma vez. A partir daí tudo se repete e o movimento é dito periódico ou cíclico.

O movimento oscilatório é encontrado em todos os campos da física e no nosso cotidiano, como por exemplo: nos amortecedores de um automóvel, no batimento do coração, na vibração de um pistão de um motor a combustão, na corrente elétrica que alimenta um equipamento, ou em uma corda de violão quando posta a vibrar e dentre outros.

A seguir estudaremos um oscilador real por meio de experimento e sua análise por meio o software Tracker.

2.1.5.1 Análise de um oscilador real

Nesta seção será feita a análise de um sistema blocomola vertical no ar, utilizando uma chumbada de pesca (bloco), com massa igual a $m = 49\text{ g}$, presa a uma mola (figura 3). Deslocando o bloco de sua posição de equilíbrio e soltando-o, o mesmo inicia um movimento oscilatório.

Para análise do movimento do sistema bloco mola, este deve ser registrado por meio da filmagem com uma câmera digital/celular de forma que poderá ser posteriormente analisado por meio do Tracker. O objetivo é estudar a posição vertical, y , do bloco em função do tempo, t . Um exemplo desses registros pode ser observado na figura 4. Para uma melhor análise pode-se exportar os pontos para um software apropriado de análise gráfica, como por exemplo o SciDAVis⁴. Um novo gráfico feito com este software é apresentado na figura 5. Também é

⁴ SciDAVis é uma aplicação livre para Análise e Visualização de Dados Científicos. Sua sigla é o acrônimo de

Figura 3 – Kit montado para experimento de oscilação de um sistema blocomola.

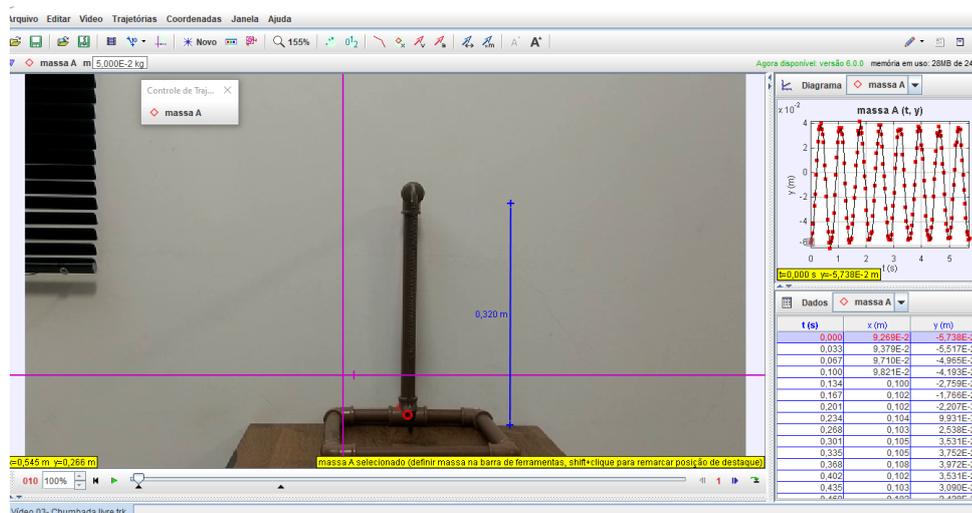


Fonte: Autoria própria.

possível copiar os dados da tabela e utilizar uma planilha eletrônica para a análise.

Uma imagem da tela do software *Tracker* é apresentada na figura 4. Nela pode-se observar a janela principal onde fica o vídeo feito para análise. À direita, na parte superior, um gráfico feito a partir dos pontos extraídos do vídeo. Estes pontos correspondem a posição vertical da chumbada em intervalos de tempo iguais. São portanto pontos experimentais correspondendo a situação real. A partir destes pode ser feita uma análise do deslocamento vertical e horizontal do movimento em função do tempo.

Figura 4 – Exemplo de análise de dados através do Tracker.

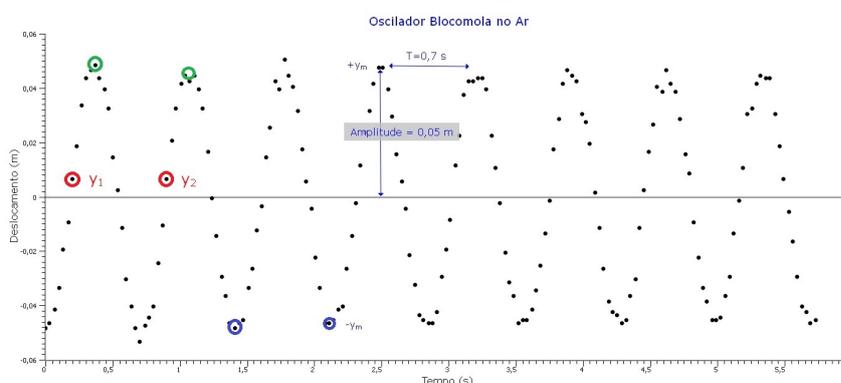


Fonte: Autoria própria.

“Scientific Data Analysis and Visualization”. Pode ser baixado gratuitamente do site <<http://scidavis.sourceforge.net/>>, acessado em 07/07/2021

Analisando o gráfico da figura 5, é possível observar que o bloco passa por uma mesma posição vertical, y , várias vezes no decorrer do movimento. Como já descrito anteriormente, entende-se este tipo de movimento como: periódico ou cíclico. Quando o bloco passa por uma determinada posição duas vezes seguidas, no mesmo sentido de movimento, dizemos que completou um *ciclo*. Esta ideia fica mais clara pela observação dos dois pontos destacados em vermelho no gráfico da figura 5. O primeiro ponto, mais à esquerda representado por y_1 , corresponde a posição vertical do bloco, $y \approx 0,008 \text{ m}$, que está se movendo para cima. A próxima posição correspondente, é marcada com o segundo ponto vermelho, à direita representado por y_2 . Dizemos então que o bloco completou um ciclo quando parte da posição do primeiro ponto vermelho e volta a mesma posição, um tempo depois, marcado pelo segundo ponto vermelho. O intervalo de tempo que o bloco gasta para completar este movimento, isto é, para completar um ciclo, recebe a denominação de *período* e é representado por T . No sistema internacional de unidades, SI, a unidade de período é o segundo, (s). No gráfico este tempo é medido pela distância horizontal entre os dois pontos, que no caso vale: $T \approx 0,8 \text{ s}$. Portanto um movimento cíclico é aquele que repete vários ciclos e o periódico o que se repete em períodos de tempo definidos.

Figura 5 – Gráfico do deslocamento vertical do oscilador livre - ar. Traçado com SciDAVis



Fonte: Autoria própria.

Também pela observação do gráfico 5, vê-se que o bloco estará em uma mesma posição - mesma coordenada - y várias vezes com o passar do tempo. Contando quantas vezes ele passa por esta posição em um determinado intervalo de tempo, define-se uma nova grandeza física: *frequência*. Isto é, o número de oscilações ou ciclos por unidade de tempo. Se o intervalo de tempo for igual a um segundo, a unidade de frequência recebe a denominação de Hertz. A frequência é também expressa como o inverso do período. Matematicamente essas relações são expressas por:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

$$f = \frac{1 \text{ osc}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ Hz}$$

No caso do experimento aqui proposto, um corpo de massa 49 g (chumbada) preso a mola e posta a oscilar a frequência é:

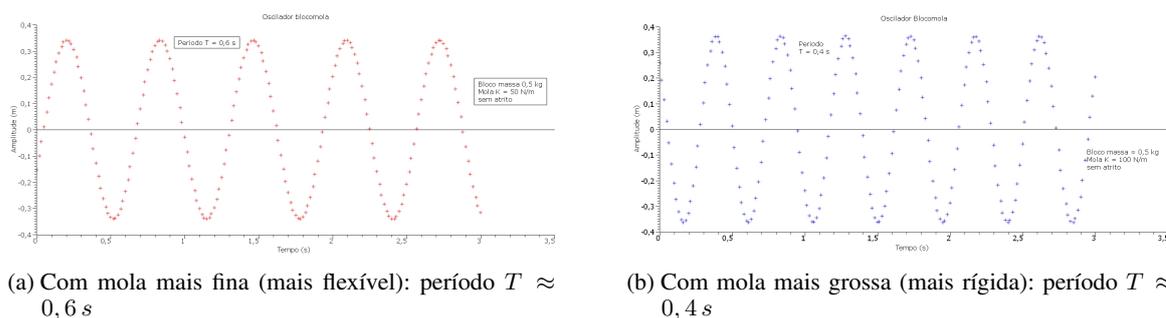
$$f = \frac{1}{0,8 \text{ s}} \approx 1,26 \text{ Hz}.$$

Pode-se observar que o bloco sobe e desce entre duas posições limites. No gráfico da figura 5, essas são facilmente percebidas pelos picos das ondas, ponto destacados em verde para os dois primeiros máximos positivos, e em azul para os dois máximos negativos. A distância entre a posição de equilíbrio do bloco e uma dessas duas posições de máximo denomina-se *amplitude do movimento* ou simplesmente *amplitude*, que pode ser representada por A ou y_m . No experimento as amplitudes máximas foram medidas e possuíam valores aproximados de: $y_m = \pm 0,05 \text{ m}$. Na figura a amplitude do quarto pico positivo foi marcada com uma linha vertical. Como se trata de uma análise experimental, pode-se dizer que a amplitude média foi de aproximadamente $0,05 \text{ m}$ ou 5 cm . No gráfico observa-se também que com o passar do tempo a amplitude vai diminuindo, o que será explicado mais adiante neste trabalho.

Outra análise que pode ser realizar é observar o comportamento do oscilador quando se altera um determinado fator. Por exemplo, o que ocorre quando se utiliza molas com diferentes propriedades mecânicas (como por exemplo: construídas com materiais, espessura do arame e/ou diâmetros de suas espiras diferentes). Uma das observações possíveis é como uma mola reage, qual a deformação sofrida (compressão ou alongação), quando submetida à diferentes forças. Ainda outro estudo pode ser feito aplicando-se a mesma força à diferentes molas.

Quando utilizadas em sistemas osciladores blocomola verticais, como os aqui analisados, diferentes molas acopladas a blocos de mesma massa, irão oscilar de forma diferente. Na figura 6 foram representados gráficos da amplitude em função do tempo para este caso. Em ambos os gráficos foram cobertos intervalos de tempo iguais a: $\Delta t = 3,0 \text{ s}$. No gráfico 6a vê-se a forma de onda da oscilação para a mola mais fina, mais flexível, enquanto em 6b para uma mola mais grossa e portanto mais rígida. Medindo o tempo de oscilação de cada sistema foi obtido os períodos $T_{mf} = 0,6 \text{ s}$, para mola fina e $T_{mg} = 0,4 \text{ s}$, para mola grossa. Dessa forma foi concluído que o período e conseqüentemente a frequência de oscilação dependem dessa propriedade da mola. Denomina-se, de forma geral, uma das propriedades das molas por *constante elástica*, representada pela letra minúscula, k , cuja unidade no SI é N/m .

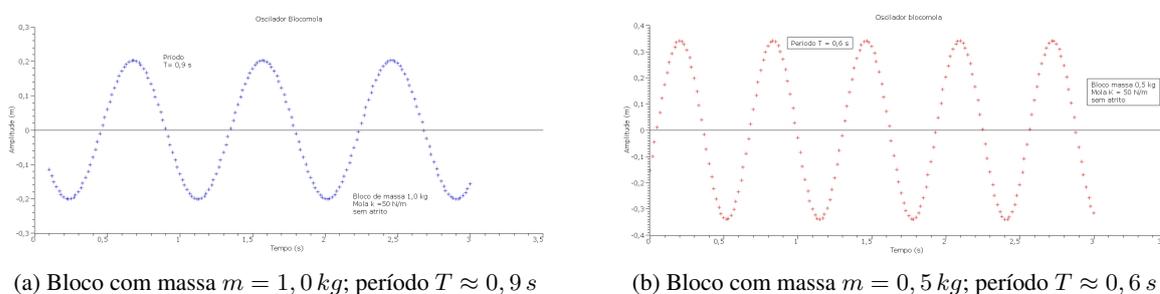
Figura 6 – Comparação do período de oscilação para sistemas com duas molas diferentes.



Fonte: Autoria própria.

De forma semelhante, mas mantendo as características da mola e alterando a massa do bloco, observa-se que o período de oscilação do sistema aumenta com o aumento da massa e portanto sua frequência diminui. Este comportamento pode ser explicado com argumentação simples: como a massa é maior e portanto o peso do bloco, este possuirá uma maior inércia, desta forma como a mola não foi alterada, a força que a mesma exerce sobre o bloco continua sendo a mesma de forma que a aceleração será menor, a cada instante, visto que a força é proporcional ao deslocamento. A variação do período de oscilação para dois blocos com massas diferentes pode ser observado nos gráficos da figura 7.

Figura 7 – Comparação do período de oscilação para sistemas com duas molas diferentes.



Fonte: Autoria própria.

2.1.6 Funções representativas do movimento

Agora com uma visão completa do gráfico que descreve a variação da posição do bloco com o passar do tempo, observa-se que possui a forma semelhante a funções que estamos acostumados a trabalhar na escola: funções *seno* e *coseno*. Aliado a isso, vê-se que a amplitude é limitada pelos valores de y_m . Como as funções trigonométricas, que também são limitadas, ou seja, possuem imagem entre os valores $[-1, 1]$.

Portanto pode-se representar a posição vertical do bloco por uma expressão matemática:

$$y(t) = y_m \text{sen}(\theta)$$

ou

$$y(t) = y_m \text{cos}(\theta) \tag{2}$$

Quando $\text{sen}(\theta) = \pm 1$ a posição do bloco $y(t) = \pm y_m$, que representa o comportamento observado para o bloco oscilante. Entretanto a posição varia com o tempo, logo o argumento das funções trigonométricas devem ser função deste também. Este aspecto será abordado mais adiante neste trabalho.

Podemos resumir o que determinamos até agora, por meio de nossas observações:

- O movimento do bloco é periódico, com período $T \approx 0,8 \text{ s}$;
- Possui uma amplitude máxima igual a $y_m \approx 0,05 \text{ m}$ ou $y_m \approx 5 \text{ cm}$;
- Frequência $f = 1,26 \text{ Hz}$;
- O período de oscilação depende da massa do bloco e da constante elástica da mola.
- A expressão que descreve a posição do bloco em função do tempo é $y(t) = y_m \text{sen}(\theta)$ ou ainda $y(t) = y_m \text{cos}(\theta)$

2.1.7 Frequência Angular

Chega-se a conclusão de que a posição vertical do bloco se comporta como uma função trigonométrica. Entretanto o argumento das funções seno e cosseno são adimensionais. Enquanto para o sistema oscilatório o tempo está presente. Como inserir então o tempo nas equações?

Antes da resposta será feita uma pequena abordagem sobre as funções trigonométricas; seno, cosseno e tangente. As definições destas podem ser feitas algebricamente ou geometricamente. Por meio da figura 8, serão abordadas as duas formas. A primeira define as funções a partir das relações entre os lados de um triângulo retângulo, enquanto a segunda utiliza um círculo de raio unitário, podendo ser denominado *círculo trigonométrico*.

Com o auxílio da figura 8, as definições das funções trigonométricas, por meio de relações algébricas são escritas, tomando como referência o ângulo θ , da seguinte forma:

- Hipotenusa

$$R = \sqrt{x^2 + y^2} \tag{3}$$

- Seno

$$\text{sen}(\theta) = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{hipotenusa}} = \frac{y}{R} \quad (4)$$

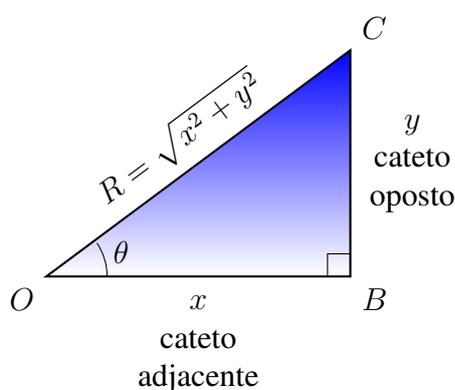
- Cosseno

$$\text{cos}(\theta) = \frac{\text{cateto adjacente}}{\text{hipotenusa}} = \frac{x}{R} \quad (5)$$

- Tangente

$$\text{tan}(\theta) \text{ ou } \text{tg}(\theta) = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} = \frac{\text{seno}(\theta)}{\text{cosseno}(\theta)} = \frac{y}{x} \quad (6)$$

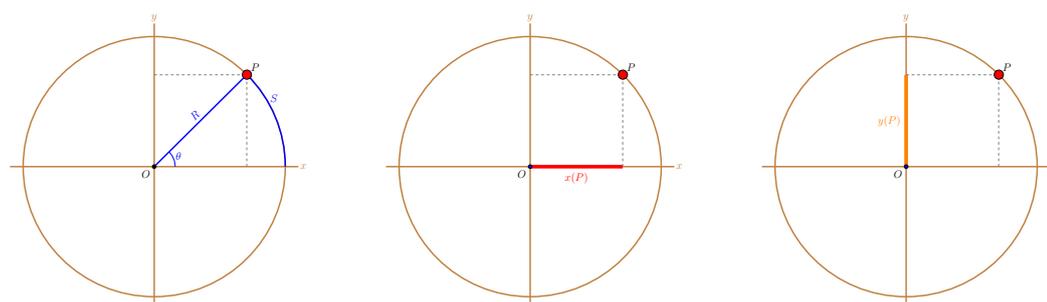
Figura 8 – Representação das relações trigonométricas em triângulo retângulo.



Fonte: Autoria própria.

Por outro lado, as mesmas funções podem ser escritas a partir do círculo trigonométrico, como já mencionado. Este consiste de um círculo com centro na origem de um par de eixos cartesianos. Considerando um ponto, P , localizado sobre a circunferência defini-se o *arco de circunferência*, S , representado por $S = R\theta$, como sendo a distância, sobre circunferência, do ponto P ao eixo horizontal. Na expressão anterior, θ é o ângulo formado por um raio que parte da origem do sistema de coordenadas e vai até o ponto, no sentido anti-horário, como pode ser visto na figura (figura 9). O ponto P pode ser “endereçado” por meio de coordenadas associadas aos eixos cartesianos, isto é, *eixo x* e *eixo y*. A coordenada x do ponto está representada pela linha horizontal vermelha na figura (9b) enquanto a Y em laranja na figura (9c). Dessa forma, o ponto possui coordenadas representadas pelo par de números (x, y) .

Figura 9 – Endereçando um ponto sobre uma circunferência em coordenadas cartesianas.



(a) Ponto P localizado sobre uma circunferência de raio R . A distância de P ao eixo x , na direção anti-horária, forma um arco de circunferência $S = R\theta$.

(b) Coordenada x do ponto P .

(c) Coordenada y do ponto p .

Fonte: Autoria própria.

O ponto pode também ser endereçado por coordenadas polares. Nesse sistema o ponto é localizado por um vetor de raio R , (cujo início é localizado na origem do sistema cartesiano e final no ponto), e por um ângulo, θ formado, no sentido anti-horário, entre vetor e o eixo de referência, que geralmente é o eixo $+x$. Nessa representação o ponto P é localizado pelo par de coordenadas (R, θ) , como pode ser visto na figura (10a). Para comparação das duas formas de definir as relações trigonométricas na figura (10b) está representado o triângulo retângulo no primeiro quadrante da circunferência.

Agora pode-se partir para as definições das funções trigonométricas:

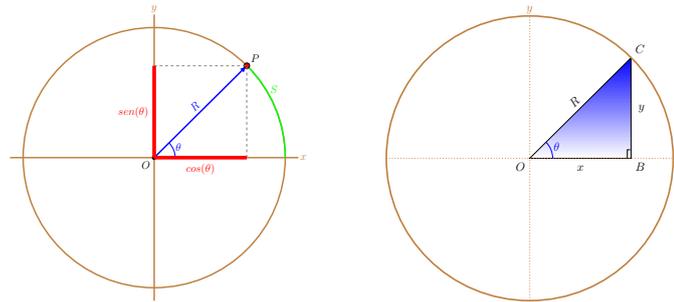
- *Arco de circunferência* S - é a distância, sobre a circunferência, entre o eixo x e o ponto P . Definido pelo produto do valor do raio pelo ângulo (figura 9a).

$$S = R\theta \quad (7)$$

- *Cosseno* - é a projeção do raio vetor \vec{R} sobre o eixo horizontal, x (figura 10a).
- *Seno* - é a projeção do vetor \vec{R} sobre o eixo vertical, y (figura 10a).

É importante ressaltar que os ângulos nestas relações são medidos em *radianos*. Um radiano é definido como a magnitude do ângulo θ , quando o comprimento do arco S é igual ao raio do círculo R .

Figura 10 – Endereçando um ponto p sobre uma circunferência em coordenadas polares.



(a) Ponto P em coordenadas polares (R, θ) e representação do arco de circunferência $S = R\omega$

(b) Triângulo retângulo representado no primeiro quadrante em um círculo trigonométrico de raio unitário.

Fonte: Autoria própria.

2.1.7.1 Velocidade angular

Por meio das definições apresentadas anteriormente, pode-se fazer um exercício mental. Suponha que o ponto P se move, ao longo da circunferência do círculo, com uma velocidade constante. Pode-se concluir que o ponto executa um movimento periódico, pois ao completar uma volta, recomeça tudo novamente. Em uma volta completa o ponto se desloca uma distância $D = 2\pi R$, em um intervalo de tempo T , que é o período do movimento. Logo a velocidade de P será:

$$\text{velocidade} = \frac{\text{circunferência}}{\text{período}} = \frac{2\pi R}{T}$$

Para uma trajetória de raio fixo, como a apresentada nas figura 9 ou 10, observa-se que o ângulo θ varia a medida que o ponto se desloca sobre a trajetória circular. Portanto θ varia em função do tempo, $\theta(t)$. Para uma volta completa o ponto se desloca entre os valores 0 e 2π correspondendo a $\Delta\theta = 2\pi$ e seu deslocamento será $D = S = \Delta\theta R$. A velocidade do ponto pode ser escrita como:

$$\omega = \frac{S}{T} = \frac{\Delta\theta}{T} \quad (8)$$

onde ω é denominada *velocidade angular*.

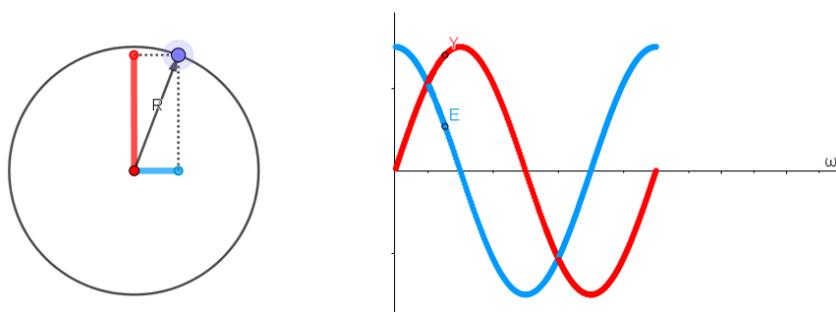
Pode-se estender o raciocínio para o caso do ponto se deslocar por um ângulo qualquer, θ , gastando um tempo t , e desta forma chega-se a relação que procurada:

$$\theta = \omega t \quad (9)$$

Pode-se ainda fazer uma relação entre o movimento circular do ponto com as funções seno e cosseno por meio gráfico.

A medida que o ponto gira, o ângulo θ varia também, e portanto as projeções do raio vetor sobre os eixos cartesianos, x e y , variam entre os valores -1 e $+1$. Traçando estas projeções em função do tempo, tem-se os gráficos apresentados na figura 11.

Figura 11 – Gráficos das projeções do raio vetor sobre os eixos das abscissas e da ordenadas, em função do tempo para um ponto que se move sobre a circunferência de um círculo de raio R . Respectivamente as função cosseno e seno.



Fonte: Autoria própria.

Os gráficos que aparecem no lado esquerdo da figura são: em vermelho a projeção do raio vetor R ao longo do eixo y enquanto o em azul a projeção sobre o eixo X . Respectivamente representam a função $\text{sen}(\theta)$ e $\text{cos}(\theta)$, quando o argumento destas funções - o ângulo - varia com o tempo. Comparando esta última figura com os gráficos obtidos experimentalmente com o sistema blocomola (figura 5), observa-se que possuem o mesmo comportamento. Ou seja, a posição vertical do bloco se comporta de forma semelhante a projeção, ao longo dos eixos horizontal ou vertical, de um ponto que se move ao longo da circunferência de um círculo de raio R .

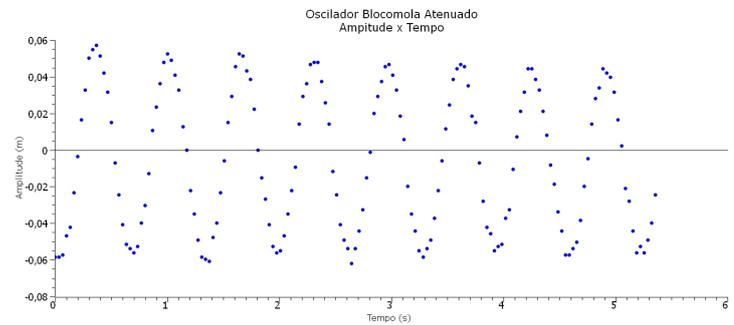
2.1.8 Amplitude Diminui com o Tempo

Foi mencionado anteriormente, através da observação do gráfico posição versus o tempo, para a oscilação do blocomola oscilando no ar, que a amplitude diminui com o passar do tempo. Pode-se associar este comportamento a interação do bloco com o ar ao seu redor. Isto é, ao atrito entre o bloco e o ar. Para verificar esta hipótese vamos realizar outros experimentos. Utilizando o mesmo sistema blocomola, mas para testar se a resistência do ar provoca a diminuição da amplitude do movimento seu afeito será ampliado, aumentando a área de contato com o ar do bloco. Isto foi feito adicionando-se um recorte de papelão em volta do bloco, conforme apresentado na figura 12a. Pela análise do gráfico, figura 12b, observa-se que a amplitude da oscilação apresenta uma redução bem mais acentuada que no caso da oscilação da chumbada sem o papelão.

Figura 12 – Sistema blocomola com atenuação.



(a) Aparato experimental: oscilador bloco mola com aumento da área de resistência com o ar.



(b) Gráfico da amplitude versus tempo para um oscilador blocomola atenuado.

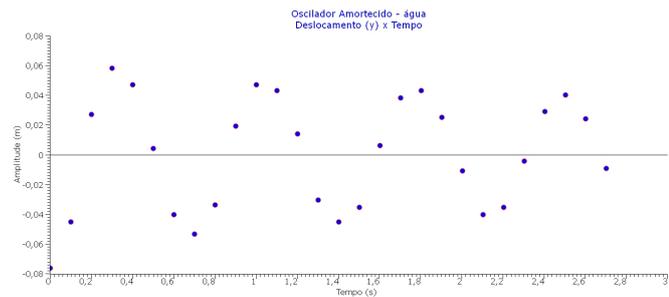
Fonte: Autoria própria.

Uma segunda análise foi realizada aumentando ainda mais o efeito da atenuação devido ao atrito, o sistema foi colocado a oscilar com o bloco imerso em água. O detalhe do aparato experimental pode ser visto na figura 13a enquanto em 13b um gráfico da amplitude em função do tempo utilizando o SciDAVis.

Figura 13 – Oscilador Blocomola com atenuação forte, na água.



(a) Aparato experimental do oscilador blocomola imerso em água para intensificar o amortecimento.



(b) Amplitude versus tempo para um sistema blocomola oscilando na água, para ampliar o efeito de amortecimento devido ao atrito.

Fonte: Autoria própria.

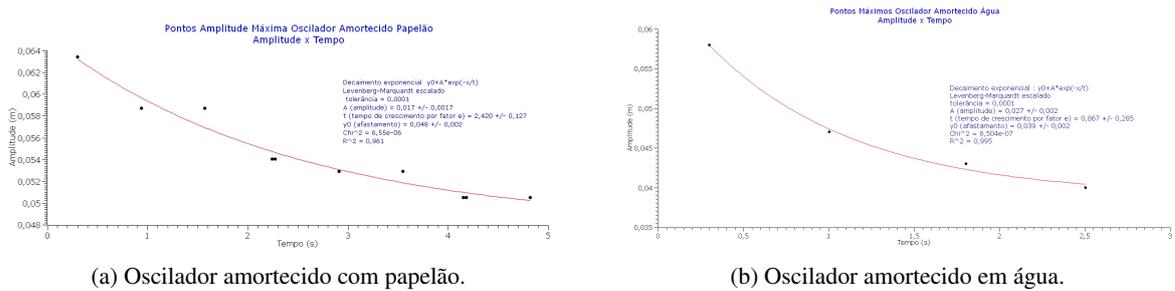
Observa-se nos gráficos apresentados nas figuras 12 e 13 que a amplitude de oscilação decai com o passar do tempo. Também é visível que a amplitude do oscilador amortecido na água decai muito mais acentuadamente. Para analisar este decaimento foram desenhados dois gráficos, plotando somente os pontos de amplitude máximas positivas, para os dois casos de amortecimento, figuras 14. Observa-se nas curvas traçadas que estas apresentam um decaimento exponencial. Podendo portanto ser expresso por uma equação matemática:

$$y(t) = y_m \exp(-\gamma/t) \quad (10)$$

onde γ é denominado *fator de amortecimento*. Como observado através dos experimentos ele deve depender do meio em que o corpo está oscilando, e da velocidade do corpo.

Logo o fator de amortecimento γ para este caso é maior que para o primeiro.

Figura 14 – Gráficos dos pontos de amplitude máxima dos osciladores amortecidos.



Fonte: Autoria própria.

Através destas análises pode-se escrever uma expressão matemática que descreva o comportamento de um oscilador blocomola, levando em consideração este fator e amortecimento, revisando:

- A amplitude de um oscilador blocomola em função do tempo é descrita por:

$$y(t) = y_m \text{sen}(\theta)$$

- O argumento da função trigonométrica pode ser escrita por $\theta = \omega t$
- A amplitude máxima decai com o tempo de forma exponencial

$$y_m(t) = y_m \exp(-\gamma/t)$$

- A frequência da oscilação ω depende da constante elástica da mola, k e da massa do bloco, m , sem provar vamos escrever esta dependência como:

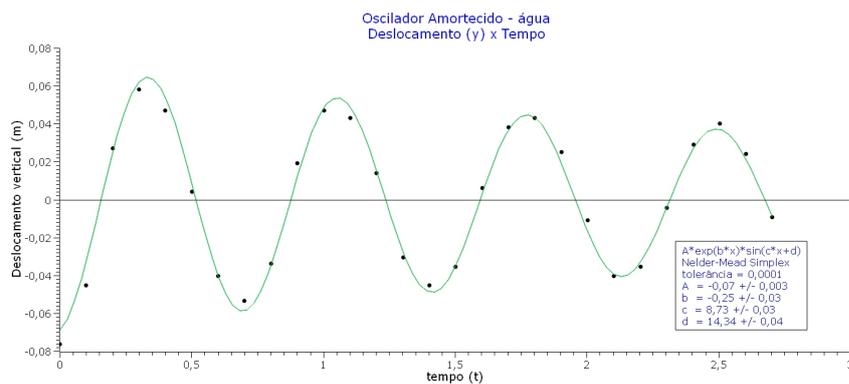
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (11)$$

Agora reunindo estas informações chegamos a expressão:

$$y(t) = y_m \exp(-\gamma t) \text{sen}(\omega t) \quad (12)$$

O comportamento pode ser verificado pelo ajuste de uma curva teórica, expressa pela equação 12, aos pontos experimentais do experimento com o oscilador blocomola amortecido pela água. Este ajuste foi realizado pelo software SciDAVis utilizando a expressão $y(t) = A \exp(-bx) \text{sen}(cx+d)$, onde os parâmetros, aqui representados sem unidades, foram: a variável x é o tempo ($x = t$), a amplitude ($A = -0,07 \pm 0,003$), o fator de decaimento exponencial ($b = 0,25 \pm 0,03$), a frequência angular ($c = 8,73 \pm 0,03$) e a constante de fase ($d = 14,34 \pm 0,04$). Este ajuste pode ser visto na figura 15

Figura 15 – Gráfico da amplitude versus tempo para o oscilador amortecido em água. Em verde a curva que melhor se ajustou aos pontos experimentais.



Fonte: Autoria própria.

Estudos e experimentos posteriores podem ser feitos ainda para a determinação de como a frequência angular varia com os parâmetros k e m , da forma mostrada na equação 11 e também quais fatores são responsáveis pela constante de amortecimento γ .

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho foi desenvolvido através de uma adaptação dos ciclos de modelagem com a integração de recursos tecnológicos como uma alternativa para as aulas remotas no ensino de sistemas massa mola. Nesta seção apresentaremos a elaboração da proposta de ensino, o desenvolvimento de cada encontro, e os recursos utilizados.

3.1 A ELABORAÇÃO DA PROPOSTA

A Proposta de intervenção foi elaborada no formato de uma sequência didática, utilizando uma abordagem investigativa no estudo de sistemas massa mola, que foi adaptada ao ensino remoto devido ao momento de pandemia vivenciado. A adaptação foi feita mediante recursos tecnológicos que auxiliaram no desenvolvimento dos encontros, promovendo maior interação entre os estudantes no ambiente virtual. A escolha do assunto foi motivada pelo fato de as oscilações estarem presentes no nosso cotidiano e por ter tido um contato com o uso da investigação no exercício da profissão.

Nessa perspectiva, a proposta de ensino deste trabalho teve por objetivo fazer uma adaptação dos ciclos de modelagem de David Hestenes, alterando alguns parâmetros, buscando uma melhor adequação para o ensino remoto. Dessa maneira, a aplicação foi estruturada em 5 encontros, com duração variando entre 45 e 90 minutos. Cada encontro teve sua finalidade de fazer com que os alunos interpretassem seus conhecimentos científicos, não aplicando somente o que já existe, mas construindo seus conhecimentos coletivamente, dando-o mais significado.

A intervenção foi desenvolvida na cidade de João Pessoa, na escola CNEC- Professor Felipe Tiago Gomes na turma do 1º ano do ensino médio. Uma turma extra foi criada no horário oposto das aulas regulares, com no máximo 12 alunos que serão divididos em grupos de no máximo 4 integrantes. A seleção dos alunos aconteceu de forma aleatória, objetivando alcançar todos os escolhidos independente das suas dificuldades na disciplina.

3.1.1 Desenvolvimento dos encontros

Por se tratar de uma metodologia nova para essa modalidade de ensino, os encontros devem ser planejados de maneira que os alunos possam participar de maneira mais ativa das atividades, compartilhando seus conhecimentos, e conduzindo seus próprios aprendizados.

3.1.1.1 Primeiro encontro

Este encontro possui um caráter informativo, com o objetivo de familiarizar os alunos com a nova metodologia de ensino, assim como apresentar os recursos a serem utilizados na investigação, como o uso do software Tracker, sua instalação e como proceder para realizar uma análise do vídeo. O outro recurso que foi apresentado e demonstrado é o whitboard.chat, ferramenta importante na fase de exposição dos modelos. Todas as informações foram repassadas aos estudantes por meio de slides compartilhados em aplicativos de vídeo conferência, para que todos pudessem ao mesmo tempo visualizar e entender como deveria prosseguir a intervenção. Durante este encontro o papel do professor foi muito importante pois teve o objetivo de fazer do aluno um agente ativo, despertando nele o interesse em descobrir, em investigar, em buscar o novo, e aprender.

Ao término de todas as explicações, o professor iniciou a organização e orientação da turma, com a divisão dos alunos em grupos, para que no decorrer das etapas seguintes toda a sala já estivesse estruturada para a atividade.

3.1.1.2 Segundo encontro

Este encontro teve o objetivo de implementar uma das etapas do ciclo de modelagem: *A discussão Inicial*.

Durante esta etapa o professor explicou sobre as oscilações, introduzindo termos básicos e demonstrações de situações com o objetivo de fornecer aos alunos condições de perceberem a aplicabilidade e a importância da utilização no cotidiano. Neste encontro novamente foi importante trazer os alunos para o debate, criando condições para uma investigação mais sólida e criação de argumentos mais consistentes, com respeito ao tema estudado.

3.1.1.3 Terceiro encontro

Teve o objetivo de implementar a segunda etapa do primeiro estágio do ciclo de modelagem: *A investigação*.

Essa etapa foi denominada de *investigação virtual*, por se tratar de uma atividade investigativa com aplicação no ensino remoto. Nessa etapa foi apresentado pelo professor o problema que seria investigado por meio de uma pergunta, que foi acompanhada de uma demonstração experimental manipulada em tempo real. O aparato experimental utilizado é composto de componentes que podiam ser alterados para que os estudantes pudessem, a partir de suas curiosidades,

dar instruções para que o professor o manipule e a partir das observações feitas cheguem a conclusões que permitam a resolução do problema proposto inicialmente.

3.1.1.4 Quarto encontro

Esse é o encontro que consiste a culminância das investigações. Serão enviados para cada grupo o link do whiteboard virtual, para que os mesmos compartilhem e exponham suas conclusões com os demais grupos. É nesse momento que o professor pode corrigir possíveis equívocos, mas sempre promovendo um ambiente de debates, deixando os alunos ativos no processo, resultando na construção de conceitos consolidados, e que a partir desse momento os alunos compreendam as aproximações que são feitas no modelo real para a consolidação do modelo conceitual.

3.1.1.5 Quinto encontro

Trata-se da fase de implementação do modelo. O professor disponibiliza para os alunos uma atividade composta de problemas, que deverão ser respondidos por eles, com base na elaboração do modelo na etapa anterior. Não se trata de uma lista de exercício, mas apenas de problemas que façam os alunos interpretar e aplicarem o que realmente aprenderam na fase de investigação, de forma a validar o modelo recém construído.

3.1.2 Recursos utilizados

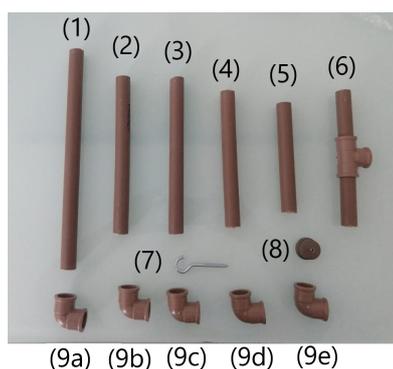
Nessa seção descrevemos os recursos utilizados para complementar os ciclos de modelagem.

3.1.2.1 O kit experimental

O aparato experimental utilizado para a demonstração consiste em um sistema do tipo massa mola, composto de molas de materiais distintos, como também corpos com geometrias e massas diferentes, para o estudo e análise das oscilações. O experimento tem o objetivo de fazer com que os estudantes encontrem explicações para resolver o problema apresentado, com base na observação do experimento. O diferencial está na manipulação do experimento que será feita pelo professor devido à adaptação da metodologia para o ensino remoto. A demonstração do experimento ocorre em duas situações, a primeira é o sistema oscilando no ar, e a segunda na água.

Com o objetivo de ser uma ferramenta acessível, para aqueles que têm o interesse de construir seu próprio experimento ele é composto de materiais que são facilmente encontrados, tornando assim um recurso de baixo custo para professores, a até mesmo alunos. A seguir temos as ilustrações (16) que representam os materiais utilizados para confeccionar a base do kit e os materiais utilizados nas oscilações.

Figura 16 – Suporte para o oscilador blocomola.



(a) Peças do material de baixo custo.



(b) Suporte montado.

Fonte: Autoria própria

Como podemos perceber a base do kit é composta basicamente de cano PVC de 20 *mm* de diâmetro e conexões. As dimensões utilizadas seguindo a ordem de numeração foram as seguintes:

- Peça 1: 30 *cm*;
- Peças 2 e 3: 20 *cm*;
- Peças 4 e 6: 18 *cm*;
- Peça 5: 15 *cm*;

O elemento 7 é um gancho com rosca, o 8 é um cap utilizado para vedar extremidade de tubulações e os itens 9, são todos, joelho de PVC, também utilizado para conectar tubulações.

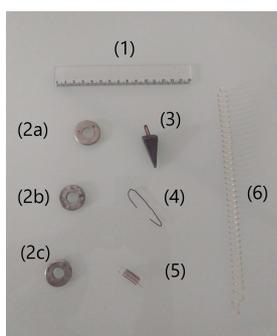
Com o objetivo de testar quais fatores podem influenciar no período de oscilação do pêndulo foram utilizados alguns acessórios, descritos a seguir e mostrados na figura 17. Com o objetivo de se variar a massa do corpo do oscilador, foram utilizadas uma chumbada de pesca de massa igual a $m = 49\text{ g}$ e também três arruelas com massa total igual a $m_a = 30\text{ g}$. Durante a realização do experimento os acessórios utilizados como corpos do oscilador tiveram suas massas medidas e mostrados aos alunos (figura 17c e 17d).

Mais duas etapas foram realizadas com o objetivo de estudar os efeitos do atrito, ou seja, do amortecimento da amplitude de oscilação devido a resistência do corpo oscilante com o meio ao seu redor. Em uma etapa foi colocado um disco de papelão preso a chumbada; no experimento seguinte a chumbada foi posta a oscilar dentro de um recipiente transparente contendo água, intensificando o amortecimento (figura 17b).

Para a execução dessa demonstração experimental a ordem das molas, e das massas será descrita pelos alunos por se tratar de uma atividade investigativa, com o objetivo principal de resolver o problema proposto. Todas as etapas de montagem e procedimentos estão disponíveis no (apêndice B).

- (1) Régua de 15 cm;
- (2) Arruelas (massa 1);
- (3) Chumbada usada em pescaria (massa 2) ;
- (4) Gancho;
- (5) Mola 1;
- (6) Mola 2;
- (7) Recipiente transparente para realizar as oscilações na água.

Figura 17 – Utensílios utilizados nos experimentos



(a) Acessórios, chumbada e arruelas utilizados como blocos nos osciladores.



(b) Recipiente transparente utilizado para a oscilação amortecida.



(c) Massa da chumbada.



(d) Massa das arruelas.

Fonte: Autoria própria.

3.1.2.2 Análise utilizando Tracker

Com o intuito de obter mais dados para a investigação, o software Tracker¹ entra como uma ferramenta de modelagem na segunda fase do ciclo. Sua potencialidade está nas análises dos vídeos quadro a quadro, permitindo obter variáveis e diagramas que representam o movimento desejado.

Para que seja desenvolvida uma boa análise e que os dados coletados tenham menor interferência possível de outras variáveis, os grupos receberão um link de acesso que contém sugestões e dicas de como baixar o software, realizar uma boa gravação e uma boa análise do movimento.

¹ Link de acesso aos procedimentos para utilizar o Tracker: Tracker Brasil (utfpr.edu.br)

4 RELATO DE APLICAÇÃO

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentado um relato sobre a aplicação da proposta que foi dividida em 5 encontros. Cada encontro foi planejado com o propósito de alcançar seu objetivo na aplicação da proposta. A proposta de trabalho teve início em um projeto piloto desenvolvido na modalidade presencial e foi adaptada para o ensino remoto, assim, cada procedimento e recursos apresentados foram previamente testados para evitar ao máximo problemas que viessem prejudicar a aplicação.

Como já mencionado anteriormente, pelo fato da aplicação ser em uma modalidade remota o tempo necessário para cada encontro pode ser mais flexível de acordo com os procedimentos exigidos em cada um deles. Os encontros contaram com a participação de apenas 5 integrantes que fazem parte da turma do 1º ano do ensino médio da escola Cenequista Professor Felipe Tiago Gomes, localizada na cidade de João Pessoa. Os encontros contaram com a participação de poucos alunos devido ao período de aplicação da proposta que foi no mês de dezembro (2020) e janeiro (2021), período este em que todos estavam entrando de férias depois de um ano letivo atípico. A escolha da turma foi feita devido ao conteúdo de oscilações ser um conteúdo visto apenas na série seguinte e com isso tudo seria novo para eles, permitindo verificar a potencialidade da proposta.

4.2 OS ENCONTROS

A seguir será apresentado um relato de como se deram e quais atividades foram realizadas durante os encontros.

4.2.1 Encontro 1: O que é o ciclo de modelagem?

Inicialmente foi relatado que a finalidade do encontro era de informar sobre as etapas que seguem a aplicação. Foi informado aos alunos sobre o conteúdo central da proposta: oscilações em sistemas massa mola. Esse encontro foi desenvolvido com máxima atenção em relação às orientações para desenvolvimento dos encontros seguintes, enfatizando a quantidade de encontros, os conteúdos que seriam tratados e a divisão dos alunos. Posteriormente foram apresentados os recursos a serem utilizados na etapa de investigação e exposição dos modelos. Foi informado que os integrantes seriam divididos em dois grupos, o primeiro contendo 3 integrantes e o segundo contendo 2.

Durante as orientações sobre os encontros foi enfatizado pelo professor a importância da participação na proposta, destacando que o querer aprender e o compromisso são palavras-chaves para um bom desenvolvimento na aplicação.

Quanto aos recursos, a demonstração do passo a passo em tempo real de como baixar o software Tracker, como instalar, e como efetuar a análise do movimento foi fundamental para que os alunos já fossem baixando e seguindo os passos juntamente com o professor. A análise teste foi realizada com um vídeo do próprio software, já que o mesmo dispõe de uma biblioteca de vídeos com livre acesso pelo usuário. A realização dos procedimentos ao vivo se tornou um diferencial, já que a proposta inicial era ter somente um tutorial de como baixar e instalar o software. Da mesma maneira que foi feita com o Tracker, foi feito com o whiteboard.chat, já que é uma ferramenta que só precisa de acesso na internet para ser manipulada.

Após todas as informações terem sido repassadas, os alunos foram orientados a testar e se familiarizar com o software. Foi sugerido que todos realizassem a análise, porém apenas três tinham computador disponível, o restante utilizavam apenas o celular. Diante dessa situação foi solicitado que durante as análises pelo menos um integrante realizasse a gravação dos procedimentos para a posterior análise e repasse aos demais do grupo. Também foi sugerido que cada grupo criasse um grupo de comunicação no WhatsApp para interagirem após cada encontro, permitindo, desta forma, a discussão das situações propostas em cada um deles.

4.2.2 Encontro 2: As oscilações estão presentes em nossa vida?

O segundo encontro teve a finalidade de incentivar a discussão sobre o tema de oscilações, utilizando apresentação em slides, com perguntas norteadoras e imagens que representavam situações envolvendo oscilações. Coube ao professor a realização de questionamentos e orientação para que os alunos decidissem o que fazer mediante os levantamentos realizados por eles.

Durante a apresentação foi possível perceber que somente com realização de perguntas os alunos conseguiam entender o sentido mais amplo das oscilações, ou seja, entenderam que “se tratava de algo que variava a posição ou medida”. Com a exposição dos slides contendo imagens, os alunos demonstraram ter entendido que as oscilações são compostas por movimentos de “vai e vem”, e que esse seria o tema de todos os encontros posteriores.

Por se tratar de alunos da 1^o série do ensino médio fazer com que eles entendessem o assunto que seria abordado nos encontros e o porquê estudá-lo foi o propósito do desenvolvimento das atividades.

Nesse segundo encontro promover um ambiente de discussão foi importante para que os

alunos tivessem um melhor aproveitamento, porém foi uma das etapas mais difíceis, pois buscar prender a atenção do aluno e posteriormente um engajamento nas discussões requer a utilização de algumas estratégias. Dessa maneira, foram utilizadas, além das perguntas, apresentação de imagens e “Gifs” onde eram representadas situações que demonstravam fenômenos oscilatórios no cotidiano de cada um. A partir das imagens foi possível perceber uma melhora nas explicações dadas pelos alunos quanto a situações semelhantes. Como exemplo, um dos integrantes do grupo 1 fez a seguinte argumentação:

“Levei meu irmão a uma praça próximo aqui de casa, e ele queria ir no balanço. Quando coloquei ele lá, empurrei ele e vi que ele parou logo.”

Neste momento o professor questiona o motivo pelo qual o balanço cessou o movimento, os demais alunos responderam: *alguma coisa está impedindo o movimento, professor.*

Assim, na busca de fazer que descrevessem possíveis hipóteses para essa situação, foi questionado pelo professor, quais os motivos para que o balanço parasse tão rapidamente, logo em seguida um integrante do grupo 2 falou:

“ não está lubrificado!”

A partir dessa respostas o professor fez um novo questionamento: *qual a função da lubrificação, nessa situação?* Os alunos não responderam e foi utilizado outro exemplo: *agora uma rede em um terraço de uma casa, quando posta a oscilar por que ela para com o tempo?* A resposta que mais surgiu foi:

“A parede segura a rede.”

Ouvindo a resposta dada pelos colegas, outro estudante, integrante do grupo 1, respondeu com uma pergunta:

“Por causa do atrito?”

Assim, com base na indagação do aluno foi possível ao professor realizar explicações sobre as aplicações do atrito, mostrando seu lado bom e ruim. Toda uma discussão foi iniciada relatando outros exemplos como: a resistência do ar que atua em um paraquedas; o atrito entre as pastilhas de freio e a roda em um automóvel, possibilitando sua frenagem; a atrito entre o pneu e a estrada que possibilita tanto a frenagem quanto o deslocamento do veículo; e até mesmo os eletrodomésticos encontrados em nossas residências que possuem peças em contato que sofrem efeitos do atrito. Após essa discussão o mesmo aluno que citou o exemplo do balanço perguntou:

“Então a lubrificação elimina o atrito professor?”

Nesse momento foi citada uma situação do cotidiano do tipo: Considere o seguinte: *você está lavando a sala de sua casa, molha o piso e coloca sabão. Neste caso você anda facilmente ou anda quase escorregando?* Os alunos responderam:

“Quase escorregando”.

Nova indagação surgiu: *então o atrito com o piso foi eliminado ou apenas diminuiu?* Os alunos responderam que neste caso o atrito diminuía, mas não desaparecia por completo. Neste momento foi interessante observar que os alunos fizeram a correspondência entre essa situação e o balanço.

Da mesma maneira, tratando agora da oscilação de um pêndulo, porém sem forças resistivas, todos alegaram que: aquele movimento ocorria daquela forma, sem parar, porque não existia atrito. O conhecimento sobre atrito já estava presente na linguagem deles, pois trata-se de um conteúdo visto na série que eles estavam concluindo. Vale salientar que os exemplos retratados acima, passaram a ser representações simbólicas do conteúdo, que serviu como um referente para a construção do modelo mental. A atuação do professor é de grande importância nesse encontro, pois é ele que promove um ambiente de discussão, gerando trocas de conhecimento, motivando a participação do aluno, tornando-o centro do processo..

4.2.3 Encontro 3: A investigação

Após todo embasamento da teoria na etapa anterior com exposição de exemplos e figuras, neste encontro foi apresentado o problema investigado por meio de um aparato experimental, construído com materiais de fácil acesso e baixo custo. Nesse encontro tivemos o início da segunda fase do primeiro estágio de desenvolvimento que é a investigação. O aparato experimental era composto de uma base feita em cano PVC, um gancho de metal, quatro arruelas de metal idênticas, um recipiente contendo água, um gancho feito com um clip, uma chumbada usada em pescaria, e duas molas feitas de materiais distintos. A demonstração do experimento consistiu em montar a base e deixar exposta juntamente com o restante dos acessórios, para que os alunos fornecessem as instruções de como executar a montagem daqueles e fazer o sistema oscilar.

O objetivo, desse experimento, era instigar o aluno a refletir sobre o conteúdo e expor explicações sobre o fenômeno físico em questão. O experimento foi realizado pelo professor e transmitido ao vivo para os alunos. Coube a estes, sugerir manipulações e alterações de parâmetros para a realização da investigação e buscar explicações para o fenômeno. Na figura 18

pode-se ver ao problema proposto aos alunos e a imagem do kit para realização do experimento que foram mostrados aos alunos.

Com a intenção de analisar e ter um melhor aproveitamento com os grupos, a demonstração aconteceu em horários diferentes para cada grupo.

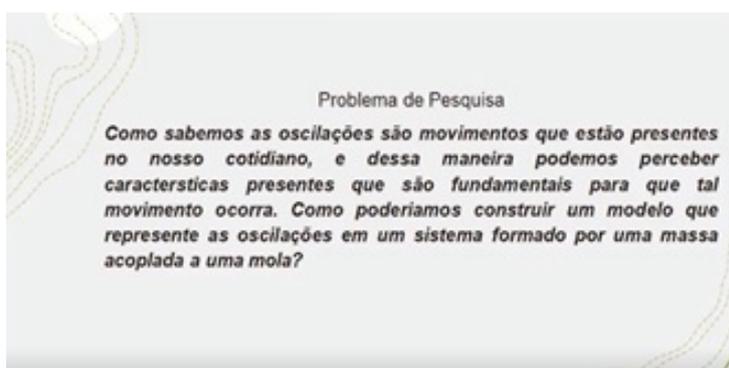
Grupo 1 Composto por três integrantes, foi observado maior dificuldade por parte dos alunos, para entenderem o que era pretendido através do experimento. Foram necessárias várias tentativas e algumas intervenções para que fosse obtido êxito em como colocar o sistema para oscilar e verificar os parâmetros necessários.

Grupo 2 Composto por dois integrantes, teve maior facilidade e suas instruções para manipulação do experimento foram mais claras e objetivas, com o intuito de entender o fenômeno estudado.

Embora o desempenho do segundo grupo tenha sido melhor, ainda foi necessário intervir, por meio de perguntas norteadoras, que puderam ajudar a direcionar o entendimento do problema estudado. Estas perguntas foram construídas e testadas com base em um projeto piloto, desenvolvido em sala de aula, e foram úteis para que os alunos iniciassem a construção de uma linha de raciocínio para entendimento do problema. As perguntas foram planejadas de forma que levasse a uma sequência ordenada do raciocínio. Alguns exemplos são:

- Se um determinado parâmetro do sistema é alterado o que ocorre?
- Quando o sistema está em seu estado de equilíbrio quais forças estão interagindo com ele?
- O que acontece com o período de oscilação quando as massas e características das molas são alteradas?

Figura 18 – Kit Experimental e Problema de Pesquisa



(a) Problema proposto via sala de aula virtual



(b) Kit experimental com os acessórios.

Em média os grupos levaram vinte minutos para investigar o problema apresentado. No entendimento deste professor, a realização do experimento de forma remota, para cada grupo separadamente, se mostrou muito produtiva, permitindo um estudo mais individualizado e uma melhor análise tanto pelos estudantes como pelo professor, embora tenha demandado mais tempo para sua execução.

Todas as atividades realizadas foram gravadas e disponibilizadas aos respectivos grupos de forma a permitir que fossem analisadas através do software Tracker. Também para auxiliar na fase de construção do modelo, que foi realizado no encontro seguinte.

Foi sugerido ainda aos alunos que se reunissem com seus respectivos grupos após esse encontro para traçarem estratégias e caminhos para explicação do problema em questão.

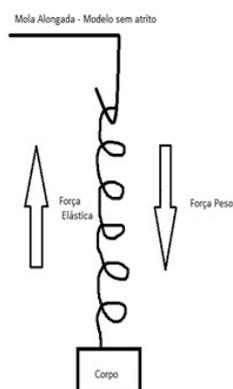
4.2.4 Encontro 4: Exposição dos modelos

Essa etapa ganha destaque na aplicação por se tratar do momento em que o grupo expôs seu entendimento e compreensão das etapas anteriores, trazendo um modelo de representação do conteúdo estudado, fazendo uso do software Tracker.

Esse foi o encontro que tivemos mais dificuldade para marcar um horário que todos pudessem participar. Assim após muitas tentativas só foi possível a realização com um único grupo: o grupo 2. Acredito que o fator determinante para este fato foi o período da aplicação próximo as férias, ocasionando a desmotivação do outro grupo. Todavia, mesmo com a participação de um grupo somente, foi possível observar o comprometimento dos alunos participantes.

O trabalho foi iniciado com o compartilhamento do link, referente ao `whitebord.chat`, para que os alunos pudessem expor suas explicações. A utilização da plataforma permitiu que o professor e os demais participantes pudessem compartilhar todas as ideias e informações ao mesmo tempo, embora todos estivessem em suas residências. Entretanto, como mencionado anteriormente, como somente um grupo estava participando achamos que a melhor opção seria a utilização de uma reunião síncrona utilizando a plataforma “Google Meet”. Na sala virtual o próprio grupo compartilhou a tela do “Whiteboard” e explicou o seu entendimento do sistema massa mola. A explicação consistiu em um modelo simples demonstrando as forças atuantes, e explicação dos motivos pelos quais as oscilações ocorrem e as principais diferenças do sistema massa mola oscilando em meios distintos.

Figura 19 – Modelo blocomola feito pelos estudantes

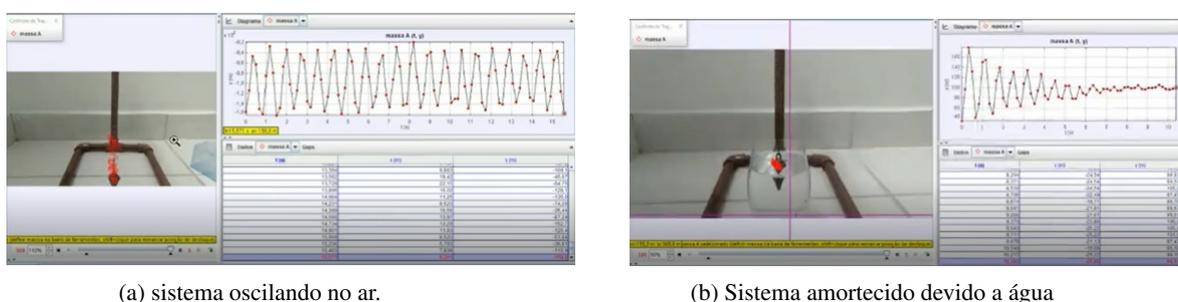


Fonte: Estudantes

Na figura 19 está representada, na forma de um desenho, a explicação dos alunos para as causas das oscilações. Posteriormente foi possível enriquecer e melhorar as análises quando os alunos realizaram suas próprias análises dos dados, através da utilização do Tracker. Nas figuras, observamos a descrição por parte dos alunos do comportamento do sistema quando posto a oscilar no ar (figura 20a) e na água (figura 20b).

Com base as situações representadas (pelas figuras) o grupo descreveu a oscilação ocorrendo apenas na presença do ar utilizando a *mola 1*. Observaram e descreveram que as oscilações se repetiam e que não paravam rapidamente como na situação com água. Assim, quando questionados caso as oscilações fossem analisadas por mais tempo, responderam “Com o tempo o objeto vai diminuir o movimento”, nesse momento foi possível intervir para buscar mais conhecimento dos alunos, questionando-os por que o sistema demoraria a parar. Apenas um integrante respondeu que: “tinha uma força de atrito menor”.

Figura 20 – Análise da oscilação do sistema blocomola, com mola 1, realizada pelos alunos



(a) sistema oscilando no ar.

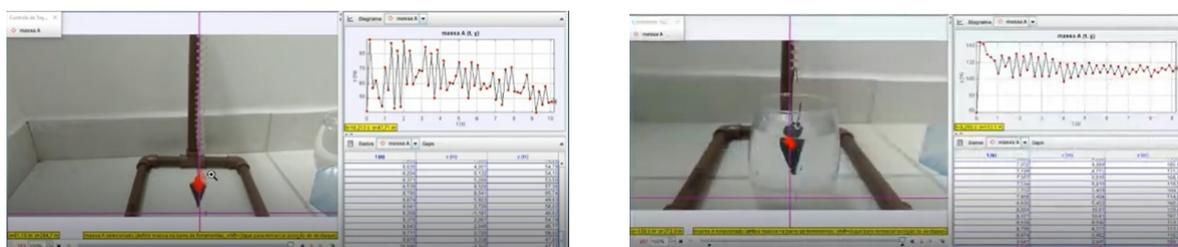
(b) Sistema amortecido devido a água

Fonte: Autoria própria.

Na representação do sistema massa mola na água (figura 20b) utilizando a mola 1, os alunos explanaram que “o movimento parava mais rapidamente devido a água e que cada vez mais oscilava menos até parar”.

Foi sugerido aos alunos que repetissem os experimentos de forma semelhante a feita com a mola 1, agora com uma segunda mola, denominada por *mola 2*. Podemos observar imagens da análise feita pelos alunos, utilizando o sistema com a segunda mola, na figura 21a e 21b.

Figura 21 – Análise da oscilação do sistema blocomola, com mola 2, realizada pelos alunos



(a) sistema oscilando no ar.

(b) Sistema amortecido devido a água

Fonte: Autoria própria.

Na exposição das análises no Tracker com a segunda mola, tanto no ar quanto na água, os alunos alegaram que as oscilações aconteciam mais rapidamente. Entretanto, quando questionados do por que a forma do gráfico estava diferente, não souberam responder. Desta forma foi feita uma intervenção retratando as possíveis variáveis que interferiram na análise diferenciando-as dos resultados mostrados conceitualmente. Diante dessa situação, a orientação de uma análise mais cuidadosa, pode proporcionar melhores resultados.

Esperar uma correspondência perfeita do conteúdo, com definições e equações é um pouco improvável. Desta forma, foi sugerido aos alunos que buscassem, por meio de pesquisas em livros ou na internet, as relações que envolvem frequência e período de sistemas massa mola. Assim, foi sugerido que fizessem uma pesquisa e tentassem explicar o movimento, entendendo as relações entre as grandezas físicas. De posse da equação eles conseguiram concluir as explicações, destacando a influência da massa, e alegaram que o material da mola influenciava nas oscilações.

Quando questionados da influência do material que é constituída a mola, eles destacaram que com a mola 2 que era de plástico e mais dura, as oscilações eram mais rápidas, já com a mola 1 que era “mais mole e de metal” as oscilações ocorriam mais lentamente.

Outro fato a se destacar foi que os alunos realizaram análises dos dados em tempo real utilizando o software, o que demonstra ser um recurso importante e que pode ser manuseado com facilidade. Nesse momento um dos integrantes comentou “aprender a analisar o movimento por esse programa foi umas das coisas mais legais”.

4.2.5 Encontro 5: Praticando o modelo

O início da aula se deu com uma breve retomada dos conceitos gerais sobre sistema massa mola, questionando os conceitos aprendidos. Durante as discussões os estudantes puderam fazer a diferenciação entre o sistema livre e o amortecido pela água. Como proposto no projeto, o encontro tem como objetivo a prática através da resolução de exercícios de aplicação com base nos conceitos e definições recém-construídas. Esses exercícios são importantes, pois aprofundam o conhecimento e ramificam os conceitos apresentados nos modelos conceituais. Portanto, foram apresentados três problemas que tinham como propósito buscar indícios do aprendizado, do aproveitamento, da formulação de conceitos, com base na metodologia utilizada.

Primeiro Enfatizava uma situação de um carro de massa $m = 1000$ kg acoplado em uma mola que se deformava 2,5 cm quando uma pessoa de 1000 N entrava no carro. O problema pedia para considerar a situação apenas da pessoa acoplada a mola e pedia para encontrar a massa da pessoa e a constante elástica da mola.

Segundo Destacava os resultados que os alunos demonstraram no encontro anterior e propunha um relato das principais diferenças encontradas nos modelos reais apresentados em comparação aos modelos conceituais discutidos anteriormente.

Terceiro Considera uma situação de um bloco de massa $m = 25$ kg e de constante elástica 100 N/m que executa um movimento harmônico e foi pedido ao aluno para apenas encontrar o período e a frequência de oscilação do bloco.

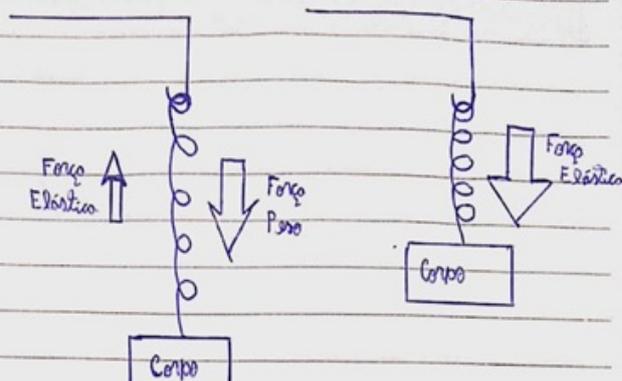
Após a apresentação dos problemas, como se tratava apenas de um grupo, eles discutiram os problemas entre si e posteriormente enviaram para o professor via whatsapp as respostas. Numa a situação de conter mais de um grupo na intervenção o professor pode optar por criar grupos separadamente para a resolução do problema e posteriormente solicitar o envio das respostas por e-mail ou até mesmo plataforma de sala de aula virtual como o “Google Classroom”.

Com o propósito de exemplificar, apresentamos uma fotografia das respostas dos alunos aos questionamentos propostos na figura 22.

Figura 22 – Fotografia da resposta do grupo ao questionamento poposto

Questionário - Física

1. Mola Alongada - Modelo sem atrito Mola comprimida - Modelo sem atrito



Massa da pedra = 100 kg
Constante da mola do arço = 40.000 N/m

Calculos: $M_p = \frac{P}{g}$
 $M_p = \frac{1000}{10} = 100 \text{ kg}$
 $F = k \cdot x \Rightarrow k = F/x$
 $K = 1000/0,25$
 $= 40.000 \text{ N/m}$

2. A diferença percebida a partir das análises dos modelos conceitual e real, foi que, no movimento oscilatório conceitual, o deslocamento era constante e "infinito", já na experiência real foi constatada a diminuição da oscilação pelo atrito com o ar, não presente no modelo idealizado.

3. 3 períodos e 3 s
frequência tem como
valor 0,33... ou $T=3s$, $F=0,33 \text{ Hz}$

Calculos: $M=25 \text{ kg}$
 $K=100 \text{ N/m}$
 $T=2\pi \cdot \sqrt{m/k}$
 $T=3s$
 $F=\frac{1}{3} \text{ Hz}$

FORONI

CS digitalizado com CamScanner

Fonte: Autoria própria.

4.3 ANÁLISE DOS ENCONTROS

4.3.1 Primeiro encontro

A estruturação da apresentação e o modo que todo o encontro foi apresentada toda proposta do trabalho contribuiu para que os alunos pudessem perceber que estavam diante de uma nova forma de aprender os conteúdos de física. Um diferencial, a meu ver foi a demonstração dos recursos que eles iriam utilizar na proposta, além da própria metodologia, pois por ter sido

em tempo real, os dois grupos foram seguindo os passos do experimento ao mesmo tempo em que estavam sendo apresentados e se familiarizando com os processos. Portanto, por ter sido apenas instrucional, a maneira que foi conduzida pareceu assertiva favorecendo os objetivos da proposta de ensino.

4.3.2 Segundo encontro

Na efetiva introdução ao tema da proposta, a pergunta inicial foi determinante para o desenvolvimento das discussões, pois começou a dar um norte para os alunos do tema que seria tratado, e assim, potencializando ainda mais com o uso de imagens e gifs, que fez com que os alunos refletissem mais antes de dar a resposta. O planejamento feito pelo professor e a contribuição de cada integrante nas discussões contribuiu para um bom aproveitamento do encontro, já que a resposta de um serve para tirar as dúvidas do outro, e assim fortalece ainda mais o conhecimento e favorece o desenvolvimento do grupo. A atuação do professor como mediador, não é uma tarefa fácil, pois em todo o encontro ele deve conduzir um ambiente que seja rico em conhecimento e que favoreça a aprendizagem do aluno. Portanto, planejar e pensar estratégias para por em prática é de suma importância para ter uma boa aplicação.

4.3.3 Terceiro encontro

Por ser o encontro que traz toda a parte investigativa da proposta, foi feito com muito cuidado, sempre enfatizando que todas as instruções para manipulação do experimento deveriam ser dadas pelos grupos e foi isso que aconteceu, toda a manipulação ocorreu como planejado levando em conta os procedimentos ditos pelos grupos e gerando cada vez mais discussões a respeito das causas do movimento do sistema massa mola. A apresentação do kit experimental demonstrou ser uma ferramenta importante no processo investigativo, com o propósito de responder o problema a ser investigado, e despertar ainda mais novos exemplos e situações que o conteúdo possa explicar no cotidiano do aluno. O kit experimental foi feito com materiais de baixo custo, buscando assim, dar condições para professores e alunos terem seu próprio experimento. A partir disso, conduzir suas experiências, resultando em uma compreensão de fenômenos presentes em nosso cotidiano.

4.3.4 Quarto encontro

Com o objetivo de tornar o aluno protagonista de sua própria aprendizagem, o encontro contou com a participação ativa do grupo na exposição do modelo que explicasse o sistema

apresentado no kit experimental, o que aparentou ser de grande importância na construção do conhecimento, já que os alunos buscam explicações e levantam hipóteses para resolver o problema.

Por ter sido apenas um grupo expondo seu modelo, a discussão contou com a interação do professor, sempre fornecendo novos questionamentos que fizessem os alunos pensarem e reformularem seus argumentos. Em uma aplicação com mais grupos, esse encontro se torna um ambiente ainda mais rico em conhecimento, pois é justamente no debate e na interação com os demais que o conhecimento vai se solidificando e fazendo mais sentido na vida do aluno.

4.3.5 Quinto encontro

Diante dos problemas, no quinto encontro para colocar em prática o modelo recém-construído, foi observado nas respostas recebidas pelo grupo que dos três problemas, dois se resumiam a apenas exercícios que necessitavam de aplicação direta de equações. Assim, como toda proposta tem o objetivo de fazer o aluno pensar, foi proposta uma nova situação problema que explore mais esses conhecimentos adquiridos, fazendo os alunos pensarem mais, e não apenas substituir valores na equação. Como toda proposta almeja um caminho de construção e validação do conteúdo através de modelos, buscar problemas que explore as mais variadas relações com o conteúdo proposto e suas aplicações é a melhor forma de fazer com que os alunos saibam explorar o conteúdo.

4.3.5.1 Sugestão de problema

Em um dia de aventura você decide sair com seus colegas e praticar “bungee jump” que contém uma corda com propriedades elásticas, de comprimento 50 metros, presa a uma ponte de 70 m de altura. Ao saltar e percorrer o comprimento próprio da corda, você inicia um movimento de vai e vem que provoca deformações na corda. Com base em seus conhecimentos sobre Física, como poderia descrever o movimento desse sistema - seu corpo e a corda elástica - ao praticar esse esporte? Descreva as diferenças ao considerar o sistema livre da resistência do ar, e com a presença desta.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa seção, apresentamos as conclusões e os objetivos alcançados com o uso dos ciclos de modelagem, e destacamos o que encontramos como resposta para a pergunta inicial do trabalho: “Como os ciclos de Modelagem integrados a recursos computacionais podem contribuir para o desenvolvimento das aulas de Física?”. Além disso, destacaremos as dificuldades e acertos com a utilização da proposta.

Ensinar física atualmente não é tarefa fácil, pois a disciplina requer habilidades que muitos alunos não buscam ter e dessa forma apresentar uma proposta nova e que seja um diferencial na forma de ensinar traz consigo dificuldades quando posta em prática. Uma dessas é a de fazer uso de recursos tecnológicos, que embora nossos alunos tenham habilidades no manuseio, e muitas das vezes tenham interesse em aprender, se não estiverem fortemente ligados a uma ação totalmente planejada, será apenas um recurso de entretenimento. Dessa forma, toda a proposta presente nesse trabalho buscou interligar o uso das tecnologias ao próprio processo de construção do conhecimento, fazendo com que os alunos utilizem a tecnologia a seu favor em buscas de respostas.

Quanto à instrução por modelagem utilizada para embasar nossa pesquisa, essa traz uma estruturação em ciclos de modelagem que tem a função desenvolver uma atividade investigativa focada no aluno, a qual, nesse trabalho, foi interligada ao uso de tecnologias que a meu ver deu uma nova perspectiva para a utilização dessa metodologia no ensino de Física na educação básica.

A aplicação de uma proposta totalmente nova no ensino médio não é algo fácil de obter, muito menos adaptar para poder alcançar os mesmos objetivos da proposta inicial. Contudo, o presente trabalho ainda contou com mais um agravante, a chegada da pandemia, o que fez modificar mais uma vez o projeto inicial, agora, para ser aplicado remotamente. A utilização de recursos tecnológicos no uso da modelagem contribuiu bastante para essa adaptação, o que, de certa forma, tornou o aluno ainda mais integrante ativo de todo o processo, pois a manipulação e análise do experimento foram realizadas por cada grupo.

O combustível da proposta utilizada é em todo o processo a motivação do aluno e o interesse em aprender, com isso os dois primeiros encontros são fundamentais para o sucesso de toda aplicação, pois é neles que a estrutura da proposta é apresentada. Os recursos que serão utilizados e o tema que será estudado são tratados na forma de discussão buscando os conhecimentos prévios dos alunos. O uso de perguntas norteadoras, imagens e gifs enriquecem

as discussões e trazem os alunos para dentro do tema. Nessa etapa é fundamental a participação do professor mediando todas as discussões.

A utilização da demonstração do experimento se mostrou uma ferramenta importante no processo investigativo, mantendo aspectos da proposta inicial de David Hestenes, na qual o aluno passa a ser agente ativo, propondo e observando novas situações para explicar o problema mesmo que remotamente. Como adaptação ao ensino básico, a investigação contou com a utilização de perguntas norteadoras, pois com elas os grupos passaram a compreender a investigação, dando ao professor instruções para a manipulação do experimento. Além das respostas encontradas com as perguntas norteadoras, as análises realizadas no Tracker pelos próprios alunos foram fundamentais para o entendimento do comportamento gráfico do sistema massa mola. Além do software citado, o Whiteboard.chat se destacou como uma ferramenta útil para o grupo expor seus modelos, substituindo os pequenos quadros brancos utilizados na intervenção presencial.

Um das maiores dificuldades durante toda a aplicação foi reunir todos os dois grupos para os encontros, pois como falado anteriormente o período da aplicação foi no final do ano, no início das férias, alguns alunos alegaram que estavam sem internet no dia do encontro, assim tudo isso contribuiu para a diminuição dos alunos durante as etapas do trabalho. Mesmo sendo finalizado apenas com um grupo, foi o suficiente para ter uma ideia da dimensão que a proposta pode tomar com mais grupos, pois nela ocorre bastante discussão e descobertas, o que torna o ambiente rico em conhecimento.

Como um professor que atuou durante toda a aplicação da proposta, percebi que é de grande importância para o professor que opera na educação básica, sair de sua zona de conforto e buscar utilizar novas metodologias que busquem o aluno para dentro da aula, para dentro do conteúdo, pois observei que os alunos, quando instigados, buscam responder, questionam e interagem durante os encontros. É importante destacar que a metodologia utilizada nessa proposta pode ser utilizada com outros conteúdos da física, desde que sejam mantidas as características iniciais propostas por David Hestenes. Da mesma forma que pode ser aplicada nas aulas remotas, o professor(a) tem total liberdade de realizar ajustes para a implementação ser feita em aulas presenciais.

Durante todas as fases da proposta, pude perceber que as tecnologias são ferramentas importantes no processo de ensino e aprendizagem, e que quando estruturadas junto a metodologia conseguem obter resultados significativos diante do ensino, fazendo o aluno obter dados e observar situações que os auxiliem no completo entendimento do fenômeno proposto. Assim, diante desse contexto as ferramentas tecnológicas proporcionam mais riquezas de detalhes no estudo da

Física, possibilitando resultados mais completos e que, quando integrados a uma proposta bem fundamentada, se tornam metodologias que potencializam o ensino e desmistificam a ideia de que o professor é o centro de tudo e que só ministram aulas totalmente expositivas.

Nessa perspectiva, nossa proposta de ensino alcançou o objetivo da pesquisa, em unificar metodologia e tecnologia a favor do ensino, trazendo resultados e uma nova dimensão para aqueles professores interessados em buscar um diferencial para suas aulas. Todo produto educacional foi pensado e organizado da melhor maneira possível, para que o professor(a) consiga executar a proposta de maneira simples e eficiente.

REFERÊNCIAS

- BREWE, E. Modeling theory applied: Modeling instruction in introductory physics. **American Journal of physics**, American Association of Physics Teachers, v. 76, n. 12, p. 1155–1160, 2008.
- de Souza, E. S. R.; ROZAL, E. F. Instrução de modelagem de david hestenes: uma proposta de ciclo de modelagem temático e discussões sobre alfabetização científica. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 12, n. 24, p. 99–115, 2016.
- DESBIEN, D. M. **Modeling discourse management compared to other classroom management styles in university physics**. [S.l.]: Arizona State University, 2002.
- HEIDEMANN, L. A. et al. Ciclos de modelagem: uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de física. **Caderno brasileiro de ensino de física. Florianópolis. Vol. 29, nesp 2 (out. 2012), p. 965-1007**, 2012.
- HESTENES, D. Toward a modeling theory of physics instruction. **American Journal of Physics**, v. 55, p. 440–454, 05 1987.
- _____. Modeling methodology for physics teachers. **AIP Conference Proceedings**, v. 399, n. 1, p. 935–958, 1997. Disponível em: <<https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.53196>>.
- Notes for a Modeling Theory of Science, Cognition and Instruction**. 1-28 p.
- _____. **Modeling theory for math and science education**. [S.l.: s.n.], 2010. 13-42 p.
- _____. Modeling theory and modeling instruction for stem education. 2015. Disponível em: <https://secure.hbcse.tifr.res.in/epi6/papers/Reviewtalks/epiSTEME6_ReviewTalk_DavidHestenes.pdf>.
- JACKSON, J. et al. Modeling instruction: An effective model for science education. **Science Educator**, ERIC, v. 17, n. 1, p. 10–17, 2008.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. P. N. **Mental models : towards a cognitive science of language, inference, and consciousness / P.N. Johnson-Laird**. Cambridge: Cambridge University Press, 1983. ISBN 0521273919.
- MARTINAND, J. L. Enseñanza y aprendizaje de la modelización. **Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 4, n. 1, p. 45–50, 1986.
- MAZUR, E. **Peer instruction: a revolução da aprendizagem ativa: a revolução da aprendizagem ativa**. [S.l.]: Penso Editora, 2015.
- MOREIRA, M. A. Abandono da narrativa, ensino centrado no aluno e aprender a aprender criticamente. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE CIENCIAS E SAUDE E DO AMBIENTE, II., 2010, Niterói. [S.l.], 2010.
- PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de mário bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em ensino de Ciências**, IFUFRGS Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 213–227, 1999.
- SOUZA, E. S. R. de; SANTO, A. O. do E. A teoria da modelagem de david hestenes no ensino de ciências e matemática. v. 8, n. 3, 2017.

TRACKER. Disponível em: <<https://trackerbrasil.ct.utfpr.edu.br/>>.

WELLS, M. et al. A modeling method for high school physics instruction. **American journal of physics**, American Association of Physics Teachers, v. 63, n. 7, p. 606–619, 1995.

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL

A.1 APRESENTAÇÃO

Caro colega professor,

Com o objetivo de se tornar uma proposta viável para a construção e compreensão do conteúdo de oscilações do tipo massa mola, a intervenção sugerida a seguir, é apresentada com um diferencial para as aulas remotas, por ser estruturada de modo a alcançar o máximo de compreensão dos estudantes. Embora existam diversas propostas que seguem essa linha, o diferencial está na metodologia empregada, que além de proporcionar um ambiente de construção de conhecimento virtualmente, torna o aluno integrante do processo, potencializando a aprendizagem e as aulas de física no ensino médio.

A proposta aqui destacada, pretende fornecer a você professor uma sequência didática, tomando como base os ciclos de modelagem de David Hestenes, que inicialmente ganhou destaque no ensino superior e vem ganhando destaque em trabalhos com sua adaptação para o ensino médio. Desta forma, a aplicação aqui apresentada se trata de uma adaptação dessa metodologia para que possa ser aplicada no ensino básico na modalidade remota. O conteúdo escolhido para a aplicação foi o sistema oscilatório do tipo massa mola, por se tratar de um tema que muitas vezes é explorado superficialmente, e que tem aplicabilidade no cotidiano dos nossos estudantes.

A sequência é organizada em encontros que podem ser adaptados à realidade de cada escola e/ou dos estudantes, pois quanto aos recursos utilizados, atentamos ao uso de materiais de baixo custo, para a confecção do kit de demonstração experimental, além de outros recursos disponíveis na internet totalmente gratuitos. O público alvo da proposta são estudantes da 1ª série do ensino médio.

A.2 SEQUÊNCIA DE ENSINO

Objetivo geral:

Apresentar o conteúdo de oscilações, e fazer com que os estudantes nas etapas do ciclo de modelagem possam responder o problema proposto com auxílio da investigação, construindo um modelo representacional que o possibilite compreender e diferenciar os modelos reais dos conceituais.

ENCONTRO 1

Tema: O que é ciclo de modelagem?

Duração: 40 minutos.

Assuntos: Ciclos de modelagem e as oscilações presentes no nosso cotidiano.

Objetivos específicos: Orientar os estudantes quanto à estruturação da intervenção, assim como orienta-los quanto à utilização dos recursos utilizados.

Recursos Utilizados

 Plataforma de vídeo conferência;

 Apresentação em slides¹.

Por se tratar de uma aplicação remota, fica a critério do professor o modo de como compartilhar os links referentes aos encontros com os alunos. Como sugestão, o professor poderá criar uma turma na interface gratuita do google sala de aula, e nesse acesso compartilhar todas as informações referentes aos encontros, e os alunos terem acesso via e-mail, ou aplicativo no “smartphone”. É importante destacar que o aplicativo de vídeo conferência a ser utilizado fica a critério do professor, seja ele Meet, Zoom, Skype, ou Microsoft Teams.

- Tutorial de como criar uma sala virtual no Google disponível em:<<https://youtu.be/2vBf5YnFCWw>>

Nesse encontro de caráter informativo, o professor tem o papel de destacar os seguintes pontos:

1. O que é instrução por modelagem?
2. Qual sua estruturação?
3. Como obter e utilizar o Tracker e o Whiteboard.chat?

É importante o professor deixar claro nesse momento que o estudante na instrução por modelagem é um sujeito ativo e protagonista de sua aprendizagem. Assim o professor atua apenas como orientador.

¹ Apresentação disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1IMhNzFRBE1v6oABxc7MEgWvNH55fT325/view?usp=sharing>>

Figura A.1 – Slide 01 “O que é instrução por Modelagem”?



O que é Instrução por modelagem?

- ✓ Metodologia empregada na construção e aplicação de modelos conceituais de fenômenos físicos com aspecto central de aprender e fazer ciência.
- ✓ Objetivo: é fazer com que os estudantes coordenem seus modelos conceituais com os seus modelos mentais na construção, análise e validação de modelos físicos.

Figura A.2 – Slide 02 “Qual sua Estruturação?”



Qual sua estruturação?

- ✓ A metodologia é aplicada em ciclos de modelagem que são divididos em dois estágios principais:

- I. Desenvolvimento do modelo
- II. Implementação do modelo

Nesse momento o professor relata que a aplicação da metodologia é organizada em ciclos que são estruturados em duas etapas, uma delas é a construção do conhecimento em uma fase investigativa, e a outra consiste na aplicação do conhecimento adquirido.

Como terceiro tópico do encontro, para uma melhor interpretação do fenômeno estudado é sugerido aos estudantes que baixem e utilizem o software Tracker como ferramenta de modelagem para a análise dos vídeos que representam o movimento estudado. Todas as etapas de como baixar, instalar e utilizar estão disponíveis na plataforma Tracker Brasil².

Outro recurso importante da fase de desenvolvimento do modelo estudado é o whiteboard.chat³, mesmo sendo uma ferramenta online e de fácil manuseio, o professor deve orientar os estudantes como utilizar, pois é uma ferramenta empregada no ciclo de modelagem para a exposição do modelo construído por cada grupo, substituindo o quadro tradicional. Existe outras ferramentas de quadro branco virtual, que também podem ser utilizadas e que alcançam o mesmo objetivo.

Como relatado anteriormente o papel do primeiro encontro é informar aos estudantes sobre o percurso que será trilhado e quais recursos serão essenciais para a aplicação da metodologia de ensino, assim o ciclo de modelagem tem início a partir do encontro seguinte. Dessa maneira, o professor deve iniciar a organização da turma em grupos de no máximo 3 integrantes, para que no decorrer dos encontros seguintes toda a sala já esteja estruturada para a intervenção.

ENCONTRO 2

Tema: As oscilações estão presentes em nossa vida?

Duração: 45 min.

Assuntos: As oscilações e suas aplicações.

Objetivos: Iniciar uma discussão acerca do tema, para motivar os estudantes quanto à aplicação.

Recursos Utilizados

 Plataforma de vídeo conferência;

 Apresentação em slides⁴

² Todas as informações e etapas para obter e utilizar o software estão disponíveis em: <https://trackerbrasil.ct.utfpr.edu.br/?page_id=8>

³ Ferramenta disponível em: <<https://www.whiteboard.chat/>>

⁴ Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1h1TqUbv7I8JBnswu0SzmNBOK7qXfHf0_/view?usp=sharing>

Nesse encontro, conforme o andamento das discussões, o professor deve criar um ambiente adequado criando condições para uma investigação mais sólida e criação de argumentos mais consistentes.

Inicialmente o professor deve iniciar a discussão com seguinte questionamento:

1. *O que vocês entendem por oscilações?*

Com base nas respostas, o professor acrescenta outro questionamento, buscando motivar cada vez mais as discussões.

2. *Onde podemos ter movimentos que representam oscilações?*

Após esse questionamento sugere-se que o professor apresenta algumas imagens de objetos que apresentam comportamento de osciladores encontrados em nosso ambiente cotidiano como os exemplificados na figura A.3

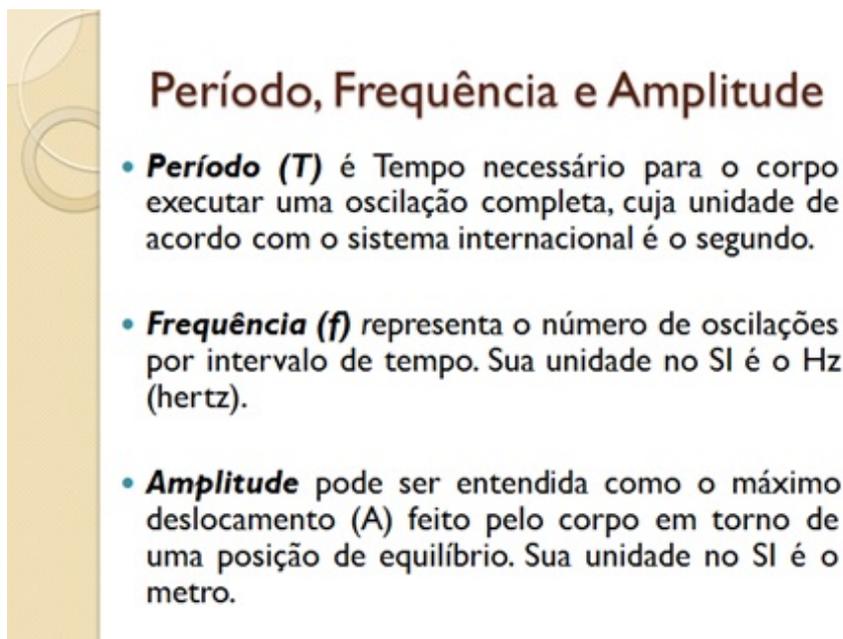
Observação: Lembre-se de sempre ter um discurso questionador, buscando fazer o estudante pensar e formular suas hipóteses.

Figura A.3 – Imagens de objetos que oscilam encontrados em nosso cotidiano.



Fonte: .

Figura A.4 – Slide “Propriedades do Movimento oscilatório”



Período, Frequência e Amplitude

- **Período (T)** é Tempo necessário para o corpo executar uma oscilação completa, cuja unidade de acordo com o sistema internacional é o segundo.
- **Frequência (f)** representa o número de oscilações por intervalo de tempo. Sua unidade no SI é o Hz (hertz).
- **Amplitude** pode ser entendida como o máximo deslocamento (A) feito pelo corpo em torno de uma posição de equilíbrio. Sua unidade no SI é o metro.

Após os exemplos o professor questiona os alunos se esses movimentos são periódicos, com a intenção de que os estudantes pensem nos movimentos acima e tirem suas conclusões.

Nesse momento com base nas respostas dos estudantes, o professor deve introduzir termos conceituais como período, frequência, e amplitude de oscilação.

Ao término das apresentações, o professor orienta os alunos sobre a etapa da investigação virtual que acontecerá no próximo encontro, informando da dinâmica dessa etapa, que acontecerá com cada grupo separadamente em horários distintos.

ENCONTRO 3

Tema: A investigação.

Duração: 90 min.

Assuntos: As oscilações e suas aplicações.

Objetivos: Fornecer ao estudante a partir de uma demonstração experimental, dados que lhe permitam construir argumentos e criar um modelo de representação do problema proposto.

Recursos Utilizados

 Plataforma de vídeo conferência

 Apresentação em slides

 Kit experimental sobre sistema massa mola

Software Tracker

Esse encontro é uma das etapas mais importantes do ciclo de modelagem, contudo deve ser estruturado de maneira que possibilite máximo aproveitamento por parte dos estudantes. Assim, sugere-se que o professor organize a sequência com cada grupo para expor o problema a ser investigado e realizar a demonstração experimental do sistema massa mola.

A demonstração ocorrerá com cada grupo separadamente que se reunirão com o professor durante um tempo de 30 minutos, nesse intervalo de tempo o professor apresenta o problema e inicia com o experimento. O link da reunião deve ser disponibilizado no *Google Sala de Aula* 5 minutos antes do horário pré-estabelecido pelo professor.

Problema a ser investigado:

Como sabemos as oscilações são movimentos que estão presentes no nosso cotidiano, e dessa maneira podemos perceber características presentes que são fundamentais para que tal movimento ocorra. Como poderíamos construir um modelo que represente as oscilações em um sistema formado por uma massa acoplada a uma mola?

Por se tratar de alunos do ensino médio é importante o professor destacar que a investigação é feita a partir das observações do sistema massa mola, para que eles possam entender o objetivo da investigação, que é compreender a dinâmica desse movimento.

Com a exposição do problema a ser investigado, o professor inicia a montagem do kit, estimulando os alunos a perguntarem e darem instruções para a manipulação do experimento, pois o kit é composto de molas distintas, objetos com massas e formatos diferentes, além de serem postos a oscilar em meios diferentes (ar, água).

Importante!

Fazendo uso da metodologia aqui apresentada em uma atividade semelhante, percebi a importância de ter um discurso de modelador, com o objetivo de direcionar o aluno a realmente construir seu próprio conhecimento.

Em situações em que o professor encontre grupos que são menos questionadores e com isso não interajam na demonstração do experimento, é necessário que o professor contenha um discurso que contribua para a investigação com perguntas norteadoras, que faça os estudantes pensarem e tirem suas próprias conclusões.

Perguntas Norteadoras:

- a) *O sistema a ser investigado pode ser considerado oscilatório? Justifique.*

Com base na resposta do aluno, questione ainda se além de oscilatório é periódico.

- b) *Quais as relações existentes entre as forças que compõem o sistema? Por exemplo, na situação de equilíbrio.*

Após a resposta, adote novas situações do tipo, se a resultante das forças for diferente de zero, o que acontece com o sistema?

- c) *Quais as possíveis explicações para o comportamento do sistema quando as molas são trocadas e a massa mantida constante? Justifique.*
- d) *O que acontece com a oscilação após um tempo de movimento quando o objeto oscila no ar? Para um pequeno intervalo de tempo as oscilações modificam sua amplitude ou permanece constante?*
- e) *Se o sistema for colocado para oscilar na água, o que difere o comportamento da oscilação em relação ao ar? Justifique sua resposta.*

Após a demonstração do experimento, o professor disponibilizará na plataforma do Google como atividade para o próximo encontro, vídeos das duas demonstrações do sistema oscilando no ar e na água, para que cada grupo realize uma análise utilizando o software Tracker, com o objetivo de ter uma melhor interpretação sobre o movimento estudado.

Vídeo 1- Mola 1- oscilador no ar - Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1gerzA6at5C5eaqaChwZJcU2b2K7nTFp/view?usp=sharing>>

Vídeo 2- Mola 1- oscilador na água- Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1W7eCPHHifmlxJZBmFooZQeE-DNeD0scI/view?usp=sharing>>

Vídeo 3- Mola 2- oscilador no ar - Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/11GI-Lr4e3KXiAxJ7AanGV84YWhcVbZHx/view?usp=sharing>>

Vídeo 4- Mola 2- oscilador na água - Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1r-IaobEhKIX6E2fPEGX3a4LerHwwF378/view?usp=sharing>>

É importante o professor orientar que a análise deverá ser feita por pelos menos um dos integrantes, gravada e compartilhada para que todos do grupo possam compreender a análise. A gravação poderá ser feita com o “smartphone” gravando a tela do computador, utilizando os recursos do próprio sistema operacional, no caso do Windows apertando as teclas “win+G” ou ainda um software como o “OBS studio”⁵.

Após a análise do vídeo o professor orienta os estudantes a pesquisarem a representação gráfica de um sistema que oscila sem a presença de forças resistiva, ou seja, um sistema que descreva oscilações livres, para poderem obter dados para diferenciar as representações reais das conceituais.

ENCONTRO 4

Tema: Exposição dos modelos.

Duração: 90 min.

Assuntos: As oscilações e suas aplicações.

Objetivos: Criar um ambiente de debate a partir da etapa de investigação, para a consolidação do conteúdo de oscilações.

Recursos Utilizados

 Plataforma de vídeo conferência;

 Whiteboard.chat.

O professor envia o link no Google Sala de Aula 5 minutos do horário marcado para o encontro e nos primeiros 15 minutos reúne todos os grupos em uma sala virtual com o objetivo de organizar a ordem das apresentações. Em seguida, compartilha o link do quadro branco virtual, que será o ambiente de exposição dos modelos.

- Cada grupo terá em média 20 minutos para expor seus modelos.

É importante orientar que cada grupo escolha um integrante para expor os modelos no whitboard.chat, mas que na discussão todos devam participar.

⁵ Software livre disponível em <<https://obsproject.com/pt-br/download>>

- Ao término das apresentações o professor intervém, corrigindo os possíveis equívocos, e introduzindo termos e equações anteriormente não discutidas que são necessárias para a compreensão do conteúdo. Nesse encontro o professor desempenha um dos papéis mais importantes da utilização dos ciclos, por que é nesse momento que serão corrigidos os equívocos e erros de representação do conteúdo, fazendo com que os estudantes após as explicações possam complementar e compreender o conteúdo estudado.

ENCONTRO 5

Tema: Praticando o modelo.

Duração: 50 min.

Assuntos: As oscilações e suas aplicações.

Objetivos: Colocar em prática os modelos recém-construídos em outras situações problemas.

Recursos Utilizados

 Plataforma de vídeo conferência;

 Material com situações problemas.

Nessa etapa o professor disponibiliza na sala de aula virtual o material contendo duas questões que representam situações problemas do conteúdo estudado, que deverá ser respondida por todos os alunos.

Perguntas

1. *Como observado anteriormente os sistemas reais descrevem movimentos oscilatórios que para o estudo são realizadas algumas aproximações facilitando a compreensão. Com base nas análises no software Tracker e nas discussões nos encontros, relate as diferenças interpretadas nos modelos reais e os conceituais.*
2. *Em um dia de aventura você decide sair com seus colegas e praticar bungee jump que contém uma corda com propriedades elásticas, de comprimento 50 metros, presa a uma ponte de 70 m de altura. Ao saltar e percorrer o comprimento próprio da corda, sua massa começa a descrever oscilações, provocando deformações na corda. Como poderíamos descrever tal esporte do ponto de vista das oscilações? Descreva as diferenças ao considerar o sistema livre da resistência do ar, e com a presença da resistência do ar.*

- Nesse momento o professor irá criar uma atividade no Google Sala de Aula para o recebimento das atividades respondidas pelos alunos.
- O professor deverá ficar online durante todo tempo do encontro com a finalidade de retirar possíveis dúvidas, mas lembrando de sempre fornecer caminhos para que o aluno chegue à resolução, não simplesmente dando a resposta diretamente.

A.3 MONTAGEM DO KIT EXPERIMENTAL

O kit experimental foi desenvolvido e pensado de maneira que possibilite aos professores do ensino médio construir e aplicar em sala de aula, com a finalidade de demonstrar na prática como ocorrem as oscilações em sistemas massa-mola. A utilização da demonstração do kit como fase da sequência didática favorece a fase investigativa fazendo com que os alunos percebam e criem modelos de representação do conteúdo que está sendo tratado.

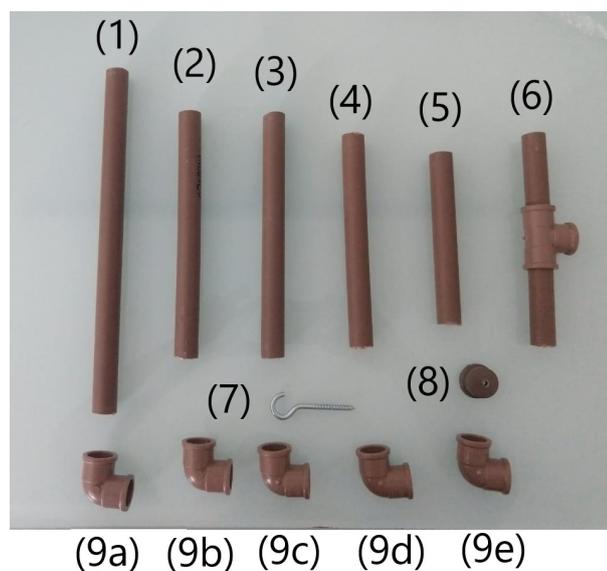
A.3.1 Materiais utilizados

- Tubos e conexões de PVC de 20 mm.
- Régua de 15 cm.
- Arruelas (massa 1).
- Chumbada de pescaria (massa 2).
- Gancho de arame.
- Mola 1 - podem ser dos tipos encontradas em carrinhos de brinquedo.
- Mola 2 - molas utilizadas em espiais de caderno.
- Recipiente transparente para utilizar como meio viscoso nas oscilações amortecidas na água.

A.3.2 Construindo a base

Etapa 1 Pegar o tubo de PVC e cortá-lo em pedaços com as seguintes dimensões, conforme figura A.5.

Figura A.5 – Peças do KIT para montagem do sistema blocomola.



Fonte: Autoria própria.

As dimensões utilizadas seguindo a ordem de numeração foram as seguintes

item (1) cano PVC com comprimento de 30 cm.

itens (2) e (3) cano PVC com comprimento de 20 cm.

itens (4) e) cano de PVC com comprimento de 18 cm.

item (5) cano com comprimento de 15 cm.

item (7) gancho com rosca.

item (8) uma peça de PVC utilizada para vedar extremidades de tubos de PVC, chamada *caps*.

item (9) curvas 90° ou *joelho* de PVC utilizado nas conexões.

Etapa 2 Após o corte do tubo deve-se acoplar os “joelhos” as extremidades dos tubos e montar a base até que a mesma fique no seguinte formato.

Observações:

- a) a montagem deve ser feita apenas com encaixes, sem utilizar colas, pois a base poderá ser desmontada e reutilizada quantas vezes necessárias.
- b) O gancho deve ser rosqueado no cap, para ficar bem fixo e não interferir nas oscilações.

A seguir pode-se ver uma imagem da base para o experimento blocomola já montado (figura A.6).

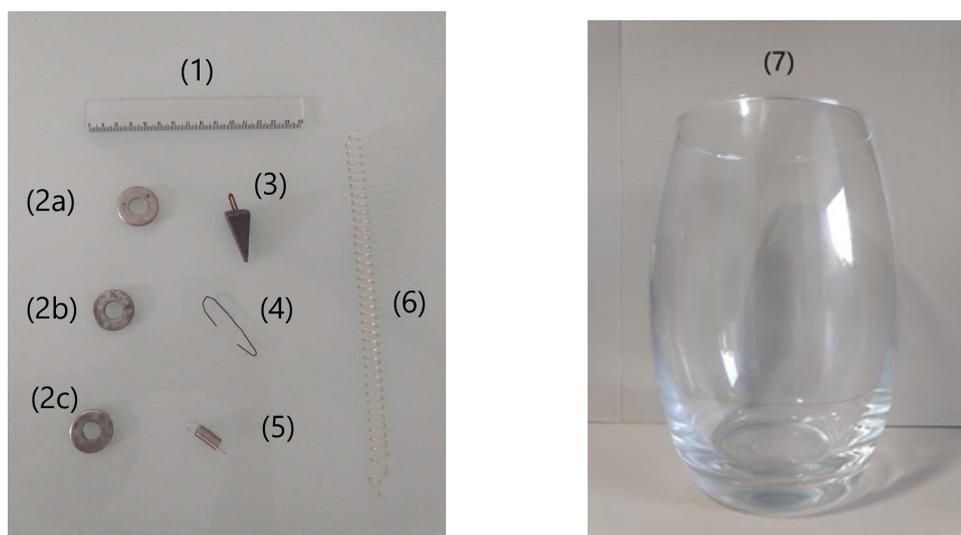
Figura A.6 – Base montada



Fonte: Autoria própria.

Após a montagem da base, utilizar os elementos mostrados na figura A.7 para demonstração das oscilações;

Figura A.7 – Utensílios utilizados nos experimentos



(a) Acessórios, chumbada e arruelas utilizados como blocos nos osciladores.

(b) Recipiente transparente utilizado para a oscilação amortecida.

Fonte: Autoria própria.