



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE – CAA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 46**

Elton David Lopes

**UTILIZANDO A TREBUCHET PARA O ENSINO DE LANÇAMENTO
OBLIQUO ATRAVÉS DE UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA**

Caruaru

2025

Elton David Lopes

**UTILIZANDO A TREBUCHET PARA O ENSINO DE LANÇAMENTO
OBLIQUO ATRAVÉS DE UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA**

Dissertação apresentada ao Polo 46 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Ensino de Física

Orientador: Prof. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos

Caruaru
2025

Catálogo de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Lopes, Elton David.

Utilizando a trebuchet para o ensino de lançamento oblíquo através de uma sequência de ensino investigativa / Elton David Lopes. - Caruaru, 2025.

94f.: il.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, 2025.

Orientação: Prof. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos.

1. Lançamento oblíquo; 2. Sequência de Ensino Investigativa; 3. Trebuchet; 4. Alcance. I. Ramos, João Eduardo Fernandes. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

Elton David Lopes

**UTILIZANDO A TREBUCHET PARA O ENSINO DE LANÇAMENTO
OBLIQUO ATRAVÉS DE UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA**

Dissertação apresentada ao Polo 46 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Ensino de Física

Aprovada em 27 de Julho de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos - Orientador
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Tassiana Fernanda Genzini de Carvalho – Examinadora Interna
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Franciso de Assis Nascimento Junior – Examinador Externo
Universidade Federal do Sul da Bahia

Dedico este trabalho a minha família, minha base e inspiração de
perseverança e resiliência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tamanha bondade à minha vida, mostrando-me o caminho da persistência e sabedoria para construção deste trabalho.

A minha mãe, Maria do Carmo David Lopes, pelos ensinamentos quanto aos valores da vida, pelo incentivo constante e por lutar desde quando eu fora criança pela educação de qualidade.

Ao meu pai, Edmundo Lopes Ferreira (in memoriam), que me mostrou o caminho da verdade, da integridade e do caráter.

Aos meus queridos irmãos, Edmundo Lopes Ferreira Filho, Edneuda David Lopes e Erick David Lopes, que vibraram comigo quando realizei sonhos e conquistas, estiveram sempre ao meu lado e tornaram minha vida leve.

A minha esposa, Wêidman Nayara dos Santos, que me apoiou desde a graduação, me confortou, incentivou meus sonhos e se fez presente tornando o processo menos árduo.

Ao meu professor orientador, Dr. João Eduardo Fernandes Ramos, que pela segunda vez aceitou a empreitada de me orientar e que fez isso com maestria, sendo calma quando eu era impaciência.

Aos amigos que fiz em minha graduação, Larissa Almeida (in memoriam), Josemar Beserra, Gustavo Lira, Manoel Neto, Emmanuel Fernandes, Luiz Fernando, Thiago Tabosa, Júlio César, Renan Gomes, Ítalo Oliveira, Breno Hyago, Nieliton Lino e Wagner Moraes, por cada gargalhada compartilhada e sentimento de união demonstrado.

Aos professores Augusto César Lima Moreira, Elder Alpes de Vasconcelos, Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez, Gustavo Camelo Neto, Heydson Henrique Brito da Silva, João Francisco Liberato de Freitas, Tassiana Fernanda Genzini de Carvalho, professores do MNPEF que através de suas transposições didáticas fizeram-me sentir ainda mais paixão por esta ciência.

Aos amigos que fiz nesta pós-graduação, Flaviano Félix, José Ricardo, Mateus Henrique, Rai Rocha, Lucas Aprigio, Edinaldo Barboza, Jadilson João e Thaianne Almeida, que tornaram os dias de aula leves e cheios de alegria.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

*“A chave de todas as ciências é
inegavelmente o ponto de interrogação.”*

- Honoré De Balzac

RESUMO

Ensinar Física na educação básica, propõe ao professor desafios significativos, como a desmotivação dos alunos, a falta de recursos e as dificuldades estruturais. Para driblar esses problemas, o professor busca meios de ensino que se validem em propostas de ensino que incentivem o interesse do estudante e que sejam de baixo custo. Esta pesquisa tomou essas condições como aspecto motivacional para propor uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), pautada na fundamentação de Carvalho (2013), que trabalha o conceito de lançamento oblíquo através da utilização de uma trebuchet de baixo custo. Esta SEI foi aplicada com 19 estudantes do terceiro ano do ensino médio em uma escola pública do estado de Alagoas, e se dividiu em quatro etapas: i) produção da trebuchet em pequenos grupos, ii) utilização da trebuchet por meio de dois desafios, iii) contextualização do conceito de lançamento oblíquo relacionando-o a utilização da trebuchet, em sala de aula, iv) questionário final que serviu como parâmetro para verificação dos conceitos físicos abordados. Ao longo da aplicação, conseguimos identificar indícios de alfabetização científica aprendizagens atitudinais e processuais. Com isso, concluímos que a aplicação desta SEI impactou de forma positiva no processo de ensino e aprendizagem, instigou os estudantes a resolverem os desafios propostos, proporcionou que o estudante participasse ativamente do próprio processo de ensino, conseguiu promover a ampliação dos conhecimentos prévios para os científicos e no questionário final observou-se alto índice de aprendizagem do conceito de Lançamento Oblíquo. Por fim, propor uma metodologia de ensino que instigue a curiosidade e faça o estudante participar do processo, pode ser uma alternativa de ensino para vencer o desinteresse na sala de aula.

Palavras-Chaves: Lançamento Oblíquo. Sequência de Ensino Investigativa. Trebuchet. Alcance.

ABSTRACT

Teaching Physics in basic education presents teachers with significant challenges, such as students' lack of motivation, scarcity of resources, and structural difficulties. To overcome these obstacles, teachers seek teaching strategies that stimulate student interest while remaining low-cost. This research considered these conditions as a motivational aspect to propose an Inquiry-Based Teaching Sequence (ITS), grounded in Carvalho's framework (2013), which explores the concept of projectile motion through the use of a low-cost trebuchet. This ITS was implemented with 19 third-year high school students in a public school in the state of Alagoas, and it was divided into four stages: (i) construction of the trebuchet in small groups; (ii) use of the trebuchet through two challenges; (iii) contextualization of the concept of projectile motion by relating it to the use of the trebuchet in the classroom; and (iv) a final questionnaire that served as a parameter for assessing the physics concepts addressed. Throughout the implementation, we identified evidence of scientific literacy as well as attitudinal and procedural learning. Thus, we conclude that the application of this ITS had a positive impact on the teaching and learning process, encouraged students to solve the proposed challenges, enabled them to actively participate in their own learning process, promoted the expansion of prior knowledge into scientific knowledge, and, in the final questionnaire, revealed a high level of understanding of the concept of projectile motion. Finally, proposing a teaching methodology that sparks curiosity and encourages student participation in the learning process can be an alternative to overcoming classroom disengagement.

Keywords: Projectile Motion. Investigative Teaching Sequence. Trebuchet. Range.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	11
1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	15
2. SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA (SEI)	16
2.1 ESTRUTURA DA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA (SEI)	19
2.2 PROBLEMA	20
2.3 ATIVIDADE DE SISTEMATIZAÇÃO DO CONHECIMENTO	21
2.4 CONTEXTUALIZAÇÃO	22
2.6 SEI NO ENSINO DE FÍSICA: O QUE DIZEM AS PESQUISAS?	24
3. LANÇAMENTO OBLÍQUO (LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS)	27
3.1 PARA O MOVIMENTO HORIZONTAL	27
3.2 PARA O MOVIMENTO VERTICAL	28
3.3 EQUAÇÃO DE TRAJETÓRIA	28
3.4 EQUAÇÃO DO ALCANCE HORIZONTAL	29
4. TREBUCHET	32
5. METODOLOGIA	35
5.1 PRODUTO EDUCACIONAL	36
5.2 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	38
6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	45
6.1 DISCUTINDO A SISTEMATIZAÇÃO	46
6.2 DISCUTINDO A CONTEXTUALIZAÇÃO	52
6.3 DISCUTINDO A AVALIAÇÃO	58
6. DIÁRIO DE BORDO	68
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
REFERÊNCIAS	74
APÊNDICE A	76

APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho divide-se em sete capítulos: introdução, sequência de ensino investigativa, lançamento oblíquo, trebuchet, metodologia, análise e discussão dos resultados e considerações finais. No primeiro capítulo (introdução) apresentamos a motivação para a pesquisa, a pergunta norteadora e os objetivos que propusemos atingir ao fim da pesquisa.

O segundo, terceiro e quarto capítulos tratam do que costumeiramente é chamado de fundamentação teórica, no segundo capítulo abordamos as características de uma sequência de ensino investigativa (SEI), como deve ser construída, quais as suas principais preocupações no quesito da avaliação e como está sendo utilizada por outros professores em algumas menções de artigos e dissertações.

No terceiro capítulo apresentamos a modelagem matemática e a discussão física para o conceito de lançamento oblíquo, abordamos inicialmente a ideia do lançamento oblíquo sem forças de retardos e depois apresentamos uma breve discussão acerca do comportamento de um projétil lançando obliquamente quando submetido à força de retardo.

No quarto capítulo, apresentamos um breve contexto histórico da arma de cerco medieval: *trebuchet*, apresentamos suas características, explicamos o seu funcionamento no ponto de vista da Física e apresentamos pesquisas que se validaram de seu uso para o ensino.

No quinto capítulo, de metodologia, evidenciamos de que maneira construímos e utilizamos a SEI para o ensino de lançamento oblíquo, apresentamos o aparato experimental que foi construído, onde e com qual público-alvo a SEI foi aplicada, os métodos que foram utilizados para obtenção de dados, tempo necessário para aplicabilidade da SEI e cuidados e sugestões para os professores em caso de replicação.

No sexto capítulo, análise e discussão dos resultados, mostramos os dados de quatro aparatos de retenção de dados, dois questionários, aula gravada e diário de bordo, de maneira que fosse possível realizar uma avaliação

somativa do processo de aplicabilidade da SEI, evidenciando os resultados positivos e negativos de forma qualitativa.

Por fim, no sétimo capítulo, de considerações finais, discutimos as dificuldades da aplicação da SEI, os resultados consideráveis, retornamos à pergunta norteadora da pesquisa e buscamos entender se ela foi respondida, além disso apresentamos possibilidades para uma pesquisa futura.

1. INTRODUÇÃO

Ensinar nos dias atuais tem sido um verdadeiro desafio frente à desmotivação dos estudantes, o baixo recurso escolar e a desestrutura familiar, sobretudo no Ensino de Física, ciência que se vale de meios matemáticos e senso crítico para validar suas teorias. Para vencer esses obstáculos, o docente busca estratégias pedagógicas que fisguem o interesse do estudante - dentre várias - a abordagem experimental no ensino de Física pode ser uma grande aliada do professor, pois é capaz de relacionar o conceito à prática, isto é, é capaz de tornar palpável conceitos visualizados apenas em materiais didáticos e ainda é capaz de promover uma participação ativa dos alunos estimulando suas curiosidades e interesses (Ferreira; Ghiglieno; Tribuzi; 2024).

No que diz respeito a ensinar Física em escolas públicas, os problemas ficam ainda mais evidenciados, isso pelo motivo da baixa estrutura financeira das escolas (França; Lopez; 2022). Portanto, além de tentar promover o interesse do estudante pela disciplina, o professor precisa buscar alternativas de ensino com baixo investimento que possam ser eficazes e concisas no aspecto de aprendizagem.

Entendendo tais situações supracitadas como problemas crônicos de práticas pedagógicas em sala de aula, nós decidimos desenvolver um produto educacional que auxiliasse no ensino de lançamento oblíquo, com foco no conceito de *alcance* e que fosse de baixo custo, para isso construímos uma *trebuchet* (Apêndice A) com palitos de churrasco e cliques para papel, que pudesse lançar projéteis e atingissem certos alvos. Essa *trebuchet* foi fixada a uma extremidade de uma mesa, os projéteis foram *melados* de tinta e após a posição da arma medieval foram colocados papeis cartolina para marcarem as distâncias atingidas pelos projéteis lançados pela *trebuchet*.

Apropriando-se da metodologia de ensino de física abordada por Carvalho (2013), as Sequência de Ensino Investigativas (SEIs), produzimos uma sequência didática que propusera dois desafios para os estudantes que estavam operando a *trebuchet*: i) acertar uma peça de Rei do jogo de xadrez posto em uma posição aleatória da cartolina e ii) alcançar a maior distância possível em até no máximo cinco lançamentos. Através dessa metodologia foi possível

abordar os conceitos físicos, estimular a curiosidade e capacidade, avaliar os níveis de aprendizagem e classificá-los, conforme Carvalho (2013).

Para fundamentar nosso trabalho, realizamos uma pesquisa em dois portais de artigos e textos científicos em geral: i) Google Acadêmico e ii) base de dados do MNPEF, limitamos esta pesquisa para os últimos cinco anos, descartando o ano vigente, por conta de seu curto período. Portanto as pesquisas foram realizadas a despeito dos anos 2019 ao 2025. No Google Acadêmico fizemos a pesquisa seguindo a rigor o seguinte texto: “*sequência de ensino investigativa + lançamento oblíquo*”, esta pesquisa nos retornou 101 artigos, enquanto que na base de dados do MNPEF não obtivemos nenhum artigo nessas condições. Além desta pesquisa, buscamos os termos separados: para “*sequência de ensino investigativa*” encontramos 15.400 resultados no Google Acadêmico, enquanto na base de dados do MNPEF encontramos 435 dissertações, e para “*lançamento oblíquo*” encontramos 1.360 no Google Acadêmico e 50 documentos no MNPEF.

Como nosso trabalho trata-se de um dos conceitos físicos abordados no tocante ao lançamento oblíquo, o alcance, ainda fizemos uma terceira situação de busca: “*sequência de ensino investigativa + alcance*” e em ambas as plataformas obtivemos nenhum resultado de busca. Estes resultados nos mostram que ainda que ambas as áreas sejam trabalhadas de forma separadas, não há até o momento nenhum trabalho que se utilize dos dois argumentos para pesquisa, o que faz de nossa pesquisa pertinente e plausível em meio ao ambiente do ensino de Física. E é com base nessas condições abordadas acima que nosso trabalho teve como principal interesse responder a seguinte pergunta: “Como uma sequência de ensino investigativa pode impactar no ensino do conceito de alcance e lançamento oblíquo dos estudantes do 3º ano do ensino médio?”

Para avaliarmos, analisarmos e classificarmos nossa Sequência de Ensino Investigativa, nos valem os de i) diário de bordo do professor, ii) questionários abertos e iii) gravação de uma aula expositiva dialogada. Todo esse trabalho foi realizado em uma escola pública estadual em União dos Palmares-AL com estudantes da terceira série do ensino médio.

1.1 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Apoiando-se nos argumentos utilizados acima, definimos como objetivo geral:

i) analisar os impactos de uma sequência de ensino investigativa (SEI) no ensino de lançamento oblíquo e alcance horizontal.

E de maneira específica:

ii) utilizar o ensino investigativo como abordagem metodológica em sala de aula.

iii) produzir uma *mini trebuchet* que contribua com a SEI.

iv) elaborar uma SEI acerca do ensino de alcance para o ensino médio.

2. SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA (SEI)

A sequência de ensino investigativa (SEI) trata-se de uma proposta de ensino pautada no ensino por investigação, apropriando-se do contexto e do conhecimento cotidiano dos estudantes. Em suma, as SEIs têm como um de seus principais interesses, aproximar os estudantes do processo científico, já que é evidente que os estudantes não possuem maturidade para se comportarem ou até mesmo pensarem como cientistas (Carvalho, 2013). E é por esse motivo que as SEIs entram em ação, pois atreladas a mediação do professor podem aproximar o estudante dessa ambientação científica (Carvalho, 2013). E esse processo dar-se-á através dos questionamentos realizados pelo professor e da construção de respostas breves dos estudantes para algum problema também apresentado pelo professor.

Antes de falarmos da estrutura básica de uma SEI, faz-se necessário duas menções teóricas que contribuíram para a formação da metodologia baseada em problemas ou ensino por investigação. A primeira trata-se de Piaget com seus conceitos de *equilibração*, *desequilibração* e *requelibração* (Piaget, 1976 apud Carvalho, 2013). *Equilibração* trata-se do estado atual do estudante durante um novo processo de aprendizagem, isto é, seus conhecimentos estão equilibrados e já existem uma carga de conhecimento adquirida ao longo dos anos, dias ou até mesmo horas anteriores. Todo novo processo de aprendizagem segundo (Piaget, 1976 apud Carvalho, 2013) parte de uma problematização, pois a apresentação de um problema pode gerar um “desconforto” intelectual no “aprendiz” gerando uma *desequilibração*, é a partir desta *desequilibração* que o aprendiz se propõe a criar hipóteses e buscar respostas para um novo conhecimento.

Essa ideia, trata-se do berço do ensino construtivista – *qualquer novo conhecimento tem origem em um conhecimento anterior* – (Carvalho, 2013), isto é, propor um problema é fato de extrema importância no processo de aprendizagem do estudante, pois trata-se de uma ação manipulativa e para que haja a *requelibração* é necessário que o indivíduo trafegue da ação manipulativa para a intelectual, tomando consciência de suas ações (Piaget, 1976 apud Carvalho, 2013).

É através dessa conclusão de “flutuação” entre as ações manipulativas e intelectuais que podemos nos resguardar no que diz respeito ao ensino por investigação. As ações manipulativas tratarão de problemas que deverão ser apresentados pelos professores/mediadores e manipulados pelos estudantes, isto nos permite concluir que estes problemas deverão ser jogos, experimentos ou até mesmo textos (Carvalho, 2013), desde que esses possam ser manipulados pelos estudantes de forma primária ou secundária. E é exatamente este tipo de abordagem que se caracteriza como ativa, pois o estudante realiza ações e participa do processo de aprendizagem.

Entende-se primária a ideia de o próprio estudante manipular um experimento e secundária a ideia de estudantes que não possuem faixa etária para tal manipulação, e esta ficar a cargo do professor/mediador. Nesta segunda possibilidade o estudante não manipula o experimento, mas o professor deverá perguntar quais serão seus próximos passos a cada comando ordenado pelos estudantes, desta forma o estudante trabalhará de forma secundária. A flutuação da ação manipulativa para a ação intelectual fica a cargo do professor quando através de pequenos questionamentos leva o estudante a tomar consciência de como resolveu o problema e porque deu certo ou também o contrário: porque deu errado e porque não resolveu (Carvalho, 2013).

Esse momento de passagem de uma ação para a outra torna-se extremamente difícil para o professor, pois, não é trivial para o professor conduzir o estudante a sua tomada de consciência acerca de suas ações, para cada estudante ou grupo de estudante o professor deverá ter flexibilidade para questionamentos possivelmente diferentes e distintos para cada situação e isto cobra do professor um bom domínio conceitual do tema que esteja trabalhando. Além disso, é necessário que o professor permita o erro do estudante, pois o erro é imprescindível no processo de ensino, como diz Carvalho (2013):

É nesta etapa da aula que o professor precisa, agora ele, tomar consciência *da importância do erro na construção de novos conhecimentos*. Essa também é uma condição piagetiana. É muito difícil um aluno acertar de primeira, é preciso dar tempo para ele pensar, refazer a pergunta, deixá-lo errar, refletir sobre seu erro e depois tentar um acerto. O erro, quando trabalhado e superado pelo próprio aluno ensina mais do que muitas aulas expositivas quando um

aluno segue o raciocínio do professor e não o seu próprio. (Carvalho, 2013, pág 2)

Na sala de aula não trabalhamos com os estudantes de forma individualizada, mas sim com um conjunto de estudantes, salas de aulas com trinta ou mais estudantes e por essa razão traz-se à tona a segunda menção teórica: a visão de Vigotsky que versa acerca da interação social e construção do conhecimento a partir da partilha de concepções e experiências existentes entre cada indivíduo.

Esses processos sociais defendidos por Vigotsky firmam-se através de ferramentas ou artefatos culturais que medeiam a interação entre os indivíduos (Carvalho, 2013). O mais importante destes artefatos é a *linguagem*, principal artefato na construção de um aprendizado, pois muito além da relação professor-aluno que acontece através da linguagem, também é possível de enxergar essa interação entre os estudantes com suas linguagens próprias, facilitando a transformação da mente dos estudantes (Carvalho, 2013).

Vigotsky definiu também a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) que define a distância entre o “nível de desenvolvimento real” aquele que define a capacidade do indivíduo de resolver problemas sem ajuda e o “nível de desenvolvimento potencial” que é determinado através da solução de um problema de forma auxiliada por um professor ou companheiro (Vigotsky, 1984 apud Carvalho, 2013). Essa teoria apresenta a ideia de que o desenvolvimento real é aquele que já foi consolidado pelo indivíduo, de forma que este consiga realizar tarefas sozinho e ao longo deste processo seu desenvolvimento real aumente de forma processual.

Pode-se concluir que o nível de desenvolvimento real atual do indivíduo, um dia foi tratado como *potencial*, isso acontece pelo fato do indivíduo estar em processo de construção, isto é, a cada problema resolvido com a ajuda de alguém, o indivíduo poderá obter parte disto como conhecimento até que em certo momento consiga resolver um problema semelhante sem ajuda, o que torna o desenvolvimento potencial em real.

De certa forma, esta teoria explica o fato dos estudantes se sentirem mais à vontade para se expressarem e evidenciarem seus conhecimentos quando

estão organizados em grupos na sala de aula, pois os integrantes dos grupos farão parte de uma linha muito próxima de desenvolvimento real, os estudantes estarão em níveis semelhantes e por isso para eles será mais fácil compreender o conceito discutido por estarem em consonância com suas linguagens.

Em suma torna-se mais confortável discutir com quem teve uma retenção de conhecimento histórica muito semelhante à sua, ao invés de discutir com um professor, por exemplo que está em um nível potencial diferente, tendo como referencial o estudante.

Faz-se necessário esclarecer que a interação dos alunos apenas entre eles não será necessariamente suficiente para o desenvolvimento cognitivo e apreensão do conteúdo, portanto, a teoria vigotskiana prevê em algum momento do processo, a necessidade do diálogo com indivíduos considerados “mais capazes”, ou seja, é importante que haja um desnível cognitivo nesta interação, que na maioria das vezes acontecerá devido a presença de um professor na sala de aula.

Percebe-se, portanto, que as duas teorias defendem a ideia de que o processo de ensino deve partir de uma problematização, apoiando-se majoritariamente nas concepções espontâneas dos estudantes, preocupando-se com a *bagagem* que os estudantes já carregam consigo, através dos anos escolares anteriores e experiências vivenciadas. Como mencionado acima, trata-se de uma definição básica para o tipo de ensino construtivista.

2.1 ESTRUTURA DA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA (SEI)

Como já mencionado acima e baseando-se nas apresentações teóricas do ensino construtivista, as SEIs se apoiam nos pilares da problematização para o ensino e da linguagem como artefato de ensino. Segundo Carvalho (2013), trata-se de uma metodologia de ensino que através da investigação aproxime os estudantes do processo científico, criando um ambiente de investigação em sala de aula que permita aos estudantes a elaboração de hipóteses, validá-las (ou não) através da manipulação, e aprender de forma processual com as falhas e erros em suas tomadas de decisões.

De forma gradativa, garantir que os estudantes possam ampliar suas culturas científicas, adquirindo processualmente a linguagem científica e, portanto, uma alfabetização científica (Sasseron e Carvalho, 2008 apud Carvalho 2013). Alfabetização científica esta que se trata da *reformulação* dos conhecimentos dos estudantes já acumulados no cotidiano, aproximando-os da argumentação científica, do processo de ação científica, da ciência no cotidiano e etc. gerando desta forma uma *alfabetização científica*.

É necessário deixar evidente que a SEI não se trata de uma réplica das teorias supracitadas, mas na verdade uma apropriação das ideias atreladas a uma maneira de ensino por investigação. De modo geral, a estrutura da SEI possui quatro etapas: i) *O problema*, que poderá ser experimental ou não experimental, ii) *Atividade de sistematização*, que preferencialmente se dará através de atividades de leituras, iii) *Contextualização*, trata-se da aproximação do conteúdo abordado ao contexto do estudante, através do cotidiano ou da história da ciência e iv) *Avaliação*, que poderá ser qualquer tipo de avaliação desde que ela tenha um caráter formativo e que fuja na medida do possível da avaliação costumeiramente utilizada em sala de aula (Carvalho, 2013).

2.2 PROBLEMA

O problema geralmente é um produto experimental que pode ser manipulado pelo estudante ou pelo professor seguindo ordens/comandos dos estudantes, mas também pode ser um problema textual ou uma demonstração investigativa, quando o professor opera o material a partir das conclusões e/ou hipóteses geradas pelos estudantes. O problema tem a responsabilidade de instigar o estudante e promover possibilidades de manipulação diferentes, não pode ser algo que não proporcione meios diferentes de utilização, pois o processo precisa ser o mais semelhante possível a um processo científico, permitindo a elaboração e testes de hipóteses.

A proposta de utilização não pode ser difícil demais a ponto de assustar os estudantes e também não pode ser simples demais a ponto de os estudantes resolverem em poucos minutos, trata-se, portanto, da principal parte da SEI, precisa estar atrelado ao conceito teórico que você pretende abordar e também

estar presente na cultura social dos estudantes de modo que cause curiosidade e até mesmo uma sensação de competição.

A aplicação desta etapa gera consigo quatro partes, trata-se do i) gerenciamento da turma, ii) evidenciação do problema e material que deverá ser utilizado, iii) sistematização das soluções encontradas e iv) escrita das sistematizações realizadas. A primeira parte diz respeito a distribuição do material e apresentação do problema do professor; o professor divide a turma em pequenos grupos e apresenta os materiais que deverão ser utilizados e o problema que deverão solucionar. A segunda parte trata-se da resolução do problema pelos estudantes e o principal dever do professor é andar de grupo em grupo verificando se os estudantes entenderam bem o comando e deixá-los trabalhar.

A terceira parte é o momento em que os estudantes deverão sistematizar suas soluções através de perguntas diretas, realizados pelo professor, do tipo - *“como vocês conseguiram resolver o problema?”* – e em seguida, perguntas como - *“por que vocês acham que deu certo?”* – ou outras perguntas que sigam esta mesma lógica. Já a quarta parte, é o momento em que os estudantes deverão individualmente escreverem ou desenharem a sistematização dos conceitos abordados por eles durante a manipulação do aparato experimental e as perguntas realizadas pelo professor, após discutirem com seus pares ou grupos, deverão registrar as informações abstraídas através da escrita.

2.3 ATIVIDADE DE SISTEMATIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

Essa atividade prioritariamente deve ser realizada através da leitura – para estudantes do ensino médio, eles mesmo deverão ler, já para alunos do ensino fundamental a leitura fica a cargo do professor – de um texto que envolva os conceitos científicos abordados durante a ação manipulativa e também relacionados ao aparato experimental em questão. O texto tem como principal intuito amarrar os conceitos formais das ciências às situações que foram vivenciadas pelos estudantes ao longo de suas manipulações experimentais.

Essa etapa faz-se necessária, pois embora tenha havido engajamento dos estudantes no que diz respeito a manipulação e compreensão do problema, o docente ainda pode não ter certeza a respeito da compreensão do conteúdo

dos discentes, para isso o texto muito bem fundamentado servirá para consolidar a prática ao conceito e efetuar a possível transgressão do modo informal para o formal, com cunhos técnicos e compreensões científicas.

2.4 CONTEXTUALIZAÇÃO

Nesta etapa, a proposta é que o problema apresentado atrelado ao conceito envolvido seja aproximado à realidade do estudante, isto é, fazer com que o conceito científico abordado esteja dentro do contexto social do estudante. Naturalmente, uma maneira de se chegar a essa *contextualização* é através de perguntas como “*você consegue relacionar essa atividade em algum momento do seu dia a dia?*”, ou até mesmo algo a respeito das vivências dos estudantes, retomando àquele fato importante mencionado anteriormente, de ser levado em consideração a bagagem de conhecimento do estudante durante uma atividade metodológica de ensino.

Esta aproximação também pode ser feita de uma forma que transcenda a ideia do pensar no cotidiano, o professor pode preparar uma atividade com texto, explanação, simulação, vídeo e outros meios que aproxime a situação abordada durante o problema a alguma outra situação situada em um dessas outras atividades. Uma possibilidade por exemplo seria com respeito ao ensino de lançamento horizontal, além do problema utilizado o professor poderia propor uma ampliação de repertório do estudante por meio de um vídeo de um canhão que analise o movimento do projétil, através de uma simulação que demonstra os conceitos de balísticas e etc.

Uma outra possibilidade de contextualização do conteúdo seria através da História e Filosofia das Ciências, possibilitando ao estudante um arcabouço relacionado à evolução das ciências aos longos dos anos, evidenciado sua importância no desenvolvimento social por meio de objetos ou ferramentas que foram construídas e melhoradas conforme avanço científico.

2.5 AVALIAÇÃO

A avaliação costumeiramente é realizada ao final de uma metodologia ou proposta didática, com característica somativa, afim de “quantizar” a aprendizagem, porém, neste tipo de ensino investigativo a avaliação dever ser

formativa e processual, e neste caso não pode se resumir a apenas a avaliação do fim do ciclo, os estudantes devem ser observados e avaliados do início do ciclo de aplicabilidade da SEI até o fim deste mesmo ciclo, para isto acontecer deve-se pensar em instrumentos avaliativos que condizem com o ensino proposto, isto é, deve ser mantida as mesmas características. E precisa ser levado em consideração o fato de que a proposta da SEI estar pautada na ideia de um ensino cujos objetivos concentram-se tanto no aprendizado dos conceitos, termos e noções científicas quanto no aprendizado de ações, atitudes e valores próprios da cultura científica (Carvalho, 2013).

Desta maneira, precisamos compatibilizar a avaliação de forma que seja possível avaliar os conceitos, termos e noções científicas, avaliar as ações e processos da ciência e avaliar as atitudes dos estudantes durante as atividades realizadas. Isso evidencia que a avaliação vai muito além de um momento realizado através de um procedimento avaliativo, a avaliação de uma SEI precisa ser processual e sobretudo diretamente relacionada a observação durante a aplicação desta metodologia de ensino.

De certa forma, esse tipo de avaliação cria um desconforto no professor, que está acostumado a fazer avaliações que verifiquem os conteúdos conceituais conforme os exames externos, e até mesmo internos, costumam trabalhar. Para a SEI é necessário que o professor se desprenda do método de avaliar a qual historicamente estamos ligados e entenda que a avaliação precisará ser processual e atitudinal – verificação social das atitudes dos estudantes – faz-se necessário compreender que a avaliação deverá ter como principal foco a aprendizagem do conteúdo, e para isso o professor precisa pensar em atividades que fujam dos padrões e que possa verificar a aprendizagem através de desenhos, textos etc.

Essas avaliações de aprendizagens processuais e atitudinais são extremamente importantes em um processo de ensino por investigação, podemos identificar resultados avaliativos observando os estudantes durante a ação manipulativa (Carvalho, 2013), se ao longo desta atividade os estudantes colaboram entre si com dicas e sugestões, eles apresentam uma aprendizagem atitudinal e se no momento em que precisam explicar o êxito dos seus feitos criam hipóteses e testam, isto apresenta uma aprendizagem processual. Se

durante a aula o estudante espera sua vez de falar e observa com atenção a contribuição do colega, isso é uma aprendizagem atitudinal, e se durante sua fala ele consegue relacionar os feitos do grupo com os conceitos científicos abordados, apresenta domínio da ação manipulativa e relaciona causa e efeito, esta situação poder caracterizada como uma aprendizagem processual.

Outras situações também podem ser enquadradas no aspecto de aprendizagem atitudinal: escrever as respostas dos grupos utilizando verbos de ação no plural, durante a construção de painel identificar a colaboração do grupo em prol de uma ideia e etc. Já outra forma de verificar uma aprendizagem processual é no momento em que os estudantes relatam por meio de texto ou desenho as relações das ações e os fenômenos observados e também a sequência de ações realizadas.

O mais importante durante a avaliação é que o professor tenha em mente que todas as ações realizadas em grupos ou individuais devem ser consideradas, tendo em vista que a avaliação deve ser somativa, a aplicação da SEI deve ser processual, muito embora deva haver uma avaliação ao final para validar a metodologia, é necessário que o professor busque meios para avaliação durante o processo também.

2.6 SEI NO ENSINO DE FÍSICA: O QUE DIZEM AS PESQUISAS?

Já indicado anteriormente, muitos trabalhos e pesquisas têm sido realizadas a respeito das SEI, aplicando-as ou analisando suas aplicações, gerando um total em torno de 15 mil documentos, é evidente que não teríamos como discutir todos esses trabalhos, portanto tentaremos discutir alguns trabalhos que melhor se assemelhem a nossa pesquisa, à medida que suas discussões sirvam de acréscimos significantes para a nossa pesquisa.

Fato interessante de ser mencionado é de que as produções têm perpassados por quase todos os campos do ensino de física, porém nos reduziremos nesta breve análise a algumas pesquisas feitas no campo da mecânica e outras que abordam de maneira discursiva seus impactos na sala de aula, começaremos pela segunda.

Freitas e Briccia (2020), discursam sobre as potencialidades de uma SEI aplicada no ensino infantil, realizaram um trabalho discutindo os aspectos científicos do solo com estudantes que tinham em média 05 anos de idade, fazendo-os cuidarem do solo, plantarem e cultivarem. Concluíram que a SEI utilizada serviu de agente potencializador para a inserção das crianças ao *mundo científico*, possibilitando que as crianças fizessem investigações através de experimentos, acompanhassem os processos do plantio, gerando conclusões ou até mesmo hipóteses acerca do processo do plantio. Embora esta pesquisa não tenha relação direta com Física, achamos interessante aborda-la pelo fato de a atividade ser trabalhada na educação infantil.

Rodes, Silva e Garcia (2019), discutem os impactos de uma SEI voltada para o ensino de Hidrostática em uma turma da primeira série do ensino médio. Se apropriam de filmagens, áudios e produções textuais para uma análise qualitativa da aplicação da SEI. Concluíram que as perguntas pautadas no “como” ou “porque” serviram como grandes agentes potencializadores do processo de ensino e consideram a aplicação desta SEI de maneira positiva para a ressignificação da prática docente, embora pontuem alguns desafios para o docente, entendem que se trata de um bom caminho para o ensino.

Moura, Costa e Freire (2019), trabalharam os conceitos da primeira lei de Newton através de uma SEI em que os estudantes trabalham em grupos desenvolvendo argumentação científica. Eles concluem que a SEI quando bem elaborada aplicada na sala de aula fomenta a curiosidade do estudante e a vontade de investigar, como consequência os estudantes demonstram construção do conhecimento científico.

Moura e Silva (2019), se validam dos conceitos de empuxo para a medição da aceleração gravitacional, através de atividades experimentais. Questionam os estudantes acerca dos objetos postos na água se boiam ou não e solicitam que calculem o empuxo adotando a aceleração gravitacional padrão. E por fim, desafiam os estudantes após uma tomada de atividades experimentais a calcularem a aceleração gravitacional utilizando os conhecimentos abordados até então. Concluem que a SEI possibilita aos estudantes a inclusão em suas próprias atividades, o estudante passa a ser o principal agente do processo de aprendizagem. E notam ainda, que esse tipo de planejamento proporciona ao

estudante condições de transformar o conhecimento prévio em conhecimento científico através de atividades estimulantes.

Teixeira, Silva e Gonçalves (2021), utilizam a SEI para o ensino de cinemática, especificamente a ideia de lançamento vertical, utilizam como artifício para a SEI o simulador de canhão do PhetColorado. O problema da SEI se trata do tempo de queda de dois lançamentos distintos, um horizontal a 0° e outro a 90° (queda livre), a questão que envolverá a abordagem é “qual dos dois lançamentos alcançam o chão primeiro”. Os autores percebem que a SEI pode ser de grande auxílio no que diz respeito a fixação e compreensão do conteúdo, além é claro do viés extremamente científico, de elaboração de hipóteses, testes e etc.

Marcelino (2020), produziu um produto educacional para o estudo do movimento dos corpos através de uma SEI, as atividades experimentais se apropriam de um sistema de aquisição de dados que coleta valores da posição em função do tempo de um objeto utilizando sensor ultrassônico e plataforma Arduino, este sistema possibilitou o estudo do Movimento Retilíneo Uniforme, Movimento Retilíneo Uniformemente Variado e Movimento Harmônico Simples. Esta SEI foi aplicada com estudantes da primeira série do ensino médio e a autora concluiu que a SEI proporciona uma assimilação do conhecimento prévio ao científico e ainda que este tipo de abordagem facilita e oportuniza a compreensão dos conceitos físicos.

Mélo Filho (2022), abordou os conceitos de plano inclinado através de uma SEI como produto educacional. Aplicou esta sequência em uma turma do primeiro ano do ensino médio e por meio de questionários e um aparato experimental, notou evolução dos estudantes ao longo do processo no que diz respeito ao vocabulário científico, verificando a progressão do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico e também, na facilitação em compreensão por parte dos alunos através dessa proposta de ensino o conceito da força de atrito.

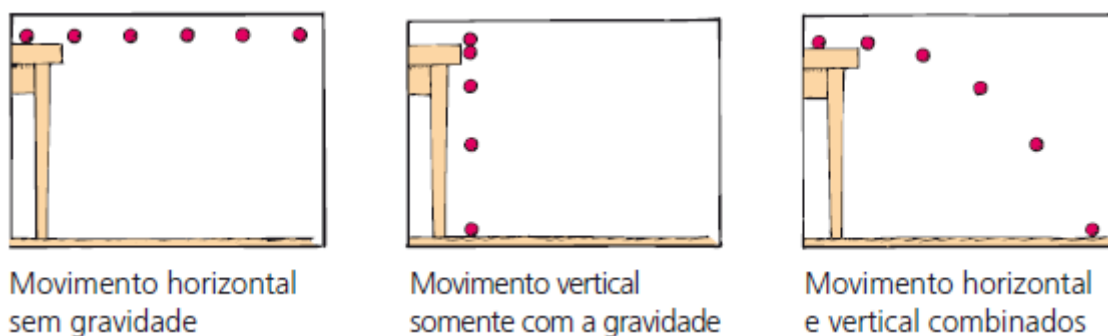
Embora, tenhamos apresentado aqui apenas atividades que se relacionam de forma direta ou indireta ao nosso trabalho, nota-se que mesmo que amplamente trabalhada a ideia da SEI, as conclusões se assemelham

bastante, a maioria dos autores concluem que a aplicação deste tipo de metodologia em sala de aula gera curiosidade, proporciona construção do conhecimento científico e produz “ampliação” do conhecimento prévio para o conhecimento científico. É, portanto, uma metodologia de ensino que proporciona frutos positivos e discussões necessárias para o ensino de física.

3. LANÇAMENTO OBLÍQUO (LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS)

O principal interesse deste trabalho está na abordagem do conceito de alcance horizontal e, portanto, para este argumento matemático surgir, precisaremos analisar uma situação de lançamento horizontal. Imagine um mundo sem gravidade, se atirássemos uma pedra à certa angulação, ela seguiria uma trajetória retilínea, no entanto sabemos que a trajetória realizada pelo lançamento de um projétil na horizontal é na verdade curvilínea, gerando uma análise vertical e uma análise horizontal (figura 1).

Figura 1. Análise das situações dos movimentos verticais e horizontais



Fonte: Hewitt, 2015

A componente vertical pode ser aproximada a um movimento de queda livre, enquanto que a componente horizontal (desprezando o atrito) se assemelha aos problemas padrões de cinemática no que diz respeito ao movimento retilíneo uniforme, tal qual o movimento de um carro à velocidade constante numa rodovia horizontal sendo desconsiderado o atrito causado nas rodas pela rodovia.

3.1 PARA O MOVIMENTO HORIZONTAL

Como dito anteriormente, na análise do lançamento de projétil, o movimento horizontal é uniforme, logo sua aceleração é nula. Conclui-se que a componente horizontal v_x da velocidade do projétil permanecerá inalterada e

igual ao seu valor inicial v_{0x} durante toda trajetória. Ou seja, em qualquer instante t o deslocamento horizontal do projétil em relação à posição inicial ($x - x_0$) será dado por:

$$x - x_0 = v_{0x}t \quad (1)$$

Como $v_{0x} = v_0 \cos \theta_0$, temos:

$$x - x_0 = (v_0 \cos \theta_0)t \quad (2)$$

3.2 PARA O MOVIMENTO VERTICAL

Para analisarmos o movimento vertical, basta associarmos as equações ao movimento de queda livre, um movimento uniformemente acelerado na vertical, ou seja, a aceleração será gravitacional ($-g$) e o eixo será o y . Dessa forma:

$$y - y_0 = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (3)$$

Como $v_{0y} = v_0 \sin \theta_0$, temos:

$$y - y_0 = (v_0 \sin \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (4)$$

Após ambas as análises, podemos retirar a partir das equações dois argumentos algébricos que conciliam com conceitos físicos: i) equação de trajetória e ii) alcance horizontal.

3.3 EQUAÇÃO DE TRAJETÓRIA

Podemos obter a equação de trajetória do projétil eliminando o t nas equações 2 e 4, tomando as posições iniciais x_0 e y_0 iguais a 0.

Da equação 2, temos:

$$t = \frac{x}{v_0 \cos \theta_0} \quad (5)$$

Substituindo a equação 5 na equação 4:

$$y - 0 = (v_0 \sin \theta_0) \frac{x}{v_0 \cos \theta_0} - \frac{1}{2}g \left(\frac{x}{v_0 \cos \theta_0} \right)^2$$

$$y = (\tan \theta_0)x - \frac{gx^2}{2(v_0 \cos \theta_0)^2} \quad (6)$$

Quando adotamos $v_y = 0$, temos que o projétil estará em sua altura máxima, e seu tempo até alcançar sua altura máxima será igual a:

$$v_y = v_0 \sin \theta_0 - gt$$

$$0 = v_0 \sin \theta_0 - gt$$

$$t = \frac{v_0 \sin \theta_0}{g} \quad (7)$$

Se pararmos para pensar nesse resultado encontrado para o tempo, podemos por simetria da trajetória parabólica do projétil inferir que ele levará o dobro do tempo para voltar a alcançar o solo. Com isso, o tempo para todo movimento:

$$t = \frac{2v_0 \sin \theta_0}{g} \quad (8)$$

3.4 EQUAÇÃO DO ALCANCE HORIZONTAL

O alcance horizontal de um projétil, nada mais é que a distância horizontal percorrida pelo projétil até voltar à sua altura inicial (altura de lançamento). Adotaremos $x - x_0 = A$ e aplicaremos a equação (8) na equação (2):

$$A = (v_0 \cos \theta_0)t$$

$$A = (v_0 \cos \theta_0) \frac{2v_0 \sin \theta_0}{g}$$

$$A = \frac{2v_0^2 \cos \theta_0 \sin \theta_0}{g}$$

É sabido que por identidade trigonométrica: $2 \cos \theta_0 \sin \theta_0 = \sin 2\theta_0$, portanto:

$$A = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{g} \quad (9)$$

Para esta equação, se faz importante mencionar duas características de extrema importância: i) esta equação não fornece o alcance quando a altura final é diferente da inicial e ii) analisando a equação, percebe-se que matematicamente o maior alcance seria quando o argumento do seno fosse igual

a um. Na conjectura da equação, esse seno seria igual a um quando o ângulo fosse de 45° , pois iríamos obter um seno de 90° que seria igual 1.

Também é válida a ressalva de que estas fundamentações algébricas se baseiam no modelo ideal deste movimento, isto é, trata-se de um modelo matemático que não se apropria de todas as características possíveis para a situação. Se fizermos um exame de consciência, notaríamos que além das informações já mencionadas em todas as equações acima, seria de extrema importância que características como *resistência do ar*, *diâmetro do projétil* e *massa*, fossem também levadas em consideração na modelagem matemática. Isto não aconteceu, pois o intuito do é trabalhar de fato o modelo ideal e por este motivo, toda modelagem foi voltada para análise simples do movimento em questão.

No livro *Dinâmica Clássica de Partículas e Sistemas* dos autores Stephen T. Thorton e Jerry B. Marion, entre as páginas 52 e 64, o modelo matemático para o lançamento oblíquo é melhor aproximado para o real e são feitas algumas discussões acerca dos modelos, para tanto são necessárias algumas artimanhas numéricas e/ou computacionais para a conclusão de que o alcance melhor aproximado da realidade seja:

$$A' \cong \frac{2UV}{g} \left(1 - \frac{4kV}{3g} \right) \quad (10)$$

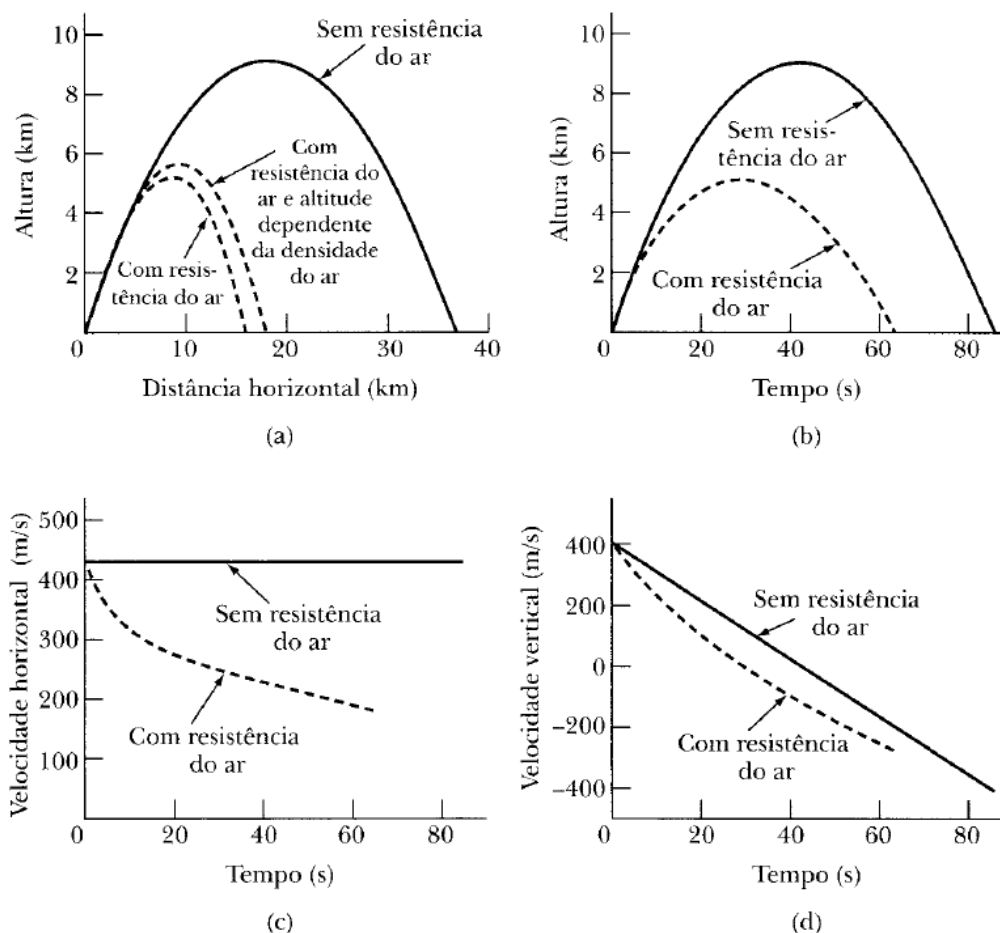
Para melhor compreensão desta equação entenda $U = v_0 \cos \theta$, $V = v_0 \sin \theta$ e k como constante da força de retardo e parâmetro de expansão utilizando-o para pequenos valores, tendo em vista que quando $k = 0$, temos a situação já modelada na equação 9. Se bem observamos podemos definir $2UV/g$ como sendo exatamente a equação de alcance, logo, podemos reescrever a equação de maneira que:

$$A' \cong A \left(1 - \frac{4kV}{3g} \right) \quad (11)$$

À frente, nos validaremos, para breve discussão, de quatro gráficos montados pelos autores do livro com respeito a um lançamento em que seus parâmetros são: $v_0 = 600 \text{ m/s}$, $\theta_0 = 45^\circ$, $m_{\text{projétil}} = 30 \text{ kg}$ e com a resistência do

ar. Percebe-se que além da angulação ideal e velocidade inicial, serão consideradas a massa do projétil e a resistência do ar.

Figura 2. Gráficos para análise da situação supracitada



Fonte: Thorton, Marion, 2011

Os gráficos se tratam das comparações entre os modelos ideais e aproximadamente reais, na figura 2a é possível notar que o lançamento para uma situação em que se é desconsideradas as variáveis *força de retardo*, *densidade do ar*, *massa e diâmetro do projétil* o alcance é algo em torno de 37km enquanto que numa situação em que se é considerada apenas a força de retardo o alcance torna-se algo em torno de 16km e se levada em consideração a densidade do ar, este alcance torna-se aproximadamente 18km. Se trata, portanto, de uma diferença absurda considerando-se apenas uma das variáveis.

Nas figuras 2c e 2d são apresentadas as comparações para as velocidades horizontais e verticais deste projétil, é conclusivo que a resistência do ar interfere nas velocidades de forma que decresçam rapidamente até

alcançarem a velocidade do som e então a taxa de variação destas velocidades se mantém constantes em alguma extensão (Thorton, Marion, 2011).

Através desta breve discussão podemos concluir que a força de retardo será proporcional a velocidade, isto é, quanto maior a velocidade do projétil maior será a força de retardo e também podemos concluir que o melhor ângulo de lançamento deixa de ser 45° e passa a ser algo que precisa ser aferido conforme as condições do projétil, lançador e ambiente.

4. TREBUCHET

Reservamos um capítulo para falar sobre a trebuchet, por razões dela se tratar do aparato experimental que faz parte da SEI que produzimos. Um instrumento que possui muitas aplicações físicas, mas o foco principal para este trabalho foi no lançamento oblíquo na perspectiva do conceito de alcance máximo. É evidente que existem outras aplicações físicas que poderiam ser utilizadas para a sala de aula, como o conceito de conservação de energia mecânica e a ideia do torque em uma alavanca

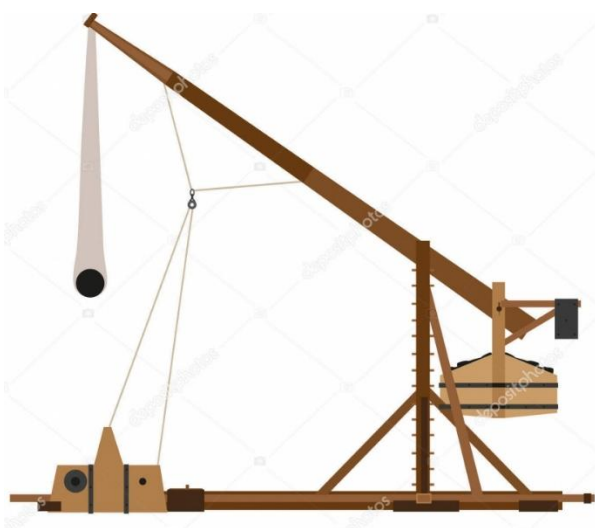
Durante a Idade Média, as guerras de cerco eram comuns, e diversas tecnologias foram desenvolvidas para transpor muralhas e fortalezas. A trebuchet destacou-se como uma das mais poderosas armas de cerco por sua capacidade de lançar projéteis pesados a grandes distâncias. Ao contrário das catapultas tensionadas por cordas ou torções, a trebuchet operava com base em um contrapeso, o que conferia maior eficiência e controle ao disparo. Este estudo visa analisar tanto o contexto histórico de sua utilização quanto os princípios físicos que explicam seu funcionamento.

A origem da trebuchet remonta à China antiga, por volta dos séculos III e V, sob a forma de versões menores acionadas por tração humana. Com o tempo, o conceito se espalhou pelo mundo islâmico e europeu, alcançando seu ápice técnico no período das Cruzadas (séculos XI a XIII). Durante esse período, as trebuchets podiam lançar projéteis de até 100 kg a distâncias superiores a 200 metros (DeVries, Smith, 2007). A máquina foi utilizada até o advento da pólvora, quando canhões e armas de fogo se tornaram dominantes.

A trebuchet funciona essencialmente como uma alavanca de segunda classe. Um braço longo é conectado a um eixo de rotação fixo. De um lado do braço, um contrapeso pesado é suspenso; do outro lado, uma funda contém o projétil. Ao liberar o contrapeso, a força gravitacional o puxa para baixo, fazendo com que o braço rotacione rapidamente e a funda lance o projétil.

A relação de braços desiguais (braço do contrapeso mais curto que o braço do projétil) permite amplificar a velocidade angular na extremidade da alavanca. Isso é um exemplo clássico de vantagem mecânica, onde uma grande força é convertida em grande velocidade.

Figura 1 – Esboço de Trebuchet ou Trabuço



Fonte: Retirada do site DepositPhotos¹

A trebuchet representa uma impressionante aplicação empírica dos princípios da Física muito antes da formulação formal das leis de Newton. Sua eficiência e poder de destruição contribuíram significativamente para as estratégias de guerra durante a Idade Média. Analisar seu funcionamento sob a ótica da Física permite não apenas entender melhor as tecnologias antigas, mas também valorizar o conhecimento acumulado das civilizações passadas. No produto educacional (Apêndice A) indicaremos um modelo de construção de baixo custo de uma mini trebuchet.

¹ Disponível em: <https://depositphotos.com/br/vector/trebuchet-catapult-vector-icon-war-medieval-siege-illustration-weapon-wood-ancient-sling-shot-historical-167600758.html> . Acesso em: 05 abr. 2025

A respeito de trabalhos que utilizem a trebuchet como artifício para o ensino de física, encontramos dois: Almeida Filho (2012) que utiliza a trebuchet como instrumento experimental para validações das equações de alcance e altura máximas e Souza (2020) que constrói uma sequência didática na ótica da aprendizagem significativa para o ensino de lançamento oblíquo utilizando como aparatos experimentais, a catapulta e a trebuchet.

Ambas as pesquisas foram pensadas com o interesse de fugir da abordagem matemática do lançamento oblíquo se valendo do aspecto lúdico e qualitativo da utilização de experimentos. Os autores concluem que a utilização da trebuchet não só remota ao ensino científico como também se leva em consideração os aspectos históricos da evolução das armas medievais.

5. METODOLOGIA

Através das formalizações e caracterizações de pesquisa abordadas nos textos de Gil (2002), Zanella (2011) e André (2013), faz-se importante caracterizar esta pesquisa em quatro aspectos: i) quanto a sua natureza, ii) quanto aos seus objetivos, iii) quanto a sua abordagem e iv) quanto ao seu procedimento. Esta pesquisa possui natureza *aplicada* e entende-se por pesquisa aplicada aos moldes de Zanella (2011) que se trata de uma pesquisa que tenha como finalidade gerar solução para um problema ou entender como lidar com um problema, esta pesquisa possui essa característica pois buscamos entender de que forma uma SEI pode auxiliar para o ensino do conteúdo de alcance,

Quanto aos seus objetivos, trata-se de uma pesquisa *exploratória* que busca ampliar o conhecimento a respeito de um determinado fenômeno (Zanella, 2011). Este tipo de pesquisa tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema de forma que o mesmo se torne mais simples de lidar e permita a construção de hipóteses, tem como principal interesse o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições (Gil, 2002). Levando em consideração que o processo de pesquisa para o ensino abordado nesta pesquisa é pautado na investigação, faz-se valer a ideia de elaboração de hipóteses, de descobertas e ampliação do conhecimento.

Quanto a sua abordagem, trata-se de uma pesquisa do tipo *qualitativa*, este tipo de abordagem de dados se valia na nula ou quase nula utilização de instrumentos estatísticos de análises de dados (Zanella, 2011). Terá maior preocupação com os *porquês* durante o processo de aplicação da pesquisa, por se tratar de um processo de pesquisa através de uma SEI, a avaliação será processual e por tanto a análise se dará de forma subjetiva através de observações e no decorrer da aplicação da pesquisa, isso implica em uma obtenção de dados qualitativa ao invés de quantitativa levando em consideração os aspectos sociais e atitudinais dos estudantes, como já fora mencionado neste trabalho.

Por fim, concluímos que esta pesquisa quanto ao seu procedimento possui caráter de *estudo de caso*, trata-se de uma característica de pesquisa que possui grande profundidade, pequena amplitude e busca entender a

realidade de um indivíduo ou grupo de pessoas de uma ou mais organizações (Zanella, 2011). O estudo de caso também faz parte de uma análise das interações cotidianas dos indivíduos, suas linguagens, suas produções culturais, suas interações sociais e etc. como afirma André (2013):

[...] Assim, o mundo do sujeito, os significados que atribui às suas experiências cotidianas, sua linguagem, suas produções culturais e suas formas de interações sociais constituem os núcleos centrais de preocupação dos pesquisadores. Se a visão de realidade é construída pelos sujeitos, nas interações sociais vivenciadas em seu ambiente de trabalho, de lazer, na família, torna-se fundamental uma aproximação do pesquisador a essas situações. (André, 2013)

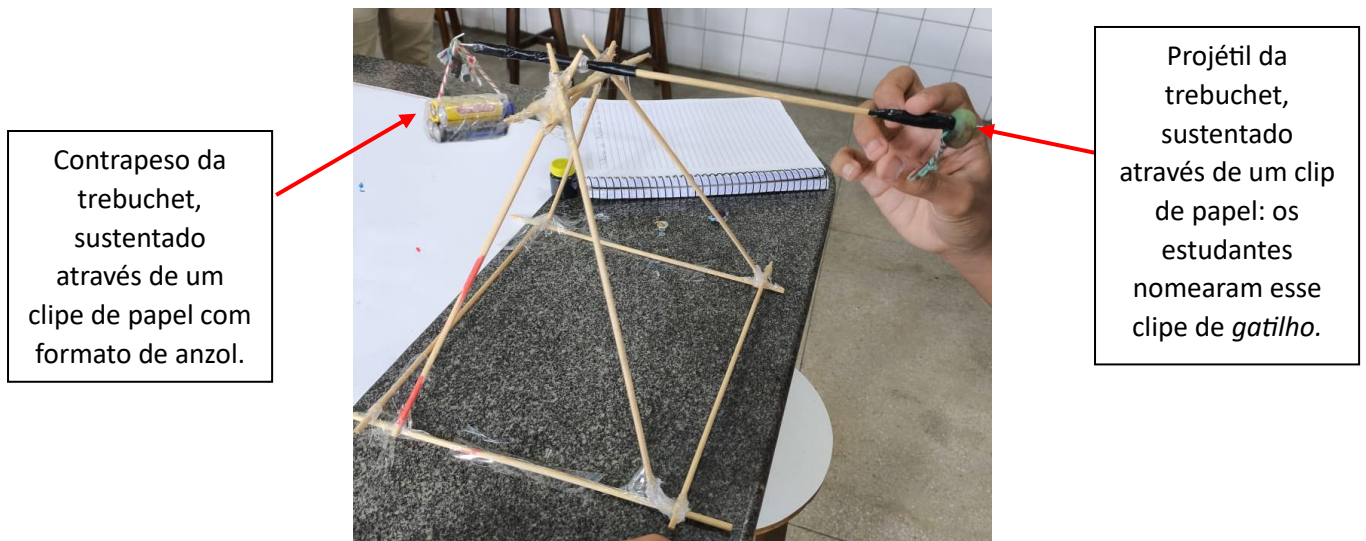
Consegue-se perceber que esta breve definição do estudo de caso apresentada condiz com a ferramenta SEI, pois evidencia-se a avaliação atitudinal e processual e também a importância do meio social do estudante durante o processo de análise e obtenção de dados. Concluímos, portanto, que a pesquisa é do tipo aplicada, exploratória e qualitativa de estudo de caso.

5.1 PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional (Apêndice A) desta pesquisa trata-se de uma sequência didática investigativa aos moldes da pesquisa de Carvalho (2013), logo, segue as etapas necessárias para sua produção, que são i) problema, ii) sistematização, iii) contextualização e iv) avaliação. O principal instrumento desta sequência se trata de um aparato experimental: uma mini *trebuchet* feita com palitos de churrasco; toda abordagem da sequência será em torno deste aparato.

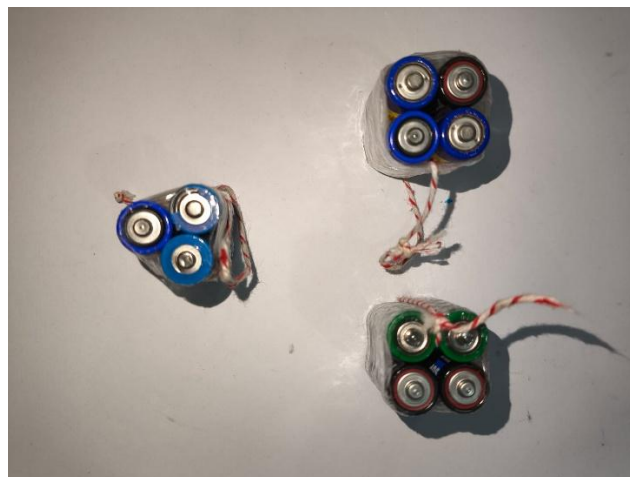
Para a produção desta *trebuchet* serão necessários 10 palitos de churrasco, 3 cliques para papel, bastão de cola quente e fita isolante (figura 1), as informações acerca do roteiro de produção se encontra no produto educacional (Apêndice A). Para o contrapeso (figura 2) utilizamos pilhas médias em dois grupos de quatro pilhas e um grupo de três pilhas e para os projéteis (figura 3) utilizamos porcas de parafusos de quatro tamanhos distintos:

Figura 1: Esquematização do aparato experimental: *trebuchet*



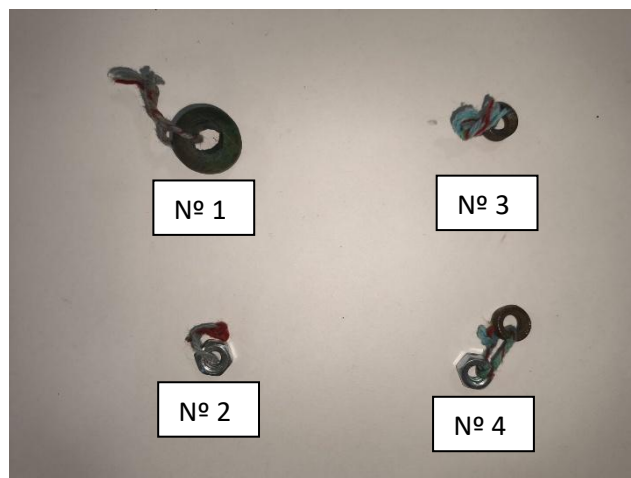
Fonte: Autor, 2025

Figura 2: Grupos de contrapeso utilizados no aparato experimental



Fonte: Autor, 2025

Figura 3: Projéteis utilizados no aparato experimental



Fonte: Autor, 2025

Faz-se necessário ressaltar que a produção destas trebuchets ficaram a cargo dos estudantes, o professor se encarregou de auxiliar os estudantes quando solicitado e definir *a priori* qual modelo de trebuchet seria replicado pelos estudantes e quais contrapesos e projéteis seriam utilizados durante esta aplicação. Outro detalhe importante de ser mencionado é o fato do clipe de sustentação do projétil (*gatilho*) ter possibilidade de maleabilidade, o que é de extrema importância levando em consideração que o estudo do alcance depende exclusivamente do ângulo de lançamento.

5.2 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Este produto educacional foi aplicado em uma escola estadual de ensino em tempo integral situada no município de União dos Palmares, Alagoas, distante da capital Maceió por aproximadamente 80km, escola formada por 13 turmas em 2024 (ano da realização da pesquisa), sete turmas de primeiro ano, três turmas de segundo ano e três turmas de terceiro ano. A turma escolhida para participar da pesquisa foi o terceiro ano dois (3º02) pelo motivo de ao longo da semana ter o maior número de aulas do professor pesquisador. Os encontros aconteciam duas vezes na semana, cada dia com duas horas/aula.

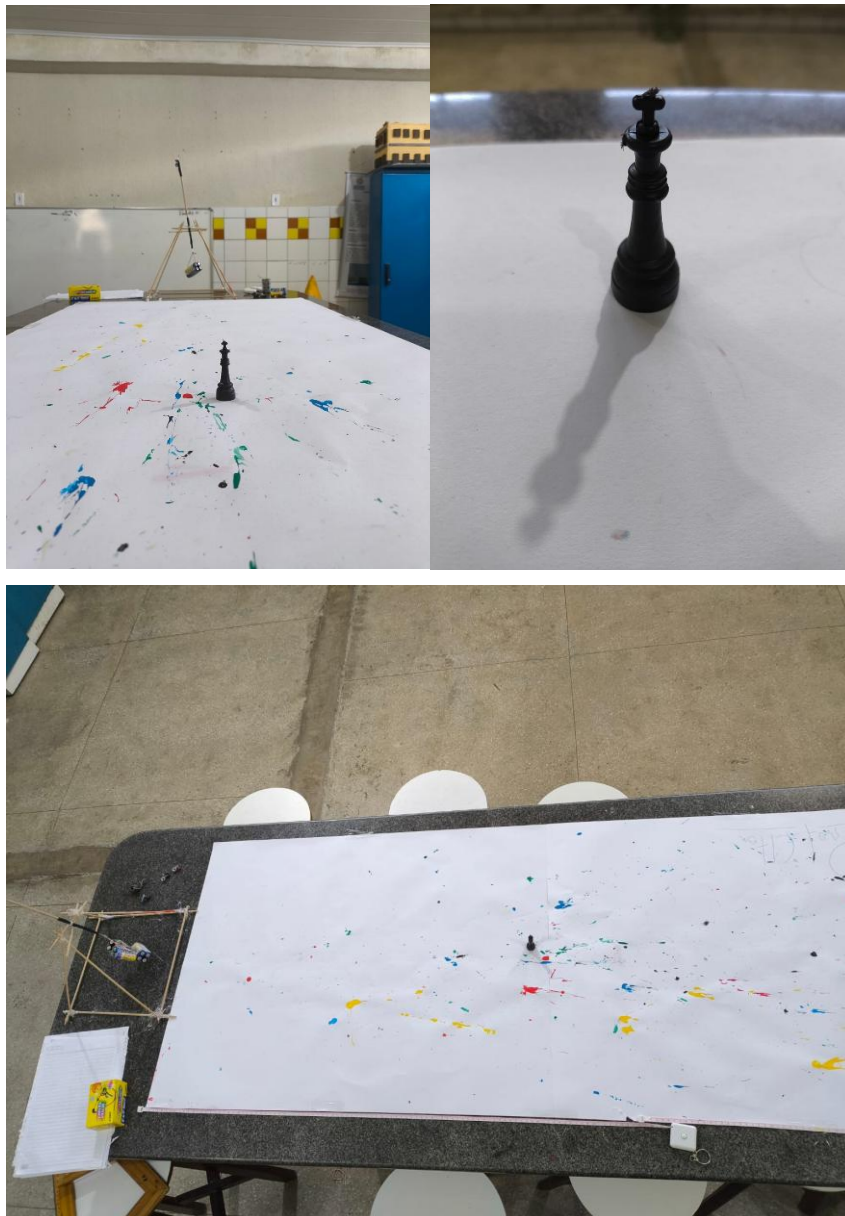
Ponto importante de ser mencionado é o fato de que devido as características do *novo ensino médio* previstos na Lei 13.415/17 aplicadas durante os anos de 2022 a 2024 (tendo em vista que para 2025 houve alterações), esta turma não possuía aula de Física propriamente dita, pois, a disciplina foi excluída devido a reforma, gerando as disciplinas numeradas de um a quatro de ciências da natureza. Tendo em vista que haviam quatro disciplinas de Ciências da Natureza (CNT) para os terceiros anos, o professor aplicador ministrava aulas das disciplinas de CNT 2 e CNT 4 e tinha total liberdade dentro do planejamento para ensinar apenas Física nestas duas disciplinas, pois as outras duas disciplinas CNT 1 e CNT 3 eram voltadas respectivamente para Biologia e Química.

Este produto segue a ideia de construção de sequência de ensino investigativa, logo é necessário que haja um problema para iniciar a metodologia. Esses problemas podem ser vistos também como desafios, nesta pesquisa utilizamos dois problemas para o estopim da atividade, o primeiro (Figura 4)

tratava-se de os estudantes derrubarem o rei (peça de xadrez) que estaria posicionado em uma posição aleatória do espaço deduzido para lançamento e o segundo tratava-se de conseguir a maior distância possível ao longo de apenas cinco lançamentos.

Decidimos utilizar o *rei* pelo fato de a atividade ser com uma mini arma medieval de cerco, criamos a analogia histórica as guerras da idade média por fortuna, território e etc. Logo, para uma guerra ser vencida entre reinos é necessário que um dos reis caia, foi pensando nisso que decidimos utilizar a peça de xadrez do rei.

Figura 4. Esquema de lançamentos: (espaço deduzido, arma e alvo)



É possível notar através das figuras que a marcações das distâncias alcançadas foram demarcadas com tinta guache, os projéteis eram banhados nas cores adotadas pelo grupo de estudantes e eram atiradas, desta forma, conseguíamos marcar a distância máxima alcançada através da marcação na cartolina branca. Para medirmos essa distância utilizamos duas trenas de um metro cada, fixadas na lateral da cartolina.

O primeiro problema foi determinado para que os estudantes pudessem se familiarizar com o aparato experimental, este problema tinha duração indeterminada de tempo, os estudantes só poderiam passar para o segundo problema quando conseguisse derrubar o rei. O propósito deste problema era que os estudantes entendessem que o *gatilho* era maleável, que os contrapesos faziam diferença para os lançamentos e os projéteis tinham suas condições especiais e cada um dos quatro possuía uma característica específica de lançamento, o ideal seria que os estudantes fizessem vários testes até que conseguissem derrubar o rei, gerando a sensação lúdica para a transição de *fase*.

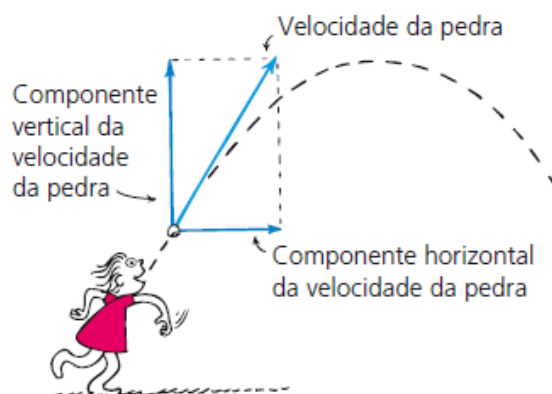
Já o segundo problema tinha como interesse que os estudantes conseguissem bolar estratégias para a conquista da maior distância, chegassem juntos a conclusão de qual melhor projétil usar e de qual contrapeso usar - ou caso achasse mais interessante - qual combinação de contrapeso usar, os três grupos, dois ou um só. Como neste problema as chances eram limitadas, era necessária uma melhor estratégia para a utilização do material, por isso o primeiro problema se fez importante, para que os alunos pudessem carregar consigo uma breve bagagem e pudessem utilizar o material de maneira mais bem pensada.

Para a sistematização, foi solicitado aos estudantes que durante seus lançamentos tirassem fotos ou filmassem as posições escolhidas para lançamento e conjunto contrapeso e projétil. Isto foi solicitado pois na sistematização eles responderiam duas perguntas baseadas em suas realizações, i) qual estratégia vocês utilizaram para acertarem o rei? e ii) qual estratégia foi utilizada para alcançar a maior distância dentre os cinco lançamentos? As fotos e/ou vídeos foram de grande importância para que os estudantes pudessem construir suas respostas de formas mais fidedignas.

A pretensão durante esta etapa de sistematização é identificar traços de aprendizagem processuais e atitudinais, que ao longo de suas respostas eles possam evidenciar o processo ou sequência da experimentação e também consigam criar juntos hipóteses que possam explicar os fenômenos, que consigam relacionar o sucesso da atividade ao contrapeso, ao projétil, ao gatilho (*como denominaram o clipe que sustenta o projétil*), ou até mesmo ao movimento de realização durante o manuseio.

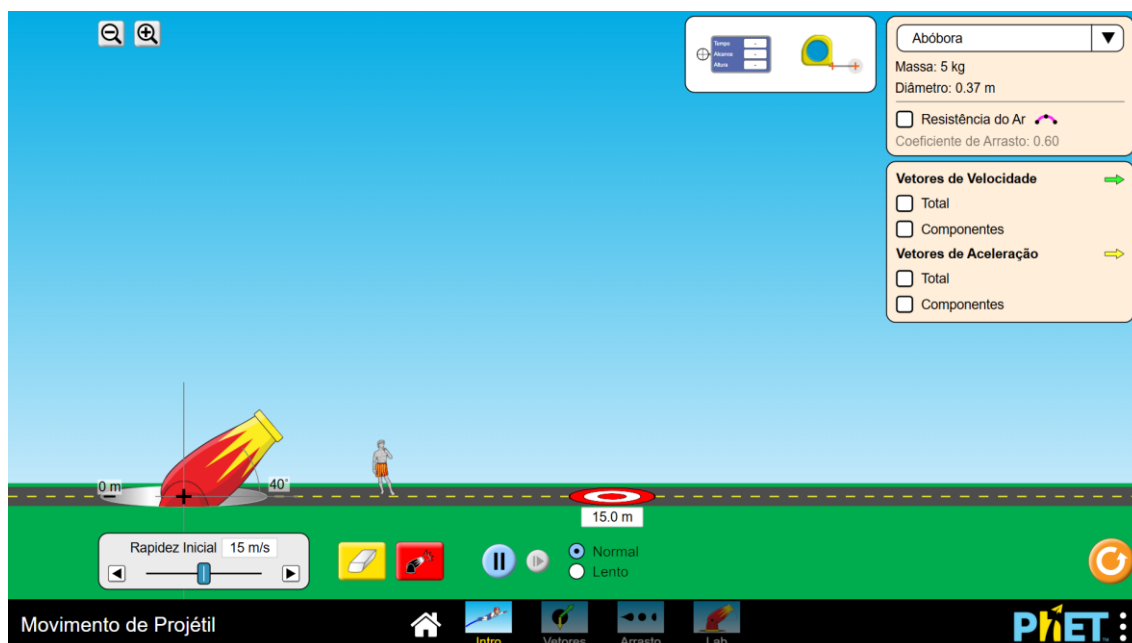
Para a contextualização preparamos uma aula, que teve seu áudio gravado, com duração de uma hora aproximadamente. Nesta aula aproximamos o material do contexto do estudante utilizando como exemplos i) vídeos de uma trebuchet em tamanho normal funcionando em um filme, ii) através de uma figura de uma criança atirando uma pedra (figura 5) e iii) utilizando o simulador de bala de canhão do simulador PhetColorado (figura 6). Nesta aula fizemos a análise de um lançamento oblíquo, discutindo as componentes de velocidades, as ações da aceleração, supondo situações em que a gravidade exista e situações que não, analisando a relação da queda livre com o lançamento oblíquo e comparando-os. Durante a aula também foi solicitado que os estudantes socializassem suas medidas na etapa de manipulação e explicações para os seus feitos.

Figura 5. Criança atirando uma pedra formando um lançamento horizontal.



Fonte: Hewitt, 2015

Figura 6. Interface do simulador de canhão



Fonte: Retirado do site PhetColorado²

A figura 5 foi utilizada para que pudéssemos abordar os conceitos físicos de lançamento horizontal, componentes de velocidades x e y e equação para alcance máximo. Já a figura 6, utilizamos próximo ao fim da aula, quando foi solicitado aos estudantes que determinassem o alcance do corpo à velocidade inicial $V_0 = 20 \text{ m/s}$ para os três ângulos notáveis (30° , 45° e 60°), esta solicitação foi feita com interesse de fixação da equação ideal de alcance, que desconsidera diâmetro e massa do objeto e resistência do ar. Para conferirmos os resultados encontrados pelos estudantes utilizamos o simulador gerando a discussão de qual seria o melhor ângulo para o lançamento de maior alcance.

Por fim, realizamos uma avaliação em forma de questionário. Este possuía cinco questões conceituais a respeito do lançamento horizontal. As questões foram retiradas inteiramente e/ou adaptadas do livro Física Conceitual (Hewitt, 2012). Este questionário foi realizado com o auxílio do Google Forms e durante uma hora. Abaixo, evidenciaremos as cinco questões seus objetivos e respostas esperadas.

² Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_pt_BR.html. Acesso em: 13 abr. 2025

Tabela 1. Apresentação de questionário final, seus objetivos e respostas esperadas

PERGUNTAS	OBJETIVOS	RESPOSTAS ESPERADAS
Questão 1. No exato instante em que um canhão dispara uma bala na direção horizontal a partir de uma torre, outra bala de canhão, mantida ao lado do canhão na torre, é solta e cai em direção ao solo. Qual das balas, a que foi disparada ou a que foi solta a partir do repouso, chegará primeiro ao solo?	1. Fazer o aluno compreender que o movimento horizontal e o vertical são independentes em um lançamento oblíquo ou horizontal. 2. Reforçar o conceito de queda livre e o papel exclusivo da gravidade no tempo de queda. 3. Avaliar a capacidade do aluno de aplicar esse princípio a uma situação menos intuitiva.	Ambas as balas chegam ao mesmo tempo ao solo.
Questão 2. Em uma noite de verão uma pessoa é assaltada próximo a sua casa, como única forma de legítima defesa, ela decide arremessar uma pedra no ladrão que já estava relativamente distante, formando um certo ângulo. Uma vez no ar, e desprezando a resistência aerodinâmica, qual é a aceleração vertical da pedra? E a horizontal?	1. Avaliar se o aluno entende como atuam as forças em um movimento de projétil. 2. Mostra que, mesmo com movimento, aceleração não significa velocidade. 3. Ajuda o aluno a diferenciar velocidade de aceleração em diferentes eixos (x e y).	Aceleração vertical: Aceleração gravitacional (direção para baixo) Aceleração horizontal: 0 m/s²
Questão 3. Em que parte de sua trajetória a pedra tem a mínima velocidade?	1. Fazer o aluno analisar a trajetória completa e identificar mudanças na velocidade durante o movimento. 2. Estimular o entendimento de vetores: a velocidade mínima ocorre quando o componente vertical é zero. 3. Introduzir noções de decomposição vetorial e momento crítico da trajetória.	No ponto mais alto da trajetória.
Questão 4. Considere uma bola de beisebol rebatida descrevendo uma trajetória parabólica num dia, no momento em que o Sol está diretamente acima da cabeça. Como a rapidez da sombra da bola através do campo se compara com o componente horizontal da velocidade da bola?	1. Relacionar um conceito de física (movimento horizontal constante) a uma situação cotidiana, aumentando o senso físico do aluno. 2. Estimular a visualização de movimentos no plano. 3. Apontar a relação entre o modelo teórico e a realidade observável (a sombra).	A rapidez da sombra da bola no chão é igual ao componente horizontal da velocidade da bola.
Questão 5. Durante uma competição interna de lançamento de foguetes de garrafa PET, os estudantes deveriam alcançar a maior distância para se consagrarem campeões. O professor deles possibilitou-lhes apenas uma dica: “o melhor lançamento tem relação direta com os ângulos	1. Avaliar se o aluno consegue relacionar os conceitos abordados com situações reais. 2. Identificar se houve retenção de conhecimento. 3. Desenvolver o raciocínio científico.	O melhor ângulo para o lançamento é o de 45°, tendo em vista que a resistência do ar, massa e diâmetro do objeto devem ser desprezados.

que vocês adotarem em suas bases de lançamento". Sabendo disso e desconsiderando a resistência do ar, diâmetro e massa do foguete, qual seria o melhor ângulo para o lançamento?		
--	--	--

Fonte: Autor, 2025

Através do que foi apresentado até o momento, é perceptível que teremos duas situações que serão utilizadas para tratamento de dados, i) a etapa de sistematização e ii) o questionário final. Porém, além destes dois instrumentos de análise dados, também iremos analisar a participação dos estudantes durante a aula gravada de aproximadamente uma hora e durante a aplicação desta SEI foi utilizado um *diário de bordo*, instrumento que foi utilizado para registrar as primeiras impressões dos vários momentos de encontro, para cada encontro foram registradas informações no diário que serão compartilhados no próximo capítulo. Portanto, teremos quatro instrumentos de análise de dados: duas questões da etapa de sistematização (*classificação feita a posteriori*), participação dos estudantes na aula gravada, diário de bordo e questionário final *avaliativo (classificação feita a posteriori)*.

Ao longo desta análise de dados, tentaremos identificar os aspectos de aprendizagem mencionados por Carvalho (2013), que dizem respeito aos tipos de aprendizagem processuais e atitudinais e também nos apoiaremos nas ideias de alfabetização científica fundamentada por Sasseron (2008).

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo teremos quatro tópicos, cada um desses será reservado para a um instrumento de análise de dados utilizado durante a aplicação do produto em sala de aula. Faremos essas análises de forma cronológica de acontecimentos, portanto começaremos discutindo os resultados da atividade de sistematização, buscando evidências da passagem da ação manipulativa para a intelectual. Em seguida, faremos a análise das argumentações dos estudantes durante a aula ministrada pelo professor mediador, utilizando como artifício a gravação de áudio da aula.

No terceiro tópico discutiremos os resultados do questionário final, analisaremos individualmente as repostas de todos os estudantes que participaram da pesquisa, com o interesse na análise das aprendizagens processuais e atitudinais (Carvalho, 2013), tentando identificar também a presença dos conceitos da alfabetização científica (Sasseron, 2008).

Para o quarto e último tópico, analisaremos as observações realizadas durante o processo pelo professor através de seu *diário de bordo*, para este o instrumento o interesse maior é de evidenciar as dificuldades de se implementar metodologias ativas em sala de aula, analisar os passos que funcionaram e aqueles que precisariam ser alterados para uma replicação futura da atividade.

Para encerrar este capítulo, deixaremos abaixo a nossa SEI sistematizada em tabela.

Tabela 8. Etapas da Sequência Didática

Etapa	Quantidade de Aulas	Descrição
1ª Etapa	2 aulas (2 horas)	Apresentação do projeto; sensibilização dos estudantes para com a atividade realizada pelo mestrando; separação dos grupos e produção de suas trebuchets.
2ª Etapa	1 aula (1 hora)	Momento de utilização do aparato e cumprimento dos desafios.

3ª Etapa	1 aula (1 hora)	Momento para as primeiras perguntas, acerca de como conseguiram resolver os problemas.
4ª Etapa	1 aula (1 hora)	Momento da aula de contextualização.
5ª Etapa	1 aula (1 hora)	Momento reservado para a avaliação através do questionário final.

Fonte: Autor, 2025

6.1 DISCUTINDO A SISTEMATIZAÇÃO

Nesta etapa, os estudantes foram questionados acerca de duas situações que realizaram, a primeira: *“como conseguiram acertar o rei?”* e a segunda: *“qual(is) estratégias utilizaram para alcançarem a maior distância dentre os cinco lançamentos permitidos?”*. A atividade foi realizada em trios e os estudantes precisavam chegar juntos a uma resposta em comum, responderam em uma folha e entregaram ao professor. Obtivemos a participação de 21 estudantes e consequentemente sete trios participaram dessa pesquisa.

Para melhor analisarmos, denominamos os grupos de 1 a 7 e evidenciamos suas repostas às perguntas por meio de duas tabelas, uma tabela para cada pergunta.

Tabela 2. Respostas para pergunta: “como conseguiram acertar o rei?”

COMO CONSEGUIRAM ACERTAR O REI?	
GRUPOS	RESPOSTAS
GRUPO 1	<i>“O uso de apenas um peso e a direção da porca.”</i>
GRUPO 2	<i>“Usamos apenas um peso e o maior projétil que era o mais leve, fazendo com que o acerto fosse mais longe e com uma certa leveza.”</i>
GRUPO 3	<i>“Procuramos o peso ideal e ajustamos a direção de acordo com os projéteis.”</i>

GRUPO 4	<i>“Usamos o menor projétil e diminuimos o peso, mudamos a direção da alavanca e o gatilho.”</i>
GRUPO 5	<i>“Mexeu na mira colocando ela mais pra esquerda do rei, acertando o centro de massa do contrapeso, usamos a porca nº2 e 8 pilhas.”</i>
GRUPO 6	<i>“Tentamos acertar o rei, na terceira tentativa acertamos, pois vi a lógica de diminuir um pouco a força e a direção, colocando um pouco para a esquerda pois os dois primeiros lançamentos saíram muito tortos, pro lado direito.”</i>
GRUPO 7	<i>“Usar o peso mais leve e deixar o gatilho reto e mirar bem.”</i>

Fonte: Autor, 2025

Para esta pergunta tínhamos como interesse que os estudantes percebessem que seria necessário fazer alguns ajustes no aparato experimental, a fim de que fosse possível garantir uma melhor precisão. Portanto, seria necessário que os estudantes conseguissem alterar a direção do *gatilho* para que fosse possível o êxito. Esta atividade também possuía o interesse da familiarização dos estudantes com o aparato, esperava-se que os estudantes identificassem a importância do gatilho para direcionar o projétil, projéteis e contrapesos (tendo em vista que suas massas variadas poderiam causar lançamentos distintos).

Nota-se que dos sete grupos, apenas um não menciona algo relacionado a direção do lançamento do projétil e todos versam sobre os *pesos* e *projéteis* utilizados para cumprirem o desafio. Consideramos, portanto, que o nosso primeiro objetivo foi alcançado com a identificação da necessidade de ajustar o gatilho e considerar a massa dos projéteis e contrapesos.

Quatro grupos apresentaram uma aprendizagem atitudinal, utilizando os termos *usamos*, *procuramos* e *tentamos*, isso mostra que os estudantes

conseguiram evidenciar que a atividade não foi realizada por apenas um integrante e haveria a necessidade de usas estes termos que incluíssem os demais integrantes. Em contrapartida, os outros três grupos não utilizaram termos de inclusão e o grupo 5 respondeu como se estivesse falando especificamente de apenas um integrante, quando utilizam a palavra *mexeu*. Isso nos indica que se trata de grupos que nem todos trabalharam ou se engajaram durante a atividade, e isso é perfeitamente normal, tendo em vista que nem todos se sentem aptos ou estão dispostos para realização de atividades escolares.

Os grupos 3 ao 6 apresentaram um tipo de aprendizagem processual, percebe-se que eles demonstram tentativas e testes, evidenciando sequências que utilizaram como o grupo 6 que menciona que apenas *na terceira tentativa* conseguem acertar o rei e quando os grupos 3, 4 e 5 falam que *ajustaram a direção, diminuíram os pesos, acertaram o centro de massa*, respectivamente, isso também demonstra uma sequência de utilização do aparato.

Fato importante de ser mencionado a respeito destas respostas, se trata da aparição de algumas grandezas físicas, como *força, centro de massa e peso*. Durante a leitura das repostas, é perceptível que quando aparece o termo *peso* o interesse na verdade é de mencionar a massa posta como contrapeso e/ou projétil, isto evidencia um erro comum: tomar massa e peso como grandezas de mesmas características.

Já o conceito de força abordado pelo grupo 6, entende-se que se trata de durante a ação humana de utilização da alavanca da trebuchet, é necessário aplicar menos força, portanto girar menos a alavanca. E quanto a utilização do termo *centro de massa*, entende-se que os estudantes estavam considerando o fato de que o contrapeso precisaria ficar bem alinhado ao gancho da alavanca, pois caso contrário, balançaria a alavanca e como consequência o lançamento não seria eficaz.

Agora, analisaremos as respostas para a segunda pergunta:

Tabela 3: Respostas para pergunta: “qual(is) estratégias utilizaram para alcançarem a maior distância dentre os cinco lançamentos permitidos?”

QUAL(IS) ESTRATÉGIA(S) UTILIZARAM PARA ALCANÇAREM A MAIOR DISTÂNCIA DENTRE OS CINCO LANÇAMENTOS PERMITIDOS	
GRUPOS	RESPOSTAS
GRUPO 1	<i>“Colocamos até um certo limite para que possamos alcançar o máximo de limite”</i>
GRUPO 2	<i>“Usamos apenas um peso para fazer o projétil ir mais longe”</i>
GRUPO 3	<i>“Tentamos achar a força ideal mudando o peso e variando os projéteis. Para alcançar a maior distância utilizamos a porca nº2”</i>
GRUPO 4	<i>“Botei um pouco de precisão na alavanca, direcionei para lançar com muita precisão no gatilho”</i>
GRUPO 5	<i>“Arrancamos as 8 pilhas, sem impulso, só sendo rápido”</i>
GRUPO 6	<i>“No primeiro lançamento com a porca nº2 percebemos que se ela fosse mais leve talvez demorasse mais para cair, trocamos para a porca nº1 e sentimos dificuldade, voltamos para a porca nº2, notamos que a estrutura da trebuchet precisaria ficar firme e então seguramos e ainda assim obtivemos dificuldade. Tentamos então, jogar o projétil sem ter tempo de pausa, pois assim ele iria pegar mais velocidade e consequentemente cair mais longe, no fim achamos que seria melhor</i>

	<i>apenas descer até a metade o arremessador para que ele fosse mais longe.”</i>
GRUPO 7	<i>“Inclinar mais com o peso mais leve”</i>

Fonte: Autor, 2025

Nas respostas para a segunda pergunta, percebe-se que aprendizagem atitudinal fica evidente em mais de um grupo do que em relação a primeira pergunta. Para esta, cinco grupos utilizaram verbos de ação no plural para a explicação de seus êxitos. Quanto ao grupo 7, não conseguimos identificar este tipo de aprendizagem pelo fato de sua resposta ser objetiva e curta.

Já com respeito ao grupo 5 percebemos que para esta segunda pergunta não houve uma evidência de aprendizagem atitudinal, porém na primeira pergunta foi constatado positivamente, isso nos leva a pensar que para este segundo problema, apenas um dos estudantes realizou os lançamentos, não havendo colaboração e, portanto, para o momento de sistematização, a resposta se apresentou com o verbo de ação no singular: *“botei”*.

Ao analisar as respostas dos sete grupos para as duas perguntas, notamos que não foi perceptível a aprendizagem atitudinal apenas para o grupo sete, isso não significa que ela não tenha acontecido, mas também não confirma o acontecimento, isso pelo fato de suas respostas terem sido curtas e objetivas, impossibilitando de abstrairmos interpretações possíveis para identificação desse tipo de aprendizagem. Para os demais grupos, foi perceptível a aprendizagem atitudinal em uma das repostas ou em ambas.

É possível identificar aprendizagens processuais nas respostas da segunda questão dos grupos três e seis de forma explícita, ou seja, em seus textos eles evidenciam que houve uma sequência e apresentam resultados. A resposta do grupo um é um pouco redundante, porém, consegue-se identificar traços de uma aprendizagem processual se compreendermos que eles quiseram expor que para alcançar a maior distância era necessário girar a alavanca até um certo limite (isso indica que eles testaram) e então girando até esse certo limite, conseguiram alcançar a maior distância possível.

Essa aprendizagem processual também aparece de maneira implícita nas repostas dos grupos dois, quatro e cinco. O segundo grupo indica que usaram apenas um peso para fazer o projétil ir mais longe, esta resposta de certa forma deixa implícito que eles fizeram testes até perceberem que o melhor resultado seria através da utilização de apenas um *peso* para o lançamento.

Os grupo quatro e sete, indicam implicitamente a importância do gatilho. Embora mencionem de forma individualizada os seus feitos, os grupos apresentaram uma valiosa informação que se trata da *direção* do gatilho, isto é, perceberam que o gatilho possuía papel fundamental para o êxito de suas atividades e isso também nos permite entender que foram feitos testes até chegarem nessa *direção ideal* para o lançamento.

O grupo cinco, indica implicitamente que foram feitos um ou mais lançamentos com as oito pilhas como contrapeso, até que perceberam que conseguiriam um alcance maior livrando-se das oito pilhas e utilizando apenas a massa do aparato para o lançamento.

Aos olhos de Sasseron (2008) a respeito de alfabetização científica, a reposta do grupo seis se enquadra nos indicadores de levantamento e teste de hipóteses, justificativa, previsão e explicação: *“No primeiro lançamento com a porca nº2 percebemos que se ela fosse mais leve talvez demorasse mais para cair (levantamento de hipótese), trocamos para a porca nº1 e sentimos dificuldade (teste de hipótese), voltamos para a porca nº2, notamos que a estrutura da trebuchet precisaria ficar firme e então seguramos (levantamento de hipótese) e ainda assim obtivemos dificuldade (teste de hipótese). Tentamos então, jogar o projétil sem ter tempo de pausa (levantamento de hipótese), pois assim ele iria pegar mais velocidade (justificativa) e consequentemente cair mais longe (previsão), no fim achamos que seria melhor apenas descer até a metade o arremessador para que ele fosse mais longe (explicação).”*

É evidente que seria possível identificarmos estes indicadores de alfabetização científica nas outras repostas também, porém elas se resumiriam em sua maior parte ao levantamento e teste das hipóteses. Já nas repostas do grupo seis, eles conseguiram sequenciar os acontecimentos e deixar evidente

cada um destes indicadores, fazendo-nos concluir que este grupo antes mesmo de acontecer a etapa de contextualização já apresentavam grande grau conhecimento científico.

Outra coisa muito interessante que pode ser abstraída das respostas destes grupos, é o fator de proporcionalidade que eles apresentaram no que diz respeito as massas mais leves de projéteis e mais pesadas para o contrapeso, uma ideia que parte de um conhecimento prévio e que de certa maneira caminha para o conhecimento científico.

Além disto, fica a ressalva para as respostas escritas que não foram muito bem elaboradas, mostrando ausência de palavras científicas como alcance, tempo de voo e etc. Levando em consideração que se trata de uma turma do último ano do ensino médio, era minimamente esperado que alguns termos científicos aparecessem como demonstraram alguns grupos, mas em sua maioria houve uma certa dificuldade na utilização de argumentos científicos para suas sistematizações.

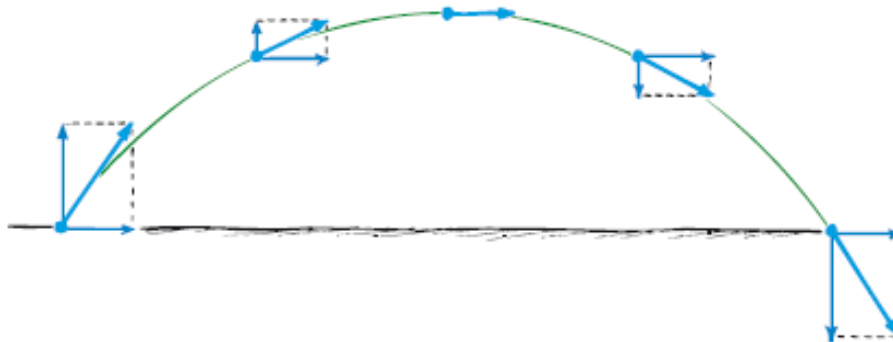
6.2 DISCUTINDO A CONTEXTUALIZAÇÃO

Nesta parte iremos discutir as participações dos estudantes durante a aula ministrada. Nesta aula, o professor abordou o contexto histórico da *trebuchet*, apresentou por meio de vídeos o seu funcionamento, relacionou o movimento da arma ao movimento de alavanca quando jogamos uma pedra, apresentou as equações evidenciando as componentes de velocidades vertical e horizontal e abordando a equação de alcance, discutindo seus princípios e características.

Ao longo da aula, houveram quatro momentos que merecem transcrições atreladas às análises, os estudantes foram questionados pelo professor mediador acerca da altura máxima de um lançamento horizontal (figura 7), perguntou-se *“qual o motivo para no alto do arco (altura máxima) só haver a componente de velocidade no eixo x?”*, tempo de queda de um projétil (figura 8), perguntou-se *“qual desses três projéteis alcançará o chão primeiro?”*, do maior lançamento que conquistaram, perguntou-se *“Qual dos cinco lançamentos alcançou maior distância? Por qual razão?”* e a respeito da análise por simulação computacional das eficácias dos ângulos durante os lançamentos, perguntou-se *“depois de analisarmos esses lançamentos que informação é possível retirar?”*.

Para o primeiro momento, utilizou-se como apoio a figura 7 que apresenta as componentes das velocidades em diferentes instantes de tempo.

Figura 7. Descrição das componentes de velocidade em um Lançamento Horizontal



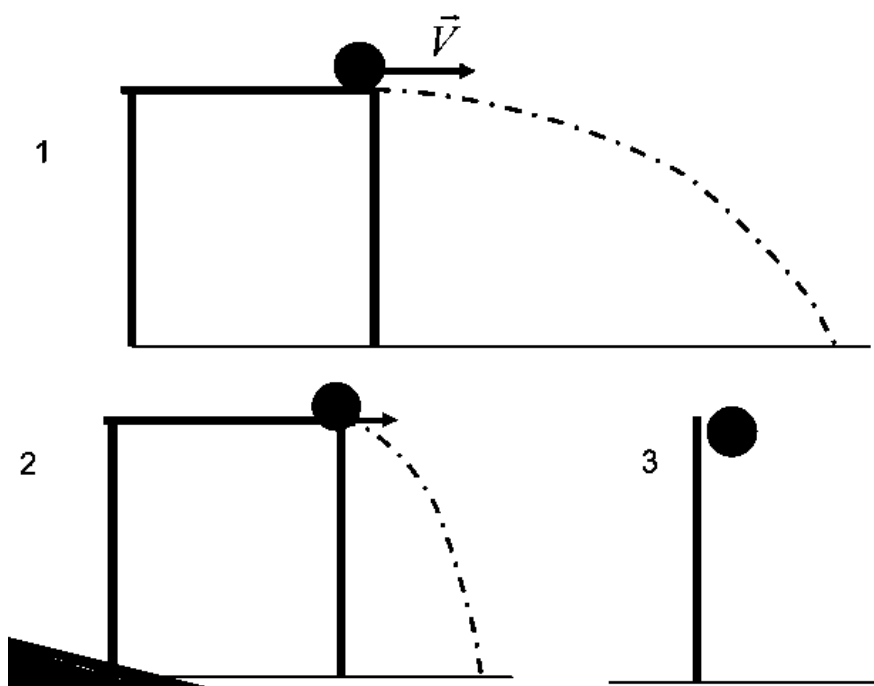
Fonte: Hewitt, 2012

Os estudantes foram questionados a respeito da ausência da componente de velocidade no eixo y no momento em que o projétil está em sua altura máxima e nenhum estudante respondeu. Para exemplificar essa situação da figura o professor se valia de uma bolinha de papel e a lança para cima e em seguida questiona: *“por qual motivo chega um momento em que a bolinha não sobe mais?”*. Um estudante prontamente responde: *“porque a gravidade empurra a bola para baixo”*.

Era esperado que os estudantes por serem do 3º ano de ensino médio conseguissem considerar a existência da gravidade com certa facilidade, o que se notou foi que talvez a primeira pergunta não tenha sido tão clara como foi a segunda e por essa razão só obtivemos o êxito com a reformulação da pergunta. Portanto, isso nos indicou que os estudantes tinham conhecimento da existência dessa aceleração vertical, como esperado.

No segundo momento, utilizamos para a questão *desafio* a figura 8, tomando-a como base questionamos *“em qual destas três situações a bolinha chegaria primeiro ao chão?”*. Na figura pode não estar tão nítido, mas para evitar respostas feitas por más interpretações, informamos aos estudantes que em todas as três situações, a bolinha estava a mesma altura.

Figura 8. Três lançamentos simultâneos efetuados de maneiras diferentes



Fonte: Autor, 2025

Esse é um problema clássico para tratar sobre tempo de queda de um projétil e o esperado como resposta era que os estudantes dissessem que as três bolinhas cairiam ao mesmo tempo, pois dependem apenas da altura e aceleração gravitacional, como todas estão na mesma altura e estão submetidos a mesma aceleração vertical, todas caem ao mesmo tempo desprezando o atrito.

Tínhamos uma sala de aula com 19 estudantes, dois haviam faltado. Desses, apenas três estudantes responderam com convicção que as três bolas cairiam ao mesmo tempo, os demais se dividiram entre as três separadamente, mas a grande maioria votou na situação três, onde simplesmente a bolinha é largada de certa altura.

Entendemos que a situação três foi a mais votada pelo fato de os estudantes pensarem que a velocidade horizontal causaria alguma influência no tempo de queda, haja vista que os estudantes ainda não haviam tido o contado com as equações que versam o lançamento horizontal. Desta forma, por ainda terem que se deslocarem para a frente levariam mais tempo para alcançarem o chão.

Fato interessante de ser mencionado durante este momento foi de que os estudantes discutiram entre si, bolando **hipóteses** e apresentando **justificativas**

e **explicações** para um acreditar na opinião do outro e vice-versa. Isso nos demonstra a existência de uma aprendizagem processual (Carvalho, 2013) e também indícios de indicadores de alfabetização científica (Sasseron, 2008).

No terceiro momento, os estudantes foram questionados acerca de seus melhores lançamentos e qual possível razão para tal acontecimento. Três estudantes participaram deste momento, abaixo segue suas falas e as do professor transcritas:

1º Estudante: *“Após os testes, percebemos que a melhor forma de jogar o projétil é descendo a alavanca até o final e deixando o **gatilho** do jeito que estava.”*

Professor: *“No momento em que conseguiram o maior alcance dentre os cinco lançamentos, qual estratégia utilizaram? Mais massa ou menos massa no contrapeso? Projéteis mais ou menos leves?”*

1º Estudante: *“Utilizamos a porca que aparentava ter massa mediana, seguramos a estrutura pois ela estava balançando durante o lançamento e notamos que isto estava atrapalhando e deixamos a massa que já estava no contrapeso que eram quatro pilhas, conseguimos 86cm de alcance”*

Professor: *“Ok, mais alguém?”*

2º Estudante: *“Utilizamos a porca mais leve, pois por ser mais leve a tendência seria que ela alcançasse maiores distâncias que as outras e colocamos toda massa possível como contrapeso (neste caso, 11 pilhas), pois concluímos que a melhor situação seria unir projétil leve ao contrapeso pesado e assim conseguimos 195cm de alcance”*

Professor: *“Vocês modificaram o gatilho da trebuchet?”*

2º Estudante: *“Não! As únicas alterações foram essas mesmas”*

Professor: *“Mais alguém?”*

3º Estudante: *“Mais impulso: utilizamos a porquinha dupla, não giramos totalmente a alavanca e não mexemos no **gatilho**. Utilizamos oito pilhas como contrapeso e alcançamos 175cm de alcance.”*

Antes de iniciarmos as discussões acerca das participações desses três estudantes, faz necessário informar com mais precisão qual parte da *trebuchet* é o gatilho, podemos verificar na figura 9 que o gatilho se trata do clipe responsável por sustentar o projétil e o fato dele ser maleável pode alterar o ângulo de lançamento.

Figura 9. Gatilho da Trebuchet



Fonte: Autor, 2025

Esta parte da *trebuchet* recebeu o nome de *gatilho* pelos estudantes, no momento em que estavam escrevendo algumas de suas respostas na etapa anterior, questionaram qual seria o nome e foi permitido que eles nomeassem. Na arma de cerco de porte normal essa parte é chamada de funda, uma bolsa capaz de segurar as pedras.

Analisando a participação dos três estudantes, percebemos que os três apresentaram em suas falas aprendizagens do tipo atitudinal e processual, na utilização dos verbos de ação no plural, ao esperar o colega falar para então falar, ao apresentar hipóteses e evidenciar sequências de utilização. E também apresentaram indicadores de alfabetização científica, como justificativas, previsões, testes de hipóteses e explicações.

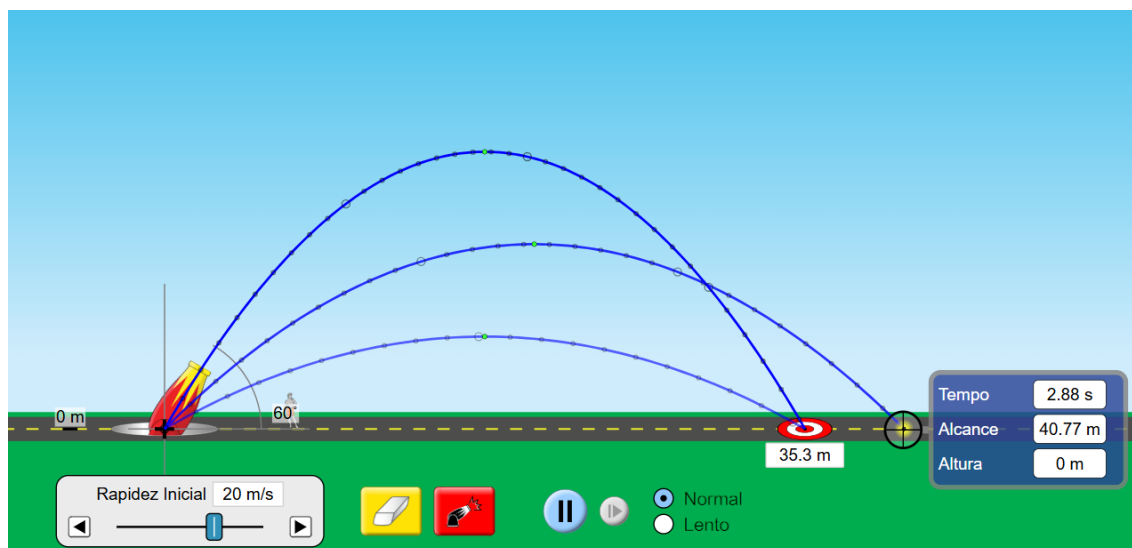
Esperávamos obter respostas que apresentassem os principais fatores que influenciam no lançamento de projétil: ângulo e massas. Estas respostas apareceram de forma direta quando o terceiro estudante participou e precisou

ser “caçada” pelo professor com os outros dois estudantes, foi necessária uma pergunta extra para cada estudante conseguir informar aquilo que se esperava.

Assim como já tínhamos notado na etapa de sistematização, os estudantes conseguiram perceber que o gatilho influenciaria no lançamento e que não só ele, mas também as massas dos contrapesos e projéteis. Este, no entanto, não é foco deste trabalho, pois, compete essencialmente ao conceito de torque e conservação de energia mecânica.

No quarto e último momento observado desta aula, o professor solicita aos estudantes que calculem o alcance para os três ângulos notáveis (30° , 45° e 60°) para um projétil com velocidade inicial igual a 20 m/s. É importante registrar que nesse momento toda a aula já havia sido concluída e esta atividade teria o intuito único de evidenciar a eficácia do ângulo de 45° no lançamento horizontal. Após certo tempo, os estudantes foram questionados acerca dos valores que haviam encontrado e a verificação de veracidade foi feita através do simulador do PhetColorado (figura 10).

Figura 10. Interface do simulador de lançamento oblíquo para os lançamentos com os ângulos notáveis.



Fonte: Autor, 2025

Após verificação dos resultados, os estudantes foram questionados: “*com base nesses resultados, o que se pode concluir?*”. Um dos estudantes respondeu: “*quanto mais alto o ângulo, mais perto chega*”. Dando a entender

que a relação alcance e ângulo são inversamente proporcionais, ou seja, à medida que o ângulo aumenta o alcance diminui.

Para desmistificar essa conclusão, o professor utiliza o mesmo simulador e utiliza ângulos acima do 45° e abaixo do 45° e repete a pergunta, todos os estudantes chegam à conclusão que o ângulo de 45° é de fato o ideal, quando se é desprezada a resistência do ar, diâmetro do projétil e massa. A fim de melhor enfatizar essa conclusão, o professor se valia da análise da equação com respeito ao argumento $\sin 2\theta$ para concluir que de fato 45° é o melhor ângulo para grandes alcances.

Esta atividade além de proporcionar essa discussão acerca do melhor ângulo, tem utilidade também para as avaliações externas dos estudantes, tendo em vista que mesmo que os professores utilizem meios de ensino construtivistas e se apropriem de avaliações através de discussões e observações, as avaliações externas ainda cobram conceitos práticos e/ou matemáticos, desta forma faz-se necessário também o cuidado em entender e transmitir a utilização de conceitos equacionais.

6.3 DISCUTINDO A AVALIAÇÃO

A avaliação trata-se de um questionário com cinco questões, que foi realizada logo após o término da aula de contextualização. O intuito deste questionário foi de verificar se os estudantes conseguiram entender o conteúdo proposto e identificar aprendizagens processuais e indicadores de alfabetização científica. Participaram desta pesquisa 19 estudantes, evidenciaremos suas respostas em forma de tabela para melhor organização.

Tabela 4. Respostas para a questão 1

Questão 1. No exato instante em que um canhão dispara uma bala na direção horizontal a partir de uma torre, outra bala de canhão, mantida ao lado do canhão na torre, é solta e cai em direção ao solo. Qual das balas, a que foi disparada ou a que foi solta a partir do repouso, chegará primeiro ao solo?	
CÓDIGOS DOS ALUNOS	RESPOSTAS

1	Pela ação da gravidade as duas chegariam ao mesmo tempo ao chão.
2	As duas chegarão ao mesmo tempo.
3	As duas chegarão ao mesmo tempo.
4	As duas vão cair ao mesmo tempo, por causa da ação da gravidade.
5	As duas vão cair ao mesmo tempo.
6	Ambas chegarão ao mesmo tempo.
7	As duas bolas irão cair ao mesmo tempo.
8	As duas balas chegarão ao solo ao mesmo tempo.
9	As duas cairão ao mesmo tempo.
10	As balas chegarão ao solo ao mesmo tempo, pois a gravidade atua igualmente do movimento horizontal, no entanto a bala disparada terá um alcance maior, mas o tempo de queda será o mesmo.
11	Ambas caem juntas; a gravidade age igual em ambas do experimento.
12	Possivelmente ambas caem juntas; a gravidade age igual em ambas partes do experimento.
13	Chegarão ao mesmo tempo.
14	Chegarão ao mesmo tempo.
15	As duas balas chegarão ao solo ao mesmo tempo
16	Ao mesmo as duas cairão.
17	É sensato dizer que a bola que solta pode chegar com mais rapidez ao chão do que a que foi eventualmente disparada, contudo por que a gravidade tem um bom impacto no resultado, de início a que foi remessa ela irar chegar ao seu ponto máximo e irar perdendo força, já a que foi solta terá uma perspectiva de ângulo vertical assim com a gravidade irar a puxa-la para baixo fazendo assim a que caiu chegar mais rápido do que a que foi arremessando.
18	A velocidade horizontal da bala disparada não afeta sua queda vertical, pois a gravidade atua apenas na direção vertical. A

	aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m/s}^2$) é igual para ambos os objetos.
19	A que não foi lançada, por conta de a gravidade ter uma força maior sobre ela.

Fonte: Autor, 2025

Ao analisar as respostas para essa questão percebemos que apenas dois estudantes se confundiram em seus conceitos e acabaram afirmando que a bala que é largada sem ação horizontal chega primeiro ao chão, os demais afirmaram que ambas as balas possuem apenas aceleração gravitacional para baixo e confirmam que chegarão ao solo ao mesmo tempo.

Vale ressaltar que uma pergunta desse mesmo gênero foi realizada durante a aula e poucos estudantes afirmaram que naquela situação os projéteis chegariam ao solo no mesmo tempo, já nessa questão a maioria afirmou isso.

Para a segunda questão:

Tabela 5. Respostas para a questão 2

Questão 2. Em uma noite de verão uma pessoa é assaltada próximo a sua casa, como única forma de legítima defesa, ela decide arremessar uma pedra no ladrão que já estava relativamente distante, formando um certo ângulo. Uma vez no ar, e desprezando a resistência aerodinâmica, qual é a aceleração vertical da pedra? E a horizontal?	
CÓDIGOS DOS ALUNOS	RESPOSTAS
1	Vertical sendo maior que a horizontal.
2	A gravidade e a velocidade.
3	A horizontal é mais rápida que a vertical.
4	A pedra tem uma velocidade mais rápida durante o arremesso que é na horizontal e menor velocidade na vertical.
5	Não sei.
6	Gravidade e força.
7	Vertical a gravidade e horizontal a força.

8	A aceleração horizontal é 0.
9	Vertical nula, horizontal é constante.
10	A aceleração da pedra é igual a aceleração da gravidade apontada para baixo.
11	Talvez a vertical: seria exatamente $9,8 \text{ m/s}^2$. Já a horizontal seria nula, aproximadamente 0.
12	Talvez a vertical: seria exatamente $9,8 \text{ m/s}^2$. Já a horizontal seria nula, aproximadamente 0.
13	A vertical é mais rápida que a horizontal.
14	A vertical é mais rápida do que a horizontal.
15	A aceleração vertical é para baixo (gravidade), e a horizontal é zero, devido à ausência de forças na direção horizontal.
16	Da vertical é a mesma da gravidade $9,8$ e na horizontal igual a 0 porque não há força atuando nessa direção
17	Digamos que se a pessoa jogar de modo horizontal isso irar dá um impulso maior já que a ideia seria de linha reta, já se fosse na vertical ela teria que está em posição estratégica para ter assim um bom resultado, portanto é lógico dizer que sim a pedra irar de forma horizontal.
18	Desprezando a resistência aerodinâmica, a aceleração da pedra será.
19	Na vertical ela tem a força igual à da gravidade que é $9,8$, e a horizontal é igual a 0.

Fonte: Autor, 2025

Nesta questão, apenas cinco estudantes responderam conforme esperado, evidenciando que a aceleração gravitacional estava presente na direção vertical e que não havia aceleração na direção horizontal, os estudantes 11, 12, 15, 16 e 19.

Já os estudantes 1, 14 e 13 responderam erroneamente, pois afirmaram que a aceleração na direção vertical é maior que na direção horizontal, e de fato é, porém utilizaram termos que se referem ao conceito de rapidez (ou velocidade) e não deixaram claro que a aceleração na direção horizontal é nula,

desta maneira não se pode concluir que os pensamentos deles estava de fato alinhado com o conceito físico correto

Os estudantes 5 e 18, não soube e não concluiu a resposta respectivamente, portanto, consideramos os dois como respostas erradas. O mesmo pode ser dito do estudante 17, ele não conseguiu interpretar a questão corretamente e entendeu que a questão queria saber qual seria a melhor direção para atirar a pedra, se na horizontal ou vertical.

Já os estudantes 3 e 9 afirmam que a aceleração na horizontal será maior que a aceleração na vertical, evidenciando uma confusão de senso de direção, embora em suas respostas não tenham concluído que uma das acelerações seria nula, eles acertaram o raciocínio em dizer que uma delas seria mais rápida que outra, porém não conseguimos interpretar se foi apenas um erro de direção ou se de fato eles acreditavam que a aceleração na horizontal seria maior. Consideramos essas duas respostas como erradas.

Ademais, os estudantes 2, 6, 7, 8 e 10 responderam suas questões obtendo sucesso parcialmente, concluíram corretamente o resultado para a aceleração em uma das duas direções, mas não ambas. O estudante 8 falou apenas a respeito da aceleração na horizontal, o estudante 10 apenas da aceleração na direção vertical. Os demais, atribuíram a gravidade como aceleração na direção vertical, mas na horizontal adotaram outros termos, o estudante 2 mencionou velocidade e os estudantes 6 e 7, força.

O estudante 4 comete um erro clássico na aprendizagem dos conceitos de cinemática, que é confundir velocidade com aceleração, achar que ambas as grandezas são a mesma coisa ainda que estejam relacionadas, assim como os estudantes 6 e 7, ao mencionarem a grandeza “força”.

Percebe-se através desta análise que a minoria errou a questão e que combinados os que acertaram e os que parcialmente acertaram temos um número positivo no ponto de vista de retenção de conteúdo, vale ressaltar que os que parcialmente acertaram e os que erraram estão nessas classes por leves erros e gafes de compreensão que se trabalhados futuramente poderiam ser sancionados.

Para a terceira questão:

Tabela 6. Respostas para a questão 3

Questão 3. Em que parte de sua trajetória a pedra tem a mínima velocidade?	
CÓDIGOS DOS ALUNOS	RESPOSTAS
1	Ao cair no chão
2	Quando chegar ao ápice do lançamento
3	Quando está na parte mais alta, no ponto em que está sendo lançada e no final.
4	Um instante antes da ação da gravidade sobre ela
5	Quando atingir seu limite de altura onde ela começa a cair por causa da gravidade
6	No ápice de sua altura
7	Na parte final pois ela perde sua força e a gravidade a puxa para baixo.
8	A pedra tem a mínima velocidade no ponto mais alto da sua trajetória.
9	No ápice da altura
10	A pedra tem a mínima velocidade no ponto mais alto de sua trajetória, em um componente vertical.
11	No topo da trajetória
12	Exatamente no topo da trajetória onde ela teria a velocidade.
13	No ponto inicial
14	No ponto do início
15	A pedra terá a menor velocidade no ponto mais alto de sua trajetória parabólica
16	no topo
17	No seu ponto mais alto atingido, assim depois dessa fase ela começa a perder sua força e impacto.
18	A pedra tem a mínima velocidade no ponto mais alto de sua trajetória, chamado de "ponto culminante" ou "ápice".

19	No topo
----	---------

Fonte: Autor, 2025

Para esta questão tivemos 14 acertos e 5 erros. Consideramos que o resultado foi positivo e os estudantes em sua grande parte demonstraram compreender que a velocidade do objeto será mínima quando a componente vertical for nula, ou seja, no momento mais alto da trajetória.

Quanto aos erros, os estudantes 1 e 7 responderam que a menor velocidade seria quando chega ao chão e os estudantes 13 e 14 disseram que essa situação aconteceria quando o objeto estivesse no ponto inicial. De fato, os quatros estudantes estão certos, pois tanto no ponto inicial quanto no final o objeto está em repouso e, portanto, suas componentes são iguais a zero, porém suas respostas foram consideradas erradas, já que eles não entenderam que o interesse da questão era saber em que momento ao longo da trajetória o projétil teria a mínima velocidade, ou seja, analisar o movimento do projétil e não o seu repouso.

Já o estudante 3 observou tanto o movimento quanto o repouso, defendendo, portanto, que o objeto possui três velocidades mínimas, as duas mencionadas pelos estudantes acima: no ponto inicial e final, e no momento em que o objeto alcança o topo de sua trajetória. Decidimos adotar essa resposta como certa, tendo em vista que o estudante deixou clara sua análise.

Quanto ao estudante 4, consideramos sua resposta errada pelo fato de sua menção dar a entender que a gravidade escolhe o momento de agir no objeto. Em seu texto: *“Um instante antes da ação da gravidade sobre ela”*, consegue-se interpretar que ele pensa que a gravidade só está presente no movimento quando o objeto se movimenta para baixo, um erro comum a respeito da ação gravitacional.

Quanto a quarta questão:

Tabela 7. Respostas para a questão 4

Questão 4. Considere uma bola de beisebol rebatida descrevendo uma trajetória parabólica num dia, no momento em que o Sol está diretamente acima da cabeça. Como a rapidez da sombra da bola através do campo se compara com o componente horizontal da velocidade da bola?	
CÓDIGOS DOS ALUNOS	RESPOSTAS
1	O componente horizontal da sombra teria uma velocidade menor que a da própria bola.
2	Se comporta de forma igual.
3	A sombra e a bola terão a mesma velocidade, porém como a sombra fica um pouco atrás dar a impressão de que a bola é mais rápida, ou em outros ângulos a sombra pode estar à frente da bola, mas mesmo assim terá a mesma velocidade.
4	A sombra só fica um pouquinho atrás da bola como é refletida durante o movimento.
5	A sombra fica um pouco atrás da bola.
6	Por causa da força e do sol.
7	Por conta do movimento da bola no sol transmite uma sombra da bola.
8	A rapidez da sombra da bola no campo é igual ao componente horizontal da velocidade da bola.
9	Nula
10	A rapidez da sombra da bola através do campo é exatamente igual ao componente horizontal da velocidade da bola.
11	A rapidez da sombra da bola é igual ao componente horizontal da velocidade da bola, pois a sombra segue apenas o movimento horizontal.

12	A rapidez da sombra da bola é igual ao componente horizontal da velocidade da bola, pois a sombra segue apenas o movimento horizontal.
13	Todas terão a mesma velocidade, mesmo que a sombra fique na frente ou atrás
14	Todas têm a mesma terá a mesma velocidade mesmo que a sombra fique atrás
15	A rapidez da sombra da bola através do campo é igual ao componente horizontal da velocidade da bola.
16	A rapidez da sombra da bola é igual ao componente horizontal da velocidade da bola, já que a sombra se move apenas na direção horizontal e permanece constante
17	Ele tem a estratégia e o ângulo que mais chegar a ser preciso para que com a força aplicada seja impactada.
18	A rapidez da sombra da bola através do campo é igual ao componente horizontal da velocidade da bola.
19	A sombra da bola tem a mesma rapidez que o componente horizontal da velocidade da bola, já que ambos são determinados pelo movimento horizontal.

Fonte: Autor, 2025

Para esta pergunta, 12 estudantes acertarão suas respostas e conseguiram perceber que tanto a sombra quanto o próprio objeto possuem mesmas componentes de velocidade horizontal e rapidez. Para estes acertos ressaltamos duas coisas: i) as respostas dos estudantes foram escritas de forma muito semelhante e ii) o estudante 3 em seu texto apresenta a ideia de referencial, embora ele não tenha entendido o fato de que a sombra estava exatamente abaixo da bola por conta da posição do sol, ele apresentou o conceito básico da sombra, quando informa que *dependendo do ângulo* a sombra pode ser vista à frente da bola ou atrás, mas ainda assim suas velocidades serão horizontais serão idênticas.

Os estudantes 1, 4 e 5, erraram suas questões por não entenderem os conceitos básicos de formação de sombras ou devido a uma má interpretação da questão. Esperava-se que por se tratar de estudantes de terceira série os

conceitos de formação de sombra já estivessem estabelecidos e não foi isso que identificamos nesses três estudantes, dois deles não apresentaram se quer os conceitos de rapidez e/ou velocidade, falaram apenas acerca da formação de sombra e ainda assim apresentaram conceitos errados, já o estudante 1 apresentou a ideia de que por acreditar que a sombra estaria sendo projetada atrás da bola, a mesma teria a velocidade menor que a da própria bola.

Com respeito as respostas dos estudantes 6, 7 e 17, nada conseguimos retirar, eles apresentaram um erro de interpretação na questão e suas respostas não apresentaram fundamentos úteis para possíveis interpretações. E o estudante 9 apresentou uma ideia equivocada a respeito da velocidade, dizendo-a que seria nula, como se houvesse movimento da bola.

Com respeito a quinta questão, não utilizaremos uma tabela para apresentar as respostas, pois tivemos uma grande maioria das respostas iguais, o que já se era esperado para a pergunta: *Durante uma competição interna de lançamento de foguetes de garrafa PET, os estudantes deveriam alcançar a maior distância para se consagrarem campeões. O professor deles possibilitou-lhes apenas uma dica: “o melhor lançamento tem relação direta com os ângulos que vocês adotarem em suas bases de lançamento”. Sabendo disso e desconsiderando a resistência do ar, diâmetro e massa do foguete, qual seria o melhor ângulo para o lançamento?*

Dos 19 estudantes que participaram desta pesquisa, 16 responderam que o melhor ângulo seria o de 45° , isso evidencia que eles conseguiram abstrair os conceitos de alcance através da aula de contextualização e utilização do aparato experimental proposto nesta SEI. Já os outros três responderam que seria próximo a 45° e argumentaram que não poderia ser exatamente 45° devido ao fato da resistência do ar e a massa do foguete.

Percebe-se que os estudantes estão de fato certos, mas erraram a questão por uma interpretação mal-feita ou por pressa em responder. A questão informa a necessidade de desprezar essas grandezas, mas os estudantes se apropriaram e fizeram uma análise real do problema.

Por fim, podemos concluir no aspecto geral que o questionário gerou resultados positivos acerca da obtenção do conteúdo proposto para esta SEI.

Faz-se necessário também informar que não necessariamente isto significa que houve algum tipo de aprendizagem, até porque o questionário foi utilizado assim que encerrada a aula, o conteúdo ainda estava “vivo” nos estudantes, para efetivarmos a existência de uma aprendizagem seria necessário que houvesse algum questionário em futuro próximo que versasse acerca do mesmo conteúdo afim de verificação. Neste trabalho, isso não foi possível devido a questão de logística e calendário, pois esta atividade foi trabalhada nas últimas semanas de aula, no mês de dezembro.

Outra discussão interessante de ser realizada diz respeito ao nível de interpretação textual destes estudantes. Como são estudantes da terceira série do ensino médio, esperava-se que não houvesse dificuldade com interpretação textual, isso provou-se contrário, pois dentre as cinco questões tivemos algumas várias respostas não cogitadas para análise por conta de interpretações mal fundamentadas por parte do estudante.

6. DIÁRIO DE BORDO

Na primeira etapa houve certa dificuldade com a produção da trebuchet e o que esperávamos acontecer em 2 horas apenas, precisou de mais 2 horas. Isso significou dois dias de aula, como o professor ministrava duas disciplinas e cada disciplina possuía duas horas semanais, foi necessária uma semana de aula para a produção do aparato. Isso só foi necessário pelo fato dos estudantes apresentarem bastante dificuldade para montar o esqueleto da trebuchet, utilizando cola quente.

Na segunda etapa, identificamos grande interesse dos estudantes e engajamento, isso provavelmente por ser um ensino através de desafios acabou gerando entre os estudantes uma competição de quem conseguia realizar o desafio primeiro ou consegui lançar a maior distância. Durante a utilização do aparato, operaram-no de todas as formas possíveis e exploraram bem as possibilidades que o aparato proporcionava, discutindo entre si e determinando qual seria a melhor configuração, criando estratégias de utilização e pensando bastante antes de qualquer lançamento.

Porém, foi notória a dificuldade para acertar o rei no primeiro problema, alguns estudantes precisaram de muito tempo o que acabou sendo necessário

aumentar a carga horária dessa etapa para 3 horas, unido ao fato de que ainda havia a terceira etapa de uma hora, após acertarem o rei e fizessem seus cinco lançamentos eles precisavam responder as questões de quais estratégias utilizaram. Para essas duas etapas foram necessárias 4 horas, e portanto, mais uma semana.

Já a quarta e quinta etapas, não foram necessários ajustes de tempo, as duas horas foram suficientes para a aula ser ministrada e o questionário ser respondido. Notou-se durante essas duas etapas um grande interesse dos estudantes em compreender como alcançaram os maiores alcances e se suas hipóteses faziam sentido, observaram a aula com atenção e participaram da aula timidamente.

Talvez esse maior interesse dos estudantes na aula tenha sido devido ao sentimento de pertencimento do processo de ensino, ao invés da aula ter acontecido de forma explicativa, houve participação crucial dos estudantes durante a produção e utilização do produto. Outro fato que talvez tenha influenciado esse maior engajamento, tenha sido os estudantes não estarem mais submetidos à pressão dos exames externos, a atividade foi realizada no mês de dezembro.

Por fim, concluímos que para uma replicação deste trabalho será necessária, em média, 10 horas/aulas e não 6 horas/aula como havíamos previsto inicialmente. E que propor um método de ensino que faça o estudante participar ativamente dele pode ser um caminho para vencer a barreira dos desinteresses na sala de aula.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aspecto motivacional para esta pesquisa era compreender os impactos causados na sala de aula por uma abordagem metodológica baseada nas SEIs para o ensino de lançamento oblíquo e alcance. Para isso, nos valem de quatro análises: i) questionário de sistematização, ii) análise das participações durante a aula de contextualização, iii) diário de bordo do professor e iv) questionário final. Tínhamos como objetivos para esta pesquisa, elaborar uma SEI para o ensino do conceito de alcance, construir junto aos estudantes trebuchets de baixo custo e trabalhar o ensino pautado na investigação em sala de aula. Todos esses objetivos foram alcançados com êxito.

Ao longo da etapa de sistematização, conseguimos identificar traços de aprendizagem processual e atitudinal, os estudantes conseguiram relacionar causas e consequências, apresentaram levantamento e testes de hipóteses, conseguiram deixar evidente o fato de que a melhor combinação para o uso da trabuchet seria unir o projétil leve ao contrapeso menos leve, evidenciando que esta relação tratava-se de uma relação de proporcionalidade, isto é, quanto mais leve o projétil e menos leve o contrapeso, maior será o alcance. Discutiram ao longo de seus procedimentos e conseguiram identificar que o principal agente para o lançamento do projétil era o clipe de papel responsável por sustentar o projétil, pois sua angulação tinha total influência no lançamento.

Apenas um dos grupos conseguiu apresentar uma evidência concisa de alfabetização científica, ao longo de suas respostas conseguiram apresentar as hipóteses, os testes das hipóteses, a justificativa, a previsão e por fim a explicação de forma explícita. Os demais grupos apresentaram timidamente algumas dessas características, mas não todas. Por se tratar de uma turma de terceiro ano, o esperado era que a maioria apresentasse evidências de alfabetização científica, isso indica que aos longos de seus três anos os estudantes não passaram por uma ampliação dos conhecimentos prévios para os científicos.

Fato interessante de ser mencionado ao longo do processo inicial de produção e utilização do experimento, trata-se das discussões internas dos grupos acerca da melhor maneira de utilizar o aparato, suas construções de hipóteses acompanhadas de testes foram significativas, percebeu-se que todos

os grupos conseguiram ajustar suas hipóteses através das tentativas e erros até que conseguissem êxito no desafio proposto.

Identificamos durante a aula que os estudantes participaram timidamente e suas contribuições foram semelhantes aos acontecidos na etapa de sistematização e escrita, a única pontuação a ser feita para este momento é que os estudantes, mesmo após pensarem para fazer suas contribuições acabavam deixando de falar alguma coisa interessante, quanto ao projétil utilizado ou o contrapeso, com respeito ao alcance obtido e etc. para isso foi necessário que o professor fizesse questionamentos pertinentes de maneira que fosse evidenciada estas outras informações importantes.

Além disso, conseguiu-se perceber que durante os questionamentos da aula os estudantes participaram ativamente, quando perguntado sobre o tempo de queda de três lançamentos simultâneos, notou-se que antes dos estudantes darem suas respostas discutiam entre si para encontrarem a melhor explicação, evidenciando uma interação social de construção de conhecimento.

Quanto ao questionário final, os estudantes apresentaram resultados excelentes para a primeira, terceira, quarta e quinta questões. Conseguiram de forma significativa relacionar os conceitos de tempo de queda, altura máxima e alcance em suas respostas, mas quanto a segunda questão apresentaram um resultado parcialmente positivo, pois muitos estudantes acabaram cometendo o erro clássico de confundirem aceleração com velocidade, escrevendo em suas respostas que ao longo de um lançamento oblíquo o objeto possui velocidade na horizontal, enquanto que a questão tinha o interesse de identificar se os estudantes conseguiam diferenciar as acelerações verticais e horizontais.

Quanto aos registros do diário de bordo, destacamos como ponto positivo o interesse do estudante, ficou notório que quando o estudante se torna agente ativo de seu próprio ensino, ele participa com maior veemência sentindo-se parte da aula, isto é, um ensino em que o estudante participa ativamente do processo produz no estudante maior motivação e interesse em compreender aquilo que fez.

Como ponto negativo, esta proposta demandou mais tempo que o esperado e os motivos para esta necessidade foram o i) desempenho dos

estudantes na construção do experimento, alguns conseguiram realizar essa tarefa com maestria e facilidade, enquanto que outros precisaram de mais um encontro para conseguirem concluir de forma aceitável e ii) o desempenho dos estudantes para cumprir o primeiro desafio proposto, como não havia limite para o número de tentativas, muito levaram tempo considerável para alcançar o êxito. Desta forma, o que havíamos planejado para 6 aulas, tornou-se necessário 10 aulas.

Em linhas gerais, a aplicação desta SEI na sala de aula promoveu aos estudantes a aproximação ao saber científico, de forma que os estudantes conseguissem se validar de hipóteses, testá-las, criarem justificativas e explicações. Esta aplicação apresentou resultados positivos nos aspectos de aprendizagem e motivação dos estudantes, possibilitando identificar grande interesse no processo de produção e utilização da trebuchet e curiosidade para entender seu funcionamento, identificou-se também indícios de aprendizagem atitudinais e processuais.

Ao longo da aplicação deste produto educacional, identificamos algumas alternativas ou incrementos numa aplicação futura. Percebemos que além dos dois desafios iniciais propostos, também poderia ser interessante criar uma batalha de trebuchets em que dois grupos montassem suas trebuchets nos extremos do *campo de batalha*, escolhessem um lugar para colocar seu rei neste campo e o primeiro grupo que derrubasse o rei adversário, venceria a competição, além de trabalhar o conceito de lançamento oblíquo, estaria sendo trabalhado o processo lúdico de ensino.

Entendemos também que um questionário alternativo aplicado em algum momento posterior ao questionário final, de maneira que retornasse o assunto abordado, serviria para verificar se de fato houve aprendizagem durante este processo de ensino. É evidente que em caso de negativa com respeito a aprendizagem, esta SEI não se tornaria inválida, pois ainda que posteriormente fosse notado um dado negativo, esta SEI teve seu valor durante a aplicação, tanto para o docente quanto para o discente, tornando a aula mais engajadora e propensa à curiosidade do estudante.

No fim, concluímos que a abordagem de ensino pautada na investigação possui grande capacidade de gerar a curiosidade do aluno e como consequência disso, o seu interesse.

REFERÊNCIAS

- FERREIRA, P.H.D. GHIGLIENO, F. TRIBUZI, V. **Atividades experimentais no ensino de óptica: uma nova revisão.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol 46, e20240104, 2024.
- FRANÇA, G.H. LOPEZ, J.V. **Experimento de baixo custo para o ensino de física óptica: o caso da Lei de Malus.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol 44, e20210423, 2022.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas.** In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; OLIVEIRA, Carla Marques Alvarenga de; SCARPA, Daniela Lopes; SASSERON, Lúcia Helena; SEDANO, Luciana; SILVA, Maíra Batistoni e; CAPECCHI, Maria Candida Varone de Moraes; ABIB, Maria Lucia Vital dos Santos; BRICCIA, Viviane. **Ensino de Ciências por investigação:** condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 1-20.
- SASSERON, L.H. **Alfabetização Científica no Ensino Fundamental – Estrutura e Indicadores deste processo em sala de aula.** Tese apresentada à Faculdade de Educação da USP, 2008.
- THORNTON, S.T. MARION, J.B. **Dinâmica Clássica de partículas e sistemas;** tradução All Tasks; revisão técnica: Fábio Raia. 5ª edição. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- HEWITT, Paul G. **Física conceitual [recurso eletrônico];** tradução: Trieste Freire Ricci; revisão técnica: Maria Helena Gravina. – 12. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2015.
- MELO FILHO, J.B. **Sequência de Ensino Investigativa: Estudo Experimental de uma situação problema envolvendo um plano inclinado.** 2022. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru.
- FREITAS, A.C. BRICCIA, V. **As potencialidades de uma sequência de ensino investigativa na educação infantil.** Revista Encantar – Educação, Cultura e Sociedade – Bom Jesus da Lapa, v2, p. 01-23, 2020.
- RODES, G.P. SILVA, M.A.J. GARCIA, J.F.M. **A implementação de uma sequência de ensino investigativa e o repensar da prática docente.** Experiências em Ensino de Ciências, v14, n1, p. 353-364, 2019.
- MOURA, F.A. COSTA, B.C. FREIRE, G.M. **O Ensino de Física através de atividades investigativas sobre a Primeira Lei de Newton.** Research, Society and Development. v7:e45871159, p. 01-22, 2019.
- MOURA, F.A. SILVA, R. **O Ensino de Física por Investigação: A socioconstrução do conhecimento para medir a aceleração gravitacional.** Research, Society and Development, v3:e1083771, p. 01-13, 2019.

TEIXEIRA, M.A.M. SILVA, J.F. GONÇALVES, E.J. **Sequência de ensino investigativa de física – cinemática**. Semana Internacional da Física 2021, IFSP.

MARCELINO, D. **Sistema de aquisição de dados para o estudo do movimento: uso de sequência de ensino investigativa**. 2020. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal do Paraná, Medianeira.

DEVRIES, K. SMITH, R.D. **Medieval Weapons an Illustrated history of their impact**. 1ªed. Santa Barbara-Califórnia: ABC-CLIO, 2007.

ALMEIDA FILHO, F.S. **Arquimedes, a alavanca e o trebuchet – um experimento para à contextualização da Física**. Orientador: Prof. Ms. Marcelo Henrique Belonsi, 2012. TCC (Licenciatura em Matemática), Universidade Estadual de Goiás, Goiás, 2012.

SOUZA, C.A. **Estudo do lançamento Obliquo utilizando réplicas de armas medievais**. 2020. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tramandaí.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

ZENELLA, L.C.H. **Metodologia de pesquisa**. 2ª ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração / UFSC, 2011.

ANDRÉ, M. **O que é um estudo de caso qualitativo em educação?** Revista da FAEEBA – Educação e Contemporaneidade, Salvador, v. 22, n. 40, p. 95-103, 2013.

APÊNDICE A

PRODUTO EDUCACIONAL

Sequência De
Ensino
Investigativa:
Trebuchet &
Lançamento
Obliquo

Elton David Lopes
João Eduardo Fernandes Ramos

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE - CAA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 46**

PRODUTO EDUCACIONAL

**SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA: TREBUCHET E
LANÇAMENTO OBLIQUO**

**AUTORES: ELTON DAVID LOPES
JOÃO EDUARDO FERNANDES RAMOS**

CARUARU

2025

Apresentação

Caro professor, saudações!

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: UTILIZANDO A TREBUCHET PARA O ENSINO DE ALCANCE ATRAVÉS DE UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 46 – UFPE-CAA Caruaru-PE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Neste texto você irá encontrar uma proposta de ensino para o conceito físico de lançamento oblíquo focado no ensino de *alcance*, nesta proposta será sugerido a utilização de uma *mini* arma de cerco medieval: a *trebuchet*! Sabemos que a sala de aula pode ser desafiadora para o ensino de física e foi pensando nisso que produzimos uma proposta de ensino baseada nas configurações do Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) que pudesse de certa forma acrescentar à bagagem do professor uma nova metodologia de ensino, focando menos na parte matemática e mais no conceito físico.

Apresentaremos ao longo deste trabalho, uma sequência de ensino investigativa (SEI) (Carvalho, 2013), que se apoia na utilização de uma trebuchet de baixo custo que terá como foco o ensino de alcance atrelado aos conceitos físicos do lançamento oblíquo, poderá ser aplicado em qualquer nível do ensino médio, mas, geralmente o conteúdo abordado nesse trabalho tem maior relação com os conceitos abordados costumeiramente aos primeiros anos do ensino médio.



Sumário

Fundamentação Teórica	4
Trebuchet de Baixo Custo	6
Aplicação do Produto Educacional	9
Sugestões	15
Referências	17

Fundamentação Teórica

A SEI trata-se de uma proposta de ensino pautada no ensino por investigação, apropriando-se do contexto e das concepções espontâneas dos estudantes. Em suma, têm como um de seus principais interesses, aproximar os estudantes do processo científico, é evidente que os estudantes não possuem maturidade para se comportarem ou até mesmo pensarem como cientistas (Carvalho, 2013), e é por esse motivo que as SEIs entram em ação, pois elas atreladas a mediação do professor podem aproximar o estudante dessa ambientação científica (Carvalho, 2013). E esse processo dar-se-á através dos questionamentos realizados pelo professor e da construção de respostas breves dos estudantes para algum problema também apresentado pelo professor.

De modo geral, sua estrutura possui quatro etapas: i) O problema, que poderá ser experimental ou não experimental, ii) Atividade de sistematização, que preferencialmente se dará através de atividades de leituras, iii) Contextualização, trata-se da aproximação do conteúdo abordado ao contexto do estudante, através do cotidiano ou da história da ciência e iv) avaliação, que poderá ser qualquer tipo de avaliação desde que ela tenha um caráter formativo e que fuja na medida do possível da avaliação costumeiramente utilizada em sala de aula (Carvalho, 2013).

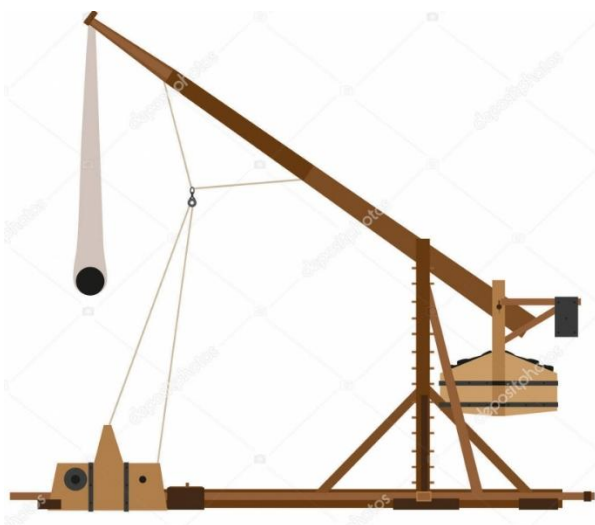
Para o problema, será utilizado como aparato experimental, a trebuchet, arma de cerco que se destacou como uma das mais poderosas, por sua capacidade de lançar projéteis pesados a grandes distâncias. Ao contrário das catapultas tensionadas por cordas ou torções, a trebuchet operava com base em um contrapeso, o que conferia maior eficiência e controle ao disparo.

A origem da trebuchet remonta à China antiga, por volta dos séculos III e V, sob a forma de versões menores acionadas por tração humana. Com o tempo, o conceito se espalhou pelo mundo islâmico e europeu, alcançando seu ápice técnico no período das Cruzadas (séculos XI a XIII). Durante esse período, as trebuchets podiam lançar projéteis de até 100 kg a distâncias superiores a 200

metros (DeVries, Smith, 2007). A máquina foi utilizada até o advento da pólvora, quando canhões e armas de fogo se tornaram dominantes.

A trebuchet (figura 1) funciona essencialmente como uma alavanca de segunda classe. Um braço longo é conectado a um eixo de rotação fixo. De um lado do braço, um contrapeso pesado é suspenso; do outro lado, uma funda contém o projétil. Ao liberar o contrapeso, a força gravitacional o puxa para baixo, fazendo com que o braço rotacione rapidamente e a funda lance o projétil.

Figura 1 – Esboço de Trebuchet ou Trabuco



Fonte: Retirada do site DepositPhotos³

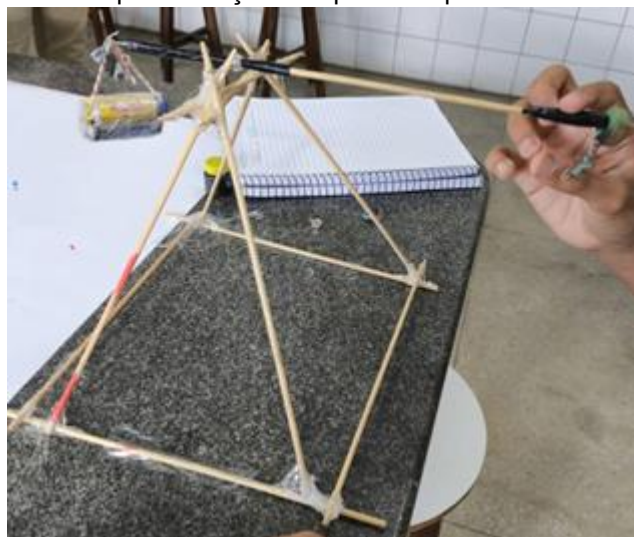
Pela ótica da física, muito se pode trabalhar com a utilização deste aparato experimental, mas para esta proposta iremos nos ater apenas ao que compete o lançamento do projétil, deixaremos de lado os conceitos de *torque* e *conservação de energia mecânica* e buscaremos evidenciar o lançamento oblíquo.

³ Disponível em: <https://depositphotos.com/br/vector/trebuchet-catapult-vector-icon-war-medieval-siege-illustration-weapon-wood-ancient-sling-shot-historical-167600758.html> . Acesso em: 05 abr. 2025

Trebuchet de Baixo Custo

Para a aplicação da SEI será necessário produzir uma mini trebuchet (figura 2), serão necessários 10 palitos de churrasco, 3 cliques para papel, bastão de cola quente e fita isolante. Para o contrapeso pode ser utilizado pilhas médias em grupos de quatro pilhas ou de três pilhas e para os projéteis poderá ser utilizadas porcas de parafusos de tamanhos distintos.

Figura 2: Esquematização do aparato experimental: *trebuchet*



Fonte: Autor, 2025

Na próxima página, deixaremos um passo a passo retirado do canal *Manual do Mundo*⁴ que pode ser imprimido e distribuído para os estudantes, de forma que os auxiliem na produção da trebuchet.

Importante ressaltar que existem alternativas para esse material mencionado acima:

Tabela 1. Alternativas para produção do aparato experimental

MATERIAL RECOMENDADO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Palitos de churrasco	<i>HASHI</i> (Palito utilizado como “talher” na cultura japonesa)	Palitos de Picolé
Pilhas médias	Pesos de balança de medição antigas	Potes com areia bem lacrados.
Porcas de parafusos	Pedras pequenas	Bolas de gude.

Fonte: Autor 2025

⁴ Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=y_wFkAuNoVY. Acesso em: 25 abr. 2025

Passo a passo – Trebuchet

PASSO 01 - FORME DOIS “A” COMO ESSE, IDÊNTICOS.



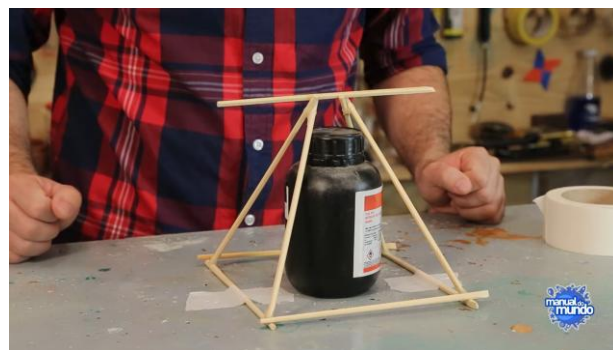
PASSO 02 – COLE AS DUAS EXTREMIDADES INFERIORES, DESTE MODO:



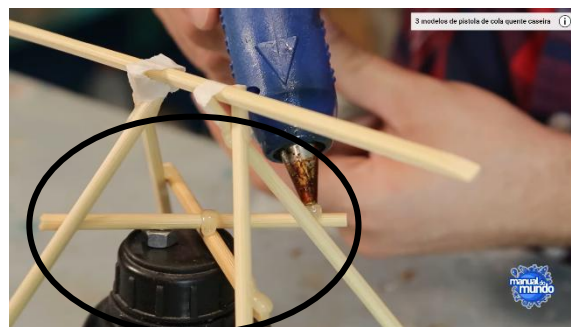
PASSO 03 - E AS EXTREMIDADES SUPERIORES, ASSIM:



PASSO 04 – COLE OS PALITOS NAS LATERAIS INFERIORES, CRIANDO ESTA CONJECTURA (SE ATENTE PARA O PALITO SUPERIOR, ELE PRECISA ESTAR NIVELADO):



PASSO 05 – FAÇA ESSA ESTRUTURA DE “X” NA PARTE SUPERIOR DA TREBUCHET:



PASSO 06 – ENROLE UM CLIPE DE PAPEL EM UM PALITO A PARTE, DESTA FORMA: (POSIÇÃO DO CLIPE: ¼ DO TAMANHO)



PASSO 07 – FIXE MAIS DOIS CLIPES, UM EM CADA EXTREMIDADE, EM UMA DAS EXTREMIDADES O CLIPE LEVEMENTE INCLINADO E NA OUTRA O CLIPE EM FORMATO DE ANZOL.



Além da trebuchet será necessário providenciar materiais que possibilitem o registro de distâncias alcançadas, instrumentos que possam aferir estas distâncias e instrumentos que possam de alguma forma marcar o ponto de queda do projétil, para isso poderá ser utilizado um conjunto de cartolinas ou papel 40, trenas e tintas. Após decidido o ponto para colocar a trebuchet, à sua frente deve ser posto dois papéis 40 e fixá-los na superfície, caso não haja uma mesa de laboratório relativamente extensa à disposição, essa atividade pode ser feita no chão.

Na lateral desses papéis 40, deverá ser fixada uma trena ou fazer as devidas marcações de distâncias no próprio papel do início até o fim, dois metros é uma excelente distância. Para marcar as quedas dos projéteis será utilizado tinta guache, basta banhar o projétil com a tinta e arremessá-lo (figura 3), desta forma quando ele tocar o chão, deixará sua marca e sairá rolando, utilize sempre a primeira marca feita.

Figura 3. Conjunto completo do aparato experimental



Fonte: Autor 2025

Para marcar essas distâncias, pode ser utilizado algumas alternativas, como ao invés de papel utilizar areia ou papel carbono, ambos excluem a necessidade da utilização de tinta nos projéteis, neste caso fica a critério do professor.

Aplicação do Produto Educacional

Essa Sequência de Ensino Investigativa possui cinco etapas: i) produção do aparato experimental, ii) utilização do aparato experimental a partir de dois problemas, iii) sistematização escrita da utilização, iv) contextualização em forma de aula ministrada pelo professor e v) avaliação a partir de um questionário final com cinco questões.

Ao longo da apresentação deste produto será proposto algumas alternativas de aplicação, mas é evidente que o professor tem total autonomia para alterar algumas etapas e deixar a proposta metodológica do jeito que melhor se adequar à sua turma e ao seu jeito de ensinar.

Primeira Etapa

Para esta etapa será necessário de duas a quatro aulas, esse tempo irá variar pois dependerá da quantidade de ferramentas disponíveis, da quantidade de grupos formados e da destreza em desempenhar trabalhos manuais dos estudantes. Trata-se da etapa de separação dos grupos, apresentação e produção do aparato experimental.

O professor irá separar os grupos em no máximo **quatro estudantes por grupo**, é necessário um número baixo de estudantes para que todos possam trabalhar e participar ativamente desta SEI. A cada grupo, será entregue os materiais necessários para a produção, a folha do *passo a passo* presente neste material e caso sinta necessário, apresentar o vídeo do canal *Manual do Mundo*.

Após essas condições serem cumpridas, o professor mediará a produção destas trebuchets, observando o trabalho dos estudantes e intervindo quando necessário. Para isso acontecer da melhor maneira possível, recomenda-se que o professor produza sua própria trebuchet antes de solicitar que seus estudantes a produzam.

Segunda Etapa

Após produção das trebuchets, elas deverão ser postas conforme a figura 3 e o professor escolherá um lugar aleatório para posicionar um Rei de xadrez. Esta etapa se trata da utilização da trebuchet pelos grupos de estudantes, serão necessárias de duas a três horas para sua realização, pois os estudantes resolverão dois problemas propostos pelo professor, grupo após grupo.

O primeiro problema, se trata de um desafio: o grupo de estudantes deverão operar sua trebuchets conforme pesos e projéteis escolhidos, de maneira que consigam atingir o Rei, neste momento o professor não poderá interferir e deverá ser paciente, pois os estudantes aprenderão com seus erros, por isso para este problema o tempo fornecido deve ser ilimitado, até que consigam êxito. Este problema tem como principal interesse familiarizar os estudantes com suas trebuchets e fazê-los perceber que a maleabilidade do clipe que sustenta o projétil é essencial para o sucesso do lançamento.

Já o segundo problema, se trata da utilização máxima da trebuchet, deverá ser fornecido aos estudantes cinco lançamentos e dentre estes cinco lançamentos, eles deverão conquistar com suas estratégias o maior lançamento possível. Neste problema o principal interesse é verificar se os estudantes conseguiram compreender o funcionamento de suas trebuchets e se perceberam a importância do clipe para os lançamentos. Atrelada a esta etapa, acontecerá a terceira etapa.

Terceira Etapa

A terceira etapa, é etapa de sistematização. Ela acontecerá unida à segunda etapa, pois ela dependerá dos resultados conquistados na segunda etapa, trata-se dos registros dos lançamentos dos estudantes e das repostas para duas perguntas posteriores aos lançamentos. Os estudantes registrarão as distâncias que alcançaram em seus lançamentos e responderão a duas perguntas: i) qual estratégia vocês utilizaram para derrubar o rei e ii) qual estratégia utilizada para obter a maior distância dentre os cinco lançamentos.

Para esta etapa o professor pode se apoiar nessa tabela:

Tabela 2. Tabela de sistematização dos resultados obtidos nos problemas

REGISTRE AQUI SEUS DADOS EXPERIMENTAIS E RESPONDA ESTAS DUAS PERGUNTAS.	
Lançamentos	Distâncias
1º Lançamento	
2º Lançamento	
3º Lançamento	
4º Lançamento	
5º Lançamento	
Pergunta 1. Qual estratégia vocês utilizaram para derrubar o Rei?	
Pergunta 2. Qual estratégia utilizada para obter a maior distância dentre os cinco lançamentos?	

Fonte: Autor, 2025

Esta etapa deverá acontecer concomitantemente à etapa anterior para garantir que os estudantes não esqueçam seus feitos e não consigam responder a essas duas perguntas e deverá ser entregue ao professor para análise posterior. O professor se preocupará em identificar aprendizagens atitudinais e processuais, que segundo Carvalho (2013) as atividades atitudinais trata-se de avaliar as atitudes dos estudantes individualmente e com seus colegas, enquanto a aprendizagem processual compete a identificar elaboração de hipóteses, testes e sequenciamento de utilização do aparato.

Por exemplo, se ao longo da atividade os estudantes colaboram entre si com dicas e sugestões, eles apresentam uma aprendizagem atitudinal e se no

momento em que precisam explicar o êxito dos seus feitos criam hipóteses e testam, isto apresenta uma aprendizagem processual.

Se durante a aula o estudante espera sua vez de falar e observa com atenção a contribuição do colega, isso é uma aprendizagem atitudinal e se durante sua fala ele consegue relacionar os feitos do grupo com os conceitos científicos abordados, apresenta domínio da ação manipulativa e relaciona causa e efeito, esta situação poder caracterizada como uma aprendizagem processual.

Outras situações também podem ser enquadradas no aspecto de aprendizagem atitudinal: escrever as respostas dos grupos utilizando verbos de ação no plural, durante a construção de painel identificar a colaboração do grupo em prol de uma ideia e etc. Já outra forma de verificar uma aprendizagem processual é no momento em que os estudantes relatam por meio de texto ou desenho as relações das ações e os fenômenos observados e também a sequência de ações realizadas.

Quarta Etapa

Para a contextualização deverá ser preparada uma aula com duração de uma hora aproximadamente, nesta aula a ideia é que o material seja aproximado ao contexto do estudante, para isso serão utilizados três vídeos: i) vídeo de uma trebuchet em tamanho normal funcionando em um filme⁵, ii) vídeo curto de uma trebuchet funcionando na vida real⁶ e iii) vídeo que aborda o contexto histórico por trás da produção e utilização da trebuchet do canal *Canal Medieval*⁷. Para abordagem conceitual de lançamento oblíquo pode-se apropriar de uma figura de uma criança atirando uma pedra (figura 4) e utilizar o simulador de bala de canhão do PhetColorado (figura 5).

Nesta aula o ideal é fazer uma análise de um lançamento oblíquo, discutindo as componentes de velocidades, as ações da aceleração, supondo situações em que a gravidade exista e situações que não, analisando a relação da queda livre com o lançamento oblíquo e comparando-os. Durante a aula

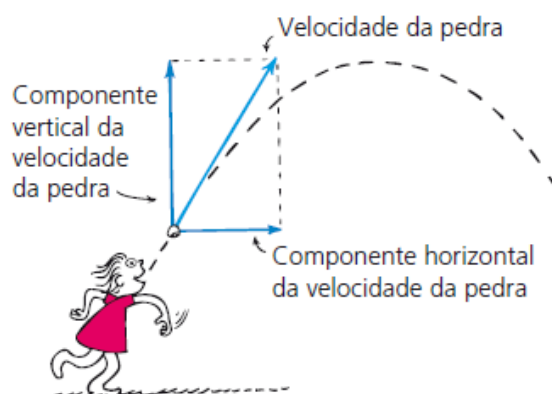
⁵ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8CWmtlG42jA> Acesso em: 25 abr. 2025

⁶ Disponível em: <https://www.youtube.com/shorts/9KCfs2KQKwI> Acesso em: 25 abr. 2025

⁷ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZBQntekpfpl> Acesso em: 25 abr. 2025

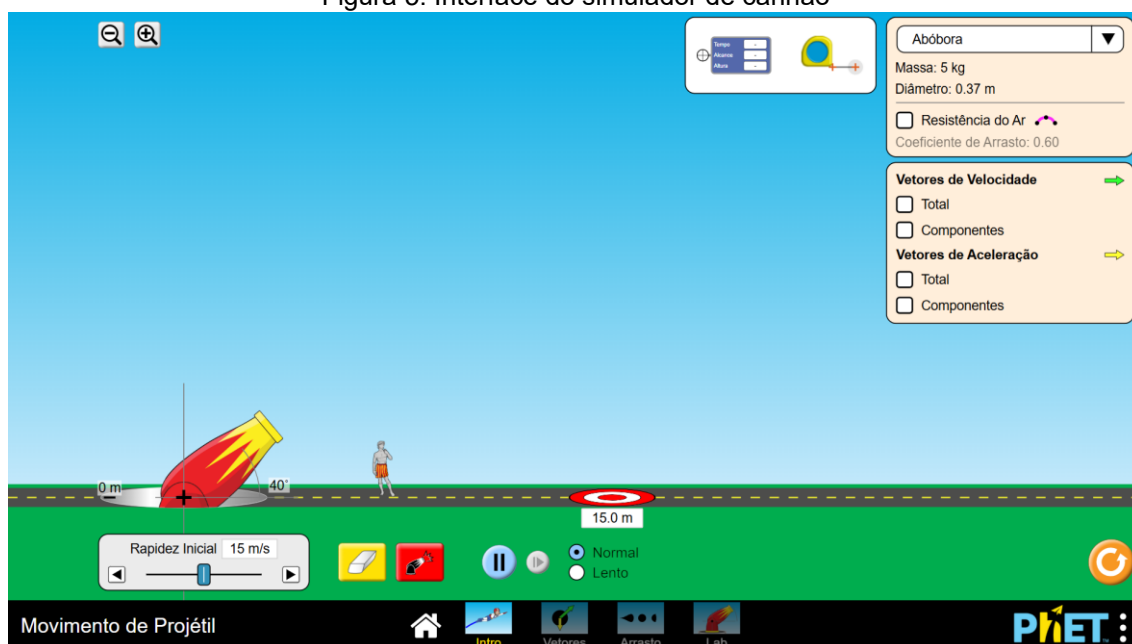
também pode ser solicitado que os estudantes socializassem suas medidas conquistadas na etapa anterior de manipulação e deem explicações para os seus feitos.

Figura 4. Criança atirando uma pedra formando um lançamento horizontal.



Fonte: Hewitt, 2015

Figura 5. Interface do simulador de canhão



Fonte: Retirado do site PhetColorado⁸

A figura 4 pode ser utilizada para abordar os conceitos físicos de lançamento horizontal, componentes de velocidades x e y e equação para alcance máximo. Já a figura 5, será utilizada ao final da aula, pois deve-se solicitar ao estudante que determine o alcance do corpo à velocidade inicial $V_0 = 20 \text{ m/s}$ para os três ângulos notáveis (30° , 45° e 60°), esta solicitação tem o

⁸ Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_pt_BR.html. Acesso em: 13 abr. 2025

interesse na fixação da equação ideal de alcance, que desconsidera diâmetro e massa do objeto e resistência do ar.

Para conferir os resultados encontrados pelos estudantes o professor pode utilizar o simulador, ao invés de resolver matematicamente no quadro. Gerando a discussão de qual seria o melhor ângulo para o lançamento de maior alcance. Afim de melhor apropriação deixaremos em nota de rodapé um modelo de documento em *PowerPoint* que poderá ser utilizado nessa etapa.⁹

Quinta Etapa

Esta etapa compete à avaliação do estudante, identificar se o estudante conseguiu reter o conhecimento abordado e se conseguiu entender os princípios básicos de um lançamento oblíquo. Para isso, o estudante responderá cinco questões teóricas baseadas no livro *Física Conceitual* de Paul Hewitt. O professor pode fazer esta avaliação de forma impressa, escrita no quadro ou online, fica a critério e dentro do possível para sua realidade. Abaixo apresentaremos as questões atreladas aos objetivos e respostas esperadas.

Tabela 3. Questionário Final

Questão 1. No exato instante em que um canhão dispara uma bala na direção horizontal a partir de uma torre, outra bala de canhão, mantida ao lado do canhão na torre, é solta e cai em direção ao solo. Qual das balas, a que foi disparada ou a que foi solta a partir do repouso, chegará primeiro ao solo?
<i>Resposta esperada: Ambas as balas chegam ao mesmo tempo ao solo.</i>
Questão 2. Em uma noite de verão uma pessoa é assaltada próximo a sua casa, como única forma de legítima defesa, ela decide arremessar uma pedra no ladrão que já estava relativamente distante, formando um certo ângulo. Uma vez no ar, e desprezando a resistência aerodinâmica, qual é a aceleração vertical da pedra? E a horizontal?
<i>Resposta esperada: Aceleração vertical: Aceleração gravitacional (direção para baixo) e a Aceleração horizontal: 0 m/s²</i>

⁹ Disponível em:

https://drive.google.com/file/d/1cHFgNG8Q_cFhETrPu25BAhK2gpEmLF7q/view?usp=sharing Acesso em: 25 abr. 2025

Questão 3. Em que parte de sua trajetória a pedra tem a mínima velocidade?

Resposta esperada: No ponto mais alto da trajetória.

Questão 4. Considere uma bola de beisebol rebatida descrevendo uma trajetória parabólica num dia, no momento em que o Sol está diretamente acima da cabeça. Como a rapidez da sombra da bola através do campo se compara com o componente horizontal da velocidade da bola?

Resposta esperada: A rapidez da sombra da bola no chão é igual ao componente horizontal da velocidade da bola.

Questão 5. Durante uma competição interna de lançamento de foguetes de garrafa PET, os estudantes deveriam alcançar a maior distância para se consagrarem campeões. O professor deles possibilitou-lhes apenas uma dica: “o melhor lançamento tem relação direta com os ângulos que vocês adotarem em suas bases de lançamento”. Sabendo disso e desconsiderando a resistência do ar, diâmetro e massa do foguete, qual seria o melhor ângulo para o lançamento?

Resposta esperada: O melhor ângulo para o lançamento é o de 45° , tendo em vista que a resistência do ar, massa e diâmetro do objeto devem ser desprezados.

Fonte: Autor, 2025

É importante frisar que esta avaliação se empenhará em identificar o aprendizado dos conceitos, noções científicas, ações, atitudes e valores da cultura científica, segundo Carvalho (2013).

Sugestões

Além do que foi exposto ao longo desse texto, também gostaríamos de apresentar algumas possibilidades extras de utilização deste produto. A primeira trata-se da utilização do questionário final, quando aplicado assim que ministrado a aula, é plausível pensar que os estudantes terão alto índices de acertos e isso não necessariamente indicará alguma aprendizagem. Portanto, recomendamos que seria interessante que alguns dias depois, fosse solicitado aos estudantes que utilizassem novamente o instrumento experimental e lhes fossem feitas as mesmas perguntas, a fim de analisar como os estudantes reutilizariam a trebuchet e quais seriam seus rendimentos.

Outra sugestão, trata-se da ideia de competição com as trebuchets, para esta situação seria necessária duas trebuchets e dois grupos. Na ideia medieval de guerras, propomos que após toda a abordagem da SEI, o professor replique a atividade, desta vez, de maneira que dois grupos se enfrentem e tentem derrubar o Rei. Essa proposta pode ser abordada com apenas um Rei no *campo de batalha* gerando a ideia de quem derrubar primeiro vence ou também pode ser delimitada uma área dentro do *campo de batalha* em que cada equipe poderá colocar seu Rei e quem derrubar primeiro vence, nesta segunda situação além da destreza manuseando a trebuchet, também entrará em questão o conceito de estratégia, tendo em vista que haverá posições para o Rei que provavelmente serão mais difíceis de serem acertadas.

Além de ser trabalhada a ideia de lançamento oblíquo, como proposto nesta SEI, pode-se também trabalhar a ideia de conservação de energia mecânica, criar discussões acerca da energia potencial gravitacional do contrapeso se transformando em energia cinética de rotação. Além disso pode-se também trabalhar o conceito de torque analisando o movimento da alavanca da trebuchet, trata-se, portanto, de um aparato experimental com algumas possibilidades de aplicação, basta apenas que o professor se prepare e decida como utilizar o aparato experimental.

Referências

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

DEVRIES, K. SMITH, R.D. **Medieval Weapons an Illustrated history of their impact**. 1ªed. Santa Barbara-Califórnia: ABC-CLIO, 2007.

HEWITT, Paul G. **Física conceitual [recurso eletrônico]**; tradução: Trieste Freire Ricci; revisão técnica: Maria Helena Gravina. – 12. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2015.