



# ENSINO DE CINEMÁTICA UTILIZANDO SIMULADORES PHET E LANÇAMENTOS DE FOGUETES DE GARRAFA PET

## CINEMATICS TEACHING USING PHET SIMULATORS AND PET BOTTLE ROCKET LAUNCHING

RAPHAEL DE OLIVEIRA GAUDIO<sup>1</sup>, LUIZ OTÁVIO BUFFON<sup>1</sup>

<sup>1</sup>MNPEF - Polo 33 - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, IFES

---

### Resumo

*Este artigo relata a construção, a aplicação e a avaliação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), desenvolvida em uma dissertação de mestrado profissional em ensino de Física, para o ensino de cinemática através do uso de simulações computacionais PhET e de oficinas de construção e lançamentos de foguetes de garrafa PET. Os sujeitos da pesquisa foram 32 alunos de uma turma de dependência de Física do primeiro ano, composta por alunos oriundos de vários cursos técnicos integrados ao ensino médio do XX. A intervenção começou com a aplicação de um questionário de conhecimentos prévios, seguida de uma palestra sobre a origem e evolução dos foguetes, que funcionou como um organizador prévio. Ao todo foram 9 encontros que envolveram diversas simulações computacionais utilizando o simulador PhET Colorado, nas quais os alunos, em grupos, investigaram diversas situações-problemas com a mediação do professor. Em cada encontro ocorreram diferenciações progressivas e reconciliações integrativas, com discussões mediadas pelo professor. No quinto encontro foram construídos pelos alunos os foguetes de garrafa PET, que foram lançados nos sétimo e oitavo encontros. No nono encontro foi aplicada a avaliação final e o questionário de opinião. A pesquisa mostrou uma turma com pouca participação, apesar dos trabalhos serem todos colaborativos, talvez até por eles serem alunos provenientes de cursos diferentes e que não se conheciam. Apesar disso, percebemos empenho e engajamento na realização das atividades. Os relatos durante os encontros corroboram essa percepção e o questionário de opinião confirmou o interesse e satisfação da turma pelo produto didático utilizado.*

**Palavras-chave:** Lançamento oblíquo. Foguetes de garrafa PET. Unidades de ensino potencialmente significativas. Simuladores computacionais PhET.

---

---

### Abstract

*This article reports the construction, application and evaluation of a Potentially Significant Teaching Unit (UEPS), developed in a professional master's thesis in Physics teaching, for the teaching of kinematics through the use of computer simulations PhET and workshops of construction and launch of PET bottle rockets. The research subjects were 32 students from a first-year Physics dependency class, composed of students from various technical courses integrated into high school at the XX. The intervention began with the application of a questionnaire on prior knowledge, followed by a lecture on the origin and evolution of rockets, which acted as a previous organizer. In all, there were 9 meetings that involved several computer simulations using the PhET Colorado simulator, in which the students, in groups, investigated various problem-situations with the teacher's mediation. In each meeting, there were progressive differentiations and integrative reconciliations, with discussions mediated by the teacher. In the fifth meeting, the students made the PET bottle rockets that were launched in the seventh and eight meetings. In the ninth meeting, the final evaluation and the opinion questionnaire were applied. The research showed a group with little participation, despite the works being all collaborative, maybe even because they are students from different courses and who did not know each other. Despite this, we noticed commitment and engagement in carrying out the activities. The reports during the meetings corroborate this perception and the opinion questionnaire confirmed the interest and satisfaction of the class in the didactic product used.*

**Keywords:** *Oblique launch. PET bottle rockets. Potentially significant teaching units. PhET computer simulators.*

---

## I. INTRODUÇÃO

Na disciplina de Física do ensino médio, a metodologia tradicional, expositiva e centrada no professor, não consegue minimizar as dificuldades que os alunos apresentam nessa ciência. As aulas, em geral baseadas em apostilas ou livros textos, carecem de contextualização, experimentação e de participação ativa dos alunos. Esse diagnóstico já havia sido detectado no PCNEM (1998, p. 22) da forma:

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

produto acabado, fruto da genialidade de mentes como a de Galileu, Newton ou Einstein, contribuindo para que os alunos concluam que não resta mais nenhum problema significativo a resolver. Além disso, envolve uma lista de conteúdos demasiadamente extensa, que impede o aprofundamento necessário e a instauração de um diálogo construtivo.

Como resultado, tem-se no ensino médio, baixos níveis de aprendizagem e um predomínio da chamada aprendizagem mecânica, com pouco significado para o aluno. Uma possibilidade de minimizar esses problemas é realizar o planejamento das atividades dentro do contexto de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) (MOREIRA, 2011), que tem por objetivo criar uma sequência contextualizada e que tenha significado para o aluno, com o objetivo de provocar um engajamento e motivação.

Um documento oficial mais recente, a BNCC de 2018, coloca como um objetivo a ser atingido o de desenvolver a capacidade investigativa dos estudantes, o que dificilmente será conseguido com o ensino tradicional. A competência específica 3 de ciências da natureza e suas tecnologias para o ensino médio, coloca a necessidade de:

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BNCC, 2018, p. 553).

Desta forma, uma escolha possível para evitar o ensino tradicional expositivo, é utilizar situações-problemas baseadas em atividades investigativas na construção de uma UEPS, por exemplo, por meio de experimentos e simulações computacionais, de forma que os alunos tenham um papel ativo na realização dessas atividades. É muito importante que os alunos tenham tarefas a serem realizadas sem que todas as respostas sejam fornecidas, e desta forma, eles poderão se sentir mais estimulados e terão mais entusiasmo durante as aulas (CARVALHO, 1999).

Borges (2002, p. 291) discute o uso dos laboratórios como uma alternativa ...potencialmente mais relevantes e pedagogicamente interessantes que temos estudado, em contraste com os tipos de atividades fortemente estruturadas tradicionalmente utilizadas pelos professores. Borges ainda defende que o aluno deve sair da passividade e se colocar ativamente como parte integrante do processo de ensino-aprendizagem, o que converge com as ideias de Ausubel (2003). Para Borges, o laboratório deve ser integrado ao processo onde o aluno é apresentado a uma situação-problema e o mesmo deve se comprometer na busca de soluções ou respostas bem articuladas.

Mais especificamente, em relação às atividades computacionais, Borges (2002) afirma que há indícios de que elas ajudam os alunos na construção de conceitos físicos, pois o ambiente computacional possibilita realizar investigações, testar previsões, coletar dados e

formular hipóteses.

Pelo fato de serem interativos e por ligarem experiências concretas de coleta de dados com a sua representação simbólica em tempo real, os laboratórios baseados em computadores deixam mais tempo para os estudantes se dedicarem a atividades mais centrais para o pensamento crítico, para a solução de problemas e o monitoramento de suas ações e pensamento, para modelar soluções e testá-las, em lugar de apenas responderem às questões levantadas pelo professor (BORGES, 2002, p. 310).

Apesar das simulações computacionais não trabalharem com dados reais, acreditamos que a riqueza dos simuladores PhET permite que eles sejam considerados experimentos virtuais, com os quais os alunos possam realizar experimentos, observar e coletar dados e, a partir dos quais, possam chegar a conclusões. Diante disso, espera-se que seja possível promover aulas mais integradoras e significativas utilizando-se atividades de simulação computacional e experimentais, onde os alunos façam as atividades de forma ativa. Assim, uma UEPS composta por experimentos e simulações computacionais investigativas pode permitir que o aluno saia da condição de receptor passivo de informações e passe a ser agente integrante do processo.

O objetivo deste artigo é relatar o desenvolvimento, a implementação e a avaliação de uma UEPS para o estudo do movimento de objetos no campo gravitacional da Terra, no vácuo e na atmosfera, de objetos sem e com propulsão. A intervenção foi aplicada em 2018 numa turma de dependência de primeiro ano do Ensino Médio Integrado do XX, composta por 32 alunos de vários cursos técnicos. A partir dessa pesquisa foi possível apresentar um relato de experiência dos encontros e procurar indícios de aprendizagem significativa.

Esta UEPS consistiu-se no produto educacional da dissertação de mestrado profissional em ensino de Física de XX. Em sua construção foram utilizadas atividades diferenciadas de ensino, compostas por vídeos, palestras, atividades investigativas através de simulações computacionais PhET e experimentos, envolvendo movimento uniformemente acelerado bidimensional, movimento de projéteis no vácuo e na atmosfera na presença de um campo gravitacional uniforme, sistemas com massa variável e sua aplicação ao movimento de um foguete com e sem a resistência do ar. Na parte experimental, foram realizadas oficinas de construção e lançamento de foguetes de garrafa PET com propulsão de água e ar comprimido.

Este artigo possui a seguinte estrutura. Na seção 2, é revisado o referencial teórico-metodológico sobre a UEPS e as atividades investigativas. Na seção 3, é apresentada a organização da UEPS e o relato dos encontros. Na seção 4 são apresentados os resultados dos questionários prévio, final e de opinião. Na seção 5 são feitas as conclusões finais. No final do artigo ainda temos 3 apêndices apresentando o questionário inicial e final aplicado, uma revisão sobre os modelos matemáticos de lançamento de projéteis no vácuo e com resistência do ar e também uma pequena revisão sobre o movimento de foguetes.

## II. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

A proposta da UEPS é baseada na Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel (1973), na qual um dos fatores mais importantes a serem levados em conta no processo de ensino-aprendizagem é o conhecimento prévio do aluno. Desta forma, ao se propor a ensinar um conteúdo, o professor deve estar sempre atento às ideias âncoras mais importantes e relevantes que os alunos possuem sobre o assunto, denominadas de subsunçores, pois de acordo com Ausubel (2003), a nova informação necessita desse processo de ancoragem para que a aprendizagem significativa seja possível.

O conhecimento é significativo por definição. É o produto significativo de um processo psicológico cognitivo (saber) que envolve a interação entre ideias logicamente (culturalmente) significativas, ideias anteriores (ancoradas) relevantes da estrutura cognitiva particular do aprendiz (ou estrutura dos conhecimentos deste) e o mecanismo mental do mesmo para aprender de forma significativa ou para adquirir e reter conhecimentos (AUSUBEL, 2003, folha de rosto).

Assim, uma das primeiras ações na construção de uma UEPS é diagnosticar esses conhecimentos prévios, o que pode ser feito através de um questionário.

Dentro do escopo da Teoria de Aprendizagem Significativa, a UEPS proposta por Moreira (2011), se constitui numa metodologia de ensino que tem por objetivo fazer com que o processo de ensino-aprendizagem faça sentido para os estudantes. Para que eles aprendam de forma significativa, cada etapa da UEPS deve ser pensada e construída, gradativamente, permitindo que os alunos utilizem seus conhecimentos prévios na solução de situações problemas que lhe são apresentados, de forma que os novos conceitos sejam integrados à sua estrutura cognitiva. No desenvolvimento das atividades, é necessário o cuidado para evitar tarefas demasiadamente difíceis ou simples demais, de forma a não desmotivar os alunos. Em relação à predisposição do aluno,

não se trata exatamente de motivação, ou de gostar da matéria. Por alguma razão, o sujeito que aprende deve se predispor a relacionar (diferenciando e integrando) interativamente os novos conhecimentos a sua estrutura cognitiva prévia, modificando-a, enriquecendo-a, elaborando-a e dando significados a esses conhecimentos (MOREIRA, 2011, p. 25).

Além da Teoria de Aprendizagem Significativa, na formulação da UEPS utiliza-se a ideia de Campo Conceitual de Vergnaud (1990), que segundo Moreira (2002, p. 320), é um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e provavelmente, entrelaçados durante o processo de aprendizagem. Dessa forma as situações-problema propostas podem envolver uma diversidade de instrumentos tais como: simulações computacionais, experimentos, vídeos, problemas do cotidiano, reportagens de jornais, etc... Diante das situações problemas

os alunos são estimulados a formular modelos mentais sobre o assunto, se tornando mais ativos.

De acordo com Moreira (2016, p.3), uma UEPS é construída a partir dos passos:

- (1) Definir o tópico específico.
- (2) Criar/propor situações que levem o aluno a externalizar seu conhecimento prévio.
- (3) Propor situações-problema iniciais.
- (4) Apresentar progressivamente, o conhecimento a ser ensinado/aprendido.
- (5) Em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes do conteúdo da unidade de ensino.
- (6) Concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo.
- (7) A avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação.
- (8) A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa.

A utilização de simulações computacionais como sendo experimentos virtuais pode colocar o aluno como agente ativo do processo de ensino-aprendizagem, proporcionando-lhe oportunidade de debates, questionamentos, diálogos, enquanto realiza as simulações, o retirando da posição passiva. Carvalho (1999, p. 48) descreve a importância do professor em uma atividade na qual o aluno atua na construção do conhecimento:

É o professor que propõe problemas a serem resolvidos, que irão gerar ideias que, sendo discutidas, permitirão a ampliação dos conhecimentos prévios; promove oportunidades para a reflexão, indo além das atividades puramente práticas; estabelece métodos de trabalho colaborativo e um ambiente na sala de aula em que todas as ideias são respeitadas.

A contextualização, seja através de situações do cotidiano, experimentos ou simulações computacionais é importante para reduzir o grau de abstração e de matematização excessiva do processo de ensino e criar materiais potencialmente significativos. Dentro da linguagem da Teoria de Aprendizagem Significativa, situações problema são planejadas partindo-se de situações mais gerais e simples, seguidas de atividades mais complexas e específicas, de forma gradativa, sendo esse processo denominado de diferenciação progressiva. É importante que essas atividades sejam colaborativas, realizadas em pequenos grupos, e que representem pequenos desafios e gerem algum conflito de opiniões entre os alunos.

Caso os alunos não tenham conhecimentos prévios suficientes sobre o assunto é necessário utilizar o chamado organizador prévio, que tem por finalidade fornecer ao aluno algum conhecimento sobre o que vai ser estudado, que podem ser vídeos, palestras, leituras de textos. Segundo Moreira (2011, p. 30):

Organizador prévio é um recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material

de aprendizagem. ... As possibilidades são muitas, mas a condição é que preceda a apresentação do material de aprendizagem e que seja mais abrangente, mais geral e inclusivo do que este.

Paralelamente às diferenciações progressivas devem ser realizadas também as reconciliações integrativas, onde o professor desenvolve atividades como a socialização dos resultados, com discussões e debates para tirar eventuais dúvidas ou corrigir entendimentos incorretos que porventura ocorram.

O processo de avaliação da aplicação da UEPS precisa ser feito no transcorrer das atividades, para que qualquer indício de aprendizagem significativa possa ser percebido. Neste artigo não será mostrado todo o processo de construção da UEPS, sendo possível encontrar todos os detalhes em XX.

### III. ORGANIZAÇÃO DA UEPS E RELATO DOS ENCONTROS

Pelo fato de a turma ser de dependência os alunos já tinham tido contato com o conteúdo e assim optamos por não repeti-lo novamente. Isso facilitou iniciar a aplicação diretamente já no segundo encontro usando os simuladores computacionais, já que eles tinham familiaridade com os conteúdos de cinemática. Na tabela 1, temos a síntese da UEPS com as atividades desenvolvidas nos 9 encontros de 100 minutos cada.

Encontros	Atividades e objetivos
Encontro 1 04/04/2018	1a Atividade: Informações iniciais sobre o projeto e aplicação do questionário de conhecimentos prévios (ver Apêndice A).
	2a Atividade: Organizador prévio através da palestra História e evolução dos foguetes e a Exploração do Espaço .
Encontro 2 11/04/2018	1a Atividade: Situação problema através de uma simulação computacional PhET de lançamentos oblíquos sem resistência do ar
	2a Atividade: Socialização dos resultados da 1a atividade do encontro 2.
Encontro 3 18/04/2018	1a Atividade: Situação problema através de uma simulação computacional PhET de lançamentos oblíquos com resistência do ar.
	2a Atividade: Socialização dos resultados da 1ª atividade do encontro 3.
Encontro 4 25/04/2018	Atividade: Situação problema através de uma simulação computacional PhET do módulo lunar.
Encontro 5 07/05/2018	1a Atividade: Socialização dos resultados da atividade do Encontro 4.
	2a Atividade: Oficina de construção dos foguetes de garrafa PET .
Encontro 6 14/05/2018	Resolução de exercícios de lançamentos de projéteis em virtude de fortes chuvas que inviabilizaram os lançamentos dos Foguetes.
Encontro 7 23/05/2018	Atividade: Lançamento de foguetes do Grupo 1 com filmagem, coleta de dados e orientações para preenchimento dos relatórios .
Encontro 8 28/05/2018	Atividade: Lançamento de foguetes do Grupo 2 com filmagem, coleta de dados e orientações para preenchimento dos relatórios.
Encontro 9 04/06/2018	Atividade: Aplicação da avaliação final e questionário de opinião.

**Tabela 1:** resumo dos encontros da UEPS. Fonte: os autores.

A seguir, é apresentado o relato da aplicação dos encontros.

### III.1. Relato do Encontro 1

Na 1a atividade foi aplicado o questionário de conhecimentos prévios (Apêndice A), composto por 15 questões abertas, 5 questões objetivas e 5 questões do tipo Likert. O objetivo foi abranger diversos conteúdos utilizando instrumentos variados. As questões objetivas foram adaptadas dos testes de Silveira et al (1992) e tratavam da representação gráfica dos vetores velocidade, força e aceleração em três pontos distintos de um lançamento oblíquo. Um total de 20 alunos dos 32 responderam este questionário.

Na 2a atividade julgamos necessário aplicar um organizador prévio sobre foguetes, pelo fato de não ser um assunto presente nas aulas, sendo isso feito na forma de palestra. Nessa atividade tivemos a pergunta do aluno A6, se um homem retornar a lua hoje, ele verá o que foi deixado nas missões Apolo?, o que demonstra o potencial do assunto em despertar o interesse dos alunos.

### III.2. Relato do Encontro 2

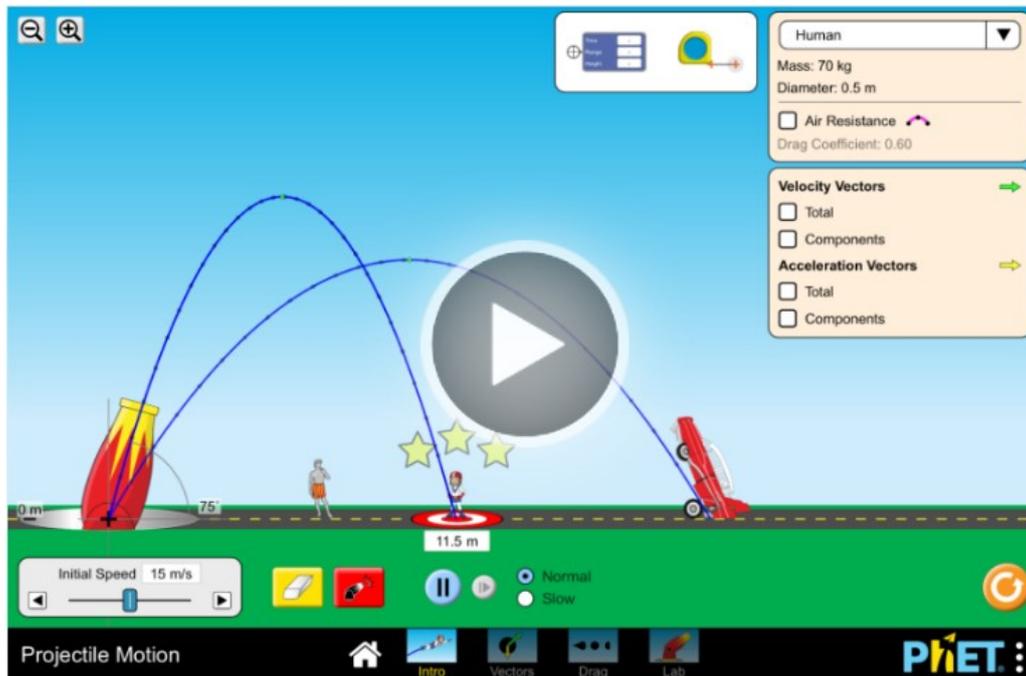
A 1a atividade ocorreu no laboratório de informática com a presença de 25 dos 32 alunos conforme mostrado na Figura 1. Eles se agruparam em duplas ou trios para realizarem as simulações propostas. Como era a primeira vez que usavam este simulador, foi necessária uma apresentação inicial sobre seu funcionamento.



**Figura 1:** laboratório com uso do simulador Phet no encontro 2. Fonte: os autores.

Na Figura 2 é mostrada a tela do simulador de lançamento de projéteis do PhET. As atividades envolviam a variação de algumas variáveis, tais como a velocidade de lançamento, o ângulo de lançamento, o diâmetro e a massa do projétil e a observação dos efeitos.

O objetivo foi investigar a influência de cada variável quando a resistência do ar é desprezada e através dessa diferenciação progressiva compreender os fenômenos. A 2a atividade consistiu numa reconciliação integradora onde os grupos foram estimulados a exporem as respostas da 1a atividade deste encontro e através de um debate os fenômenos foram discutidos.



**Figura 2:** simulador PhET de lançamento de projéteis onde é possível variar o ângulo de lançamento do canhão, a velocidade inicial, a massa e o diâmetro do projétil, a posição do alvo, colocar ou não a resistência do ar e mostrar os vetores velocidade e aceleração. Fonte: os autores.

Uma breve revisão dos modelos matemáticos do movimento de lançamento de projéteis no vácuo e uma comparação com os resultados do simulador PhET é apresentada no Apêndice B. Para isso usamos Freire et al (2016) e Melo et al (2020).

### III.3. Relato do Encontro 3

Na 1ª atividade, também no laboratório de informática, com a presença de 30 dos 32 alunos, em duplas ou trios, foram realizadas as simulações no mesmo simulador da Figura 2, levando agora em consideração a resistência do ar. Enfatizamos que este estudo geralmente não é abordado nos livros didáticos, mas ressaltamos a importância de se considerar situações que se aproximem do mundo real.

O nosso objetivo foi apresentar uma situação problema não muito estudada pelos alunos para ser investigada no que diz respeito às influências das variáveis na presença da resistência do ar. Por exemplo, foi colocada a questão se o tempo de subida e de descida são iguais e também solicitamos a visualização dos vetores velocidade e força.

Na 2ª atividade foi realizada a reconciliação integradora envolvendo a influência da resistência do ar no movimento de projéteis e surgiram discussões, como por exemplo, Qual a diferença em colocar a mão aberta para fora de um carro em movimento, de forma perpendicular ou de forma alinhada com o movimento do carro. Sobre como minimizar a resistência do ar, os alunos concluíram que: um corpo pode possuir uma grande massa, desde que consiga ser impulsionada, mas deve ter um pequeno volume, e conseqüentemente, ser mais denso.

Uma breve revisão dos modelos matemáticos do movimento de lançamento de projéteis

na presença da resistência do ar e uma comparação com os resultados do simulador PhET é apresentada também no Apêndice 2. Para isso, novamente usamos Freire et al (2016) e Melo et al (2020).

### III.4. Relato do Encontro 4

Este encontro ocorreu novamente no laboratório de informática com a presença de todos os 32 alunos, em duplas ou trios, fazendo a simulação computacional PhET do módulo de pouso lunar mostrada na Figura 3.



**Figura 3:** simulador PhET de Módulo de Pouso Lunar onde é possível variar a propulsão e controlar seu pouso, bem como os movimentos verticais e horizontais. No simulador ainda tem as opções de mostrar os vetores velocidade em verde e aceleração em amarelo. Fonte: os autores.

Visto que este simulador se assemelha a um jogo, propomos os seguintes desafios:

**Desafio 1:** Sem o uso das setas para direita e para esquerda, ou seja, apenas se movimentando para cima e para baixo, realize dois pousos na vertical sem que ocorram danos na nave.

**Desafio 2:** Realize com o módulo lunar uma viagem com alcance de no mínimo 1000m e finalize com um pouso suave sem que ocorram danos na nave.

Em seguida, solicitamos que os alunos identificassem os vetores velocidade e aceleração que apareciam na simulação e investigassem os movimentos acelerados e retardados, além da diferença entre os movimentos de uma bala de canhão e o lançamento de um foguete. Comparando-se as presenças nesses primeiros 4 encontros, que foram de 20, 25, 30 e 32, respectivamente, percebemos um aumento gradativo, o que pode indicar que as atividades foram atrativas para os alunos.

Uma breve revisão dos modelos matemáticos do movimento de um foguete lançado na presença ou não da resistência do ar é apresentada no Apêndice C. Para isso usamos Alves et al (2021).

### III.5. Relato do Encontro 5

A 1ª atividade ocorreu com a presença de 30 alunos e foi realizado um debate sobre as respostas da atividade de simulação do encontro 4, fazendo deste modo uma reconciliação integradora. Ao serem indagados sobre foguetes bélicos e seu formato, os alunos

responderam acerca do seu formato como sendo: pontudos, cônicos e formato de foguete tradicional.

Neste encontro enfatizamos as diferenças entre o movimento de um foguete, que possui propulsão própria, e o movimento de um projétil que possui somente o impulso inicial. Assim, em um movimento vertical para cima, contra o campo gravitacional, o foguete pode partir do repouso e acelerar, enquanto o projétil precisa ser lançado com uma velocidade inicial não nula. Desta forma, o foguete se comporta como um projétil somente quando sua propulsão é finalizada.

Na 2ª atividade, realizada no laboratório experimental, foi feita a montagem individual dos foguetes de garrafa PET, utilizando materiais reciclados e acessórios conforme mostrado na Figura 4.



**Figura 4:** oficina de construção e montagem dos foguetes de garrafas PET. Fonte: os autores.

Foi sugerido que os alunos produzissem pequenas mudanças que julgassem relevantes na aerodinâmica, nos contrapesos e no formato, de forma a testar essas alterações. O objetivo foi estimular os alunos a tentar relacionar os estudos anteriores com essa atividade experimental, principalmente em relação à resistência do ar.

Para lançamentos de foguetes de garrafa PET, com água e ar comprimido, Souza (2007) estimou o tempo de ejeção da água em 0,8s, a partir do qual o foguete se comportaria como um projétil sem propulsão. Isso é mostrado no Apêndice C, pois quando a taxa de variação da massa se anula ( $dm/dt = 0$ ) e o combustível do foguete acaba, a equação (14) se reduz ao caso do lançamento de projéteis com resistência do ar, já abordado na equação (18) do Apêndice B.

Desta forma, acreditamos que o lançamento de foguetes de garrafa PET com água e ar comprimido, a menos dos segundos iniciais de propulsão, seja uma boa aproximação para o estudo experimental de lançamentos de projéteis com resistência do ar. Caso a aerodinâmica do foguete seja mais adequada os efeitos da força de arrasto diminuirão e seu movimento se

aproximará mais do lançamento de projéteis no vácuo. Assim, os foguetes de garrafa PET, com água e ar comprimido, podem se constituir numa situação problema onde é possível se discutir bem essas questões.

### III.6. Relato dos Encontros 6, 7 e 8

No encontro 6 estava previsto serem realizados os lançamentos dos foguetes, mas devido a intensas chuvas ele foi modificado para uma aula dialogada. Para os lançamentos dos foguetes, a turma foi dividida em dois grandes grupos, que realizaram os lançamentos em 2 dias diferentes nos encontros 7 e 8. Na Figura 5 um desses lançamentos é mostrado. Em grupos, os alunos realizaram os procedimentos para os lançamentos, tais como: medição da quantidade de água a ser colocada no foguete, posicionamento das trenas e cones de marcação para facilitar a medição, preparação para filmagem dos lançamentos e a realização do lançamento.



**Figura 5:** lançamento dos foguetes no espaço da escola. Fonte: os autores

O objetivo foi verificar, de forma experimental, os conceitos relacionados à cinemática, incentivar a colaboração, a sistematização, a criatividade e explorações científicas em grupo. Os grupos realizaram diversas vezes seus lançamentos, alterando o ângulo de lançamento e/ou a quantidade de água, objetivando voos mais altos e de maior alcance. A seguir, são apresentados algumas respostas e comentários dos alunos presentes nos relatórios dos lançamentos:

**Questão 1:** Explique como foi a construção do foguete e justifique porque usou os materiais e explique o formato do foguete adotado.

Alunos A12 e A14: *Acreditamos que a matéria prima foi escolhida por ser leve, precisando de menos propulsão. O formato escolhido assim foi por ser aerodinâmico.*

Alunos A11 e A19: *Utilizar uma garrafa cilíndrica, pelo fato de possuir simetria radial, e colar as aletas (asas) de maneira simétrica. Estes fatores nos proporcionam uma distribuição de massa razoavelmente homogênea em relação ao plano que passa pelo centro do foguete na vertical.*

**Questão 2:** Por que colocou a bexiga com água na ponta? Aluno A4: Para dar um centro de gravidade.

Alunos A10, A15 e A20: *Para dar peso e estabilidade ao foguete.*

Alunos A11 e A19: *Porque ali é o ponto de equilíbrio, centro de massa e o centro de pressão. Está relacionado com a massa de cada parte que compõe.*

**Questão 3:** Quantas aletas usou na construção e qual sua função?

Aluno A16: *4, de ângulo de 90°, para dar estabilidade durante o voo fora feita de plástico formato metade de um trapézio.*

Alunos A12 e A14: *3 aletas. Elas servem para estabilizar o foguete.*

**Questão 4:** Qual o volume de água que usou no lançamento? O que ocorreria se usasse mais que esta quantidade? O que ocorreria se usasse menos que esta quantidade?

Aluno A4: *600ml, se tivesse mais água teria menos espaço para o ar e teria menos pressão.*

Alunos A10, A15 e A20: *580g de água. Acredito que se tivesse colocado mais, dificultaria o voo do foguete por conta do peso.*

Aluno A17: *No 1o foguete foram utilizados 637g de água e no 2º 658g de água. Como o aumento da quantidade de água ocorre também o aumento da altura e da distância.*

**Questão 5:** Descreva o lançamento dos componentes do grupo.

Alunos A10, A15 e A20: *O da aluna A15 não foi muito longe porque estava com a asa torta, o foguete voou torto e baixo e não atingiu um grande alcance. O da A20 foi melhor que o da A15 e teve um alcance maior. Já o meu foi ótimo, voou bem alto e atingiu um grande alcance.*

Alunos A11 e A19: *Ambos os lançamentos foram bem semelhantes, com alturas e alcances aparentemente próximas. No lançamento, o foguete é preso de boca para baixo na base em um determinado ângulo enquanto é bombeado ar, por meio de uma bomba de ar e então pelos canos, até o corpo do foguete. Onde ele foi lançado após a retirada das travas.*

**Questão 6:** Quais foram os alcances de cada integrante? Explique porque houve sucesso em alguns e outros não.

Aluno A13: *fiz dois lançamentos que alcançaram 83m e 90m. Alunos A11 e A19: 98,8m e 105m. No caso em que o foguete obteve maior alcance foi devido as suas proporções, volume de água e simetria.*

Alunos A12 e A14: *Todos os lançamentos do grupo tiveram sucesso. O primeiro foguete alcançou 50m, já o segundo foguete (A12) teve 3 decímetros a mais no alcance.*

**Questão 7:** Explique quais seriam os procedimentos para melhorar o desempenho do lançamento.

Alunos A10, A15 e A20: *Colocar o foguete de uma forma melhor no lançador e colocar uma quantidade de água ideal de água além de ter muita cautela na confecção do foguete. O ângulo que o foguete foi lançado, a pressão que foi colocada na hora do lançamento, em alguns casos talvez seja melhor até refazer o foguete.*

Alunos A11 e A19: *preencha com um pouco de água (nem muita nem pouca, um tanto otimizado).*

Aluno A13: *formar uma angulação próxima ou igual a 45° com o chão.*

Aluno A4: *uma maior pressão.*

Percebemos tentativas dos alunos de responder às perguntas propostas a partir das observações e testes feitos na construção e nos diversos lançamentos realizados. Diversos conceitos foram utilizados nas explicações, tais como: Controle da propulsão, formato aerodinâmico, simetria radial, distribuição de massa, centro de gravidade e estabilidade,

ponto de equilíbrio, centro de massa e o centro de pressão, o que pode indicar uma tentativa dos alunos de se apropriar do conhecimento para explicar o que observaram.

### III.7. Relato do Encontro 9

Este encontro foi destinado à aplicação da avaliação final e o questionário de opinião respondidos pelos 32 alunos da turma. Na avaliação final aplicamos o mesmo questionário aplicado inicialmente, que além de ser usado para detectar os conhecimentos prévios agora foi usado para fazer uma avaliação final do aprendizado dos alunos.

## IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### IV.1. Análise comparativa entre os questionários inicial e final

Embora uma avaliação não deva se basear somente na comparação da avaliação inicial e final, optamos por fazê-la como um instrumento complementar procurando indícios de algum aprendizado. Para isso, foi aplicado o mesmo questionário antes e depois da intervenção, composto das questões apresentadas no Apêndice A. Na análise consideramos as respostas finais dos mesmos 20 alunos que fizeram a avaliação inicial, apesar de 32 alunos terem feito a avaliação final. Para as 15 questões abertas os resultados obtidos se encontram na Tabela 2, onde mostramos as respostas corretas e parcialmente corretas na avaliação inicial e final.

Questões abertas	Respostas corretas e parcialmente corretas na avaliação inicial	Respostas corretas e parcialmente corretas na avaliação final
1	11	14
2	11	12
3	9	9
4	9	12
5	8	10
6	5	6
7.1	13	16
7.2	13	15
7.3	13	15
9.1	11	12
9.2	9	12
10	4	9
11	3	6
12	3	5
13	3	5
<b>Média</b>	<b>8,3</b>	<b>10,5</b>

**Tabela 2:** classificação das respostas corretas e parcialmente corretas nas avaliações inicial e final nas questões abertas. Fonte: os autores.

A opção por juntar as respostas corretas e parcialmente corretas foi para valorizar, ao máximo, tudo que os alunos conseguiram fazer e que tenha algum sentido, uma vez que o conteúdo foi trabalhado de forma investigativa, com o professor como mediador e os alunos

como protagonistas. Dessa forma, mesmo que a resposta não esteja totalmente correta ela deve ser valorizada, pelo fato de ter sido encontrada pelo aluno de forma autônoma e investigativa.

Para as perguntas abertas notamos uma pequena evolução na quantidade média de questões corretas ou parcialmente corretas de 8,3 (41,4%) no questionário prévio para 10,5 (52,5%) na avaliação final. O fato de a turma ser de dependência e já ter tido contato com o conteúdo pode explicar o resultado inicial acima de 40%. Contudo, o aumento no número de acertos na avaliação final foi baixo, não sendo, portanto, significativo, principalmente nas questões 2, 3, 5, 6, 7.2, 7.3, 9.1, 12 e 13, com aumentos de acertos inferiores a 3 alunos.

Uma possível explicação para o pequeno aumento no número de acertos na avaliação final é que o questionário foi abrangente demais, com perguntas mais genéricas, muito diferentes das perguntas analisadas pelos alunos nas investigações durante as simulações computacionais e as atividades com os foguetes. Avaliamos que, em futuras intervenções, os questionários avaliativos devem estar mais sintonizados com os conteúdos trabalhados, principalmente em propostas investigativas.

Para as 5 questões objetivas os resultados obtidos se encontram na Tabela 3, onde mostramos as respostas corretas na avaliação inicial e final. Por se tratarem de testes conceituais envolvendo os vetores, a proposta didática não atingiu plenamente os objetivos e somente na questão 8.1, relativo ao vetor velocidade, houve melhora nos resultados. Nas questões 8.2 até 8.5, relativas aos vetores aceleração e força, o número de acertos foi muito baixo, antes e depois da aplicação, com no máximo 4, num total de 20 alunos, respondendo corretamente. Este resultado reforça a percepção de que as questões colocadas no questionário não foram contempladas adequadamente na UEPS, onde o foco maior foi o desenvolvimento de atividades diferenciadas de ensino e não a abordagem de questões teóricas. Justificamos essa opção na UEPS pelo fato de a turma ser de dependência e de já ter tido dificuldades com a abordagem teórica tradicional.

Questões objetivas	Respostas corretas na avaliação inicial	Respostas corretas na avaliação final
8.1	4	13
8.2	2	4
8.3	0	0
8.4	2	1
8.5	3	2
<b>Média</b>	<b>2,2</b>	<b>4</b>

**Tabela 3:** classificação das respostas corretas nas avaliações inicial e final para as questões objetivas. Fonte: os autores.

Por fim, para as questões do tipo Likert haviam as seguintes opções: concorda fortemente, concorda, sem opinião, discorda e discorda fortemente. Para afirmações corretas as pontuações atribuídas foram, respectivamente, 5, 4, 3, 2 e 1, e para afirmações incorretas as pontuações foram invertidas. Os resultados obtidos se encontram na Tabela 4, onde mostramos as pontuações, sendo a pontuação mínima 20 e máxima 100.

Na Tabela 4 percebemos que houveram melhoras nas questões 14 e 15 e avanços muito pequenos nas questões 16, 17 e 18, com um aumento médio na pontuação de 43 para 53,8

Questões Likert	Avaliação inicial	Avaliação final
14	69 pontos	84 pontos
15	39 pontos	66 pontos
16	24 pontos	28 pontos
17	40 pontos	47 pontos
18	43 pontos	44 pontos
<b>Média</b>	<b>43 pontos</b>	<b>53,8 pontos</b>

**Tabela 4:** classificação das pontuações das questões do tipo Likert nas avaliações inicial e final. Fonte: os autores.

pontos num total de 100, o que não pode ser considerado significativo. Assim, os resultados das questões do tipo Likert confirmaram os mesmos resultados das questões abertas do Tabela 2 e das questões objetivas do Tabela 3, de que não houve uma sintonia entre a UEPS e as questões demasiadamente teóricas do questionário.

Apesar do objetivo inicial da UEPS ter sido mais abrangente, com o estudo do movimento de objetos no campo gravitacional da Terra, no vácuo e na atmosfera, de objetos sem e com propulsão, a intervenção apresentada na Tabela 1 teve como foco a realização de atividades investigativas sobre lançamentos de projéteis usando os simuladores computacionais e a oficina de construção e lançamentos de foguetes, em detrimento de aspectos mais teóricos da cinemática e da dinâmica, tais como aqueles abordados nas questões do questionário do Apêndice A.

Deste modo, após essas análises, concluímos que a aplicação do questionário antes e após a aplicação do produto educacional, pode ser considerada apenas um instrumento auxiliar para coleta de dados, uma vez que a comparação deles não forneceu resultados conclusivos. Numa próxima abordagem semelhante que venha ser feita, deve-se ter o cuidado de o questionário ser mais adequado às atividades realizadas.

## IV.2. Análise do questionário de opinião

Esta análise foi feita em detalhes para os 32 alunos que responderam às 8 perguntas, com o objetivo de investigar se os alunos estiveram motivados em participar da UEPS.

Na pergunta 1 Você gostou das aulas de Cinemática utilizando a metodologia da simulação computacional e explicação após ter experimentado situações propostas nos roteiros?, 16 alunos gostaram muito e 16 gostaram. Em relação à pergunta 2, Quais palavras ou expressões melhor representam o seu sentimento pela metodologia da simulação computacional e explicação após ter experimentado situações propostas nos roteiros?, foram assinaladas: diferente (16 alunos), interesse (16 alunos), curiosidade (15 alunos), útil (13 alunos), vontade de saber mais (6 alunos), alegria (4 alunos), sonolência (3 alunos), desinteresse (2 alunos) e aborrecimento (1 aluno). Estes resultados indicam que os alunos ficaram bastante satisfeitos com o uso das simulações computacionais.

No questionamento 3 Você gostou das aulas de montagem e lançamento dos foguetes de garrafa PET?, 20 alunos gostaram muito, 10 gostaram e 2 não gostaram. Com relação à pergunta 4, Quais palavras ou expressões melhor representam o seu sentimento pela metodologia montagem e lançamento dos foguetes de garrafa PET, foram assinaladas:

interesse (21 alunos), diferente (19 alunos), curiosidade (17 alunos), alegria (15 alunos), útil (9 alunos), vontade de saber mais (7 alunos), aborrecimento (2 alunos), complicada (2) e não respondeu (1). Estes resultados indicam que os alunos gostaram bastante de realizar a oficina de construção e lançamentos de foguetes.

Para a pergunta 5 De uma forma geral, você gostou das aulas de cinemática utilizando a metodologia apresentada?, 5 alunos gostaram muito, 24 gostaram, 2 não gostaram e 1 não respondeu. Em relação à pergunta 6, Quais as palavras ou expressões melhor representam o seu sentimento pela metodologia adotada nas aulas e atividades desenvolvidas., foram assinaladas: interesse (13 alunos), diferente (12 alunos), útil (11 alunos), vontade de saber mais (9 alunos), curiosidade (8 alunos), sonolência (8 alunos), alegria (5 alunos), desinteresse (1 aluno) e complicada (1 aluno). Estes resultados indicam que a proposta didática como um todo foi aprovada pelos alunos.

Para a pergunta 7, Nas aulas dessas atividades, se gostou, descreva abaixo o que mais gostou e porquê?, fizemos uma análise das respostas de acordo com as categorias:

- (A) Uma alternativa mais interessante às aulas teóricas e de exercícios;
- (B) Importância da ilustração e visualização;
- (C) Importância e aprovação entre os alunos de atividades práticas nas aulas;
- (D) Importância de atividades contextualizadas;
- (E) Uso de simuladores computacionais.

Todas as respostas da pergunta 7 e as categorizações são mostradas na Tabela 5.

Das 35 categorizações feitas na Tabela 5, 13 (37%) foram (C) ou A importância e aprovação entre os alunos de atividades práticas nas aulas, 10 (29%) foram (A) ou Uma alternativa mais interessante às aulas teórica e de exercícios, 8 (23%) foram (E) ou O uso de simuladores computacionais, 2 (5,5%) foram (B) ou A importância da ilustração e visualização e 2 (5,5%) foram (D) ou A importância de atividades contextualizadas. Este resultado reflete o desejo dos alunos por mudanças em relação às aulas tradicionais narrativas, teóricas e centralizadas na resolução de exercícios. É possível perceber que os alunos preferem aulas práticas ou baseadas em atividades de simulação computacional como boas alternativas para substituir as aulas tradicionais, o que pode explicar a motivação observada na participação na UEPS.

Numa análise mais detalhada dessas respostas, notamos que a palavra diferente apareceu em 7 das 30 respostas dadas, realçando a necessidade dos alunos de terem aulas diversificadas que mudem sua rotina, mesmo que isso cause algum desconforto como o nervosismo alegado pelo aluno 6. Outras palavras que apareceram nas respostas foram Interessante e divertido com 3 e 2 aparições respectivamente.

Aluno	Resposta	Ti- pos
1	Gostei da proposta de simulações e de como corrigia os roteiros porque assim tinha como ter noção dos assuntos e fugir daquela coisa teórica e de ficar em sala resolvendo exercícios.	E
2	A metodologia, o modo de aprendizado através da realização das simulações, pois na forma ilustrativa a compreensão torna-se mais fácil.	B
3	A utilização do simulador, que permite ver acontecer a cinemática de forma interativa, e a ideia do lançamento dos foguetes que permite a compreensão do lançamento oblíquo na prática.	B, C, E
4	O que eu mais gostei foi do lançamento de foguetes, foi muito interessante e diferente do que nós costumamos fazer quando se aborda o conteúdo.	C
5	As simulações, pois, me deram uma ideia de como seria na vida real	D
6	Gostei dos lançamentos de foguetes e das aulas de laboratório com o simulador. Mesmo que fosse complicado e até mesmo gerava um nervosismo, ainda assim era interessante e divertido	C, E
7	Gostei das simulações de lançamento.	E
8	Gostei porque trouxe uma experiência do conteúdo.	D
9	Gostei mais do lançamento do foguete de garrafa PET, porque foi mais divertido.	C
10	A metodologia proposta, utilizando os computadores e oficinas de montagem como recursos de ensino, possibilitando uma aula mais dinâmica e interessante.	C, E
11	Gostei dos recursos novos que foram apresentados, as simulações no computador, o lançamento do foguete, são coisas diferentes que despertam a curiosidade.	C, E
12	Gostei do lançamento do foguete, pois foi uma aula diferente.	A
13	Lançamento dos foguetes de garrafa PET, pois os alunos estavam envolvidos em todos as partes do processo.	C
14	O que eu mais gostei foi a aula prática de lançamento de foguetes. Por ser uma aula diferenciada.	C
15	Lançamento de foguetes, pois nunca tinha feito este experimento.	C
16	Gostei do método oferecido pelo professor, e da forma que foi organizada as aulas.	A
17	O que mais gostei nas aulas foi o fato de que vários tópicos do conteúdo foram abordados de maneira diferente e não ficamos somente em sala de aula comum.	A
18	Gostei bastante das aulas de simulação na informática pois eram bastante dinâmicas.	E
19	Das aulas práticas pois são atividades mais diversificadas e menos monótonas.	C
20	O uso de simuladores para explicar a matéria, sem dúvida é o melhor ponto das aulas.	E
21	Gostei da metodologia adotada pelo Professor Raphael para dar as aulas sobre cinemática.	A
22	Gostei da dinâmica usada nas aulas.	A
23	Foram aulas diferentes fora da sala de aula.	A
24	Aulas com uma metodologia diferente. Sem ser muito teórico;	A
25	Gostei do diferencial de usar simuladores para a realização das atividades.	A
26	A montagem e lançamento do foguete, pois em aulas práticas eu consigo me prender mais ao conteúdo.	C
27	O que eu mais gostei foi o lançamento dos foguetes, já que foi uma atividade completamente diferente daquilo que estava acostumado.	A
28	Gostei por sair da "mesmice" de aula no quadro com o professor falando e o aluno escutando e o fato de que a maioria dos trabalhos serem em dupla ou em grupo.	A
29	A montagem e o lançamento.	C
30	Lançamento de garrafa PET. Porque achei interativo e legal colocar em prática o que vimos.	C
31, 32	Não responderam	-

**Tabela 5:** respostas de todos os alunos e categorização a respeito da pergunta, Nas aulas dessas atividades, se gostou, descreva abaixo o que mais gostou e porquê? Fonte: os autores.

Em relação à pergunta 8, Nas aulas dessas atividades, se não gostou, descreva abaixo o que menos gostou e porquê?, analisamos as respostas de acordo com as categorias:

- (F) Não citou nada que não gostou;
- (G) Necessidade de correção de exercícios;
- (H) Não achou as atividades importantes;
- (I) Não gostou das simulações computacionais;
- (J) Não gostou das discussões em sala;
- (K) Teve dificuldade com a metodologia mais ativa.

Todas as respostas da pergunta 8 e as categorizações são mostradas na Tabela 6.

Aluno	Resposta	Tipos
1	Não respondeu	F
2	Sendo que as listas de exercícios poderiam todas serem corrigidas	G
3, 4, 5, 6, 7	Não responderam	F
8	Não gostei porque gastamos muito tempo à toa, fazendo coisas desnecessárias.	H
9	Gostei pouco das aulas de simulação por serem pouco atrativas.	I
10	A explicação em sala, já que é muito cansativa e desinteressante.	J
11	Não gostava de responder os questionários antes da matéria ser explicada, não era acostumada com isso.	K
12	Não gostei da explicação, pois foi meio complicada de entender.	K
13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25	Não responderam	F
26	Eu realmente gostei de tudo.	F
27, 28, 29	Não responderam	F
30	As aulas de explicação no quadro, pois é muito robótica.	J
31	Muitas das atividades não foram corrigidas, restando muitas dúvidas da matéria	G
32	Da falta de material teórico para trabalhar. Deveria ter mais aulas expositivas para equilibrar com aulas práticas e as experiências feitas. Desse modo acredito que o conhecimento adquirido nas aulas práticas fossem melhor aproveitados para um campo mais teórico da matéria.	K

**Tabela 6:** respostas de todos os alunos e sua categorização a respeito da pergunta 8, Nas aulas dessas atividades, se não gostou, descreva abaixo o que menos gostou e porquê? Fonte: os autores.

Das 32 categorizações feitas na Tabela 6, 23 (72%) foram (F) ou Não citou nada que não gostou indicando que ficaram satisfeitos com as atividades, 3 (9,4%) foram (K) ou Teve dificuldade com a metodologia mais ativa, 2 (6,2%) foram (G) ou Necessidade de correção de exercícios, 2 (6,2%) foram (J) ou Não gostou das discussões em sala, 1 (3,1%)

foram (H) ou Não achou as atividades importantes e 1 (3,1%) foram (I) ou Não gostou das simulações computacionais. Este resultado reflete que a maioria dos alunos não tiveram dificuldades com as atividades, contudo um número considerável, 9 (28%) apresentaram dificuldades naturais de alunos não habituados com aulas menos centradas no professor e menos conteudistas.

As principais dificuldades relatadas são dificuldades de investigar situações por conta própria, não entendimento da metodologia, necessidade de resolução de exercícios, etc... Acreditamos que essa pequena rejeição e dificuldades são normais e podem ser contornadas quando os alunos tiverem mais aulas não tradicionais do tipo usado nessa UEPS. O aluno 32 deu uma resposta interessante de que as aulas expositivas não devem ser completamente substituídas por aulas investigativas, mas as duas metodologias na verdade podem se completar, indicando uma grande maturidade.

## V. CONCLUSÕES

Nesse trabalho, foi possível construir uma UEPS para o ensino de cinemática, baseada em simulações computacionais PhET e numa oficina de construção e lançamentos de foguetes de garrafas PET.

Os relatos dos encontros mostraram um bom empenho e engajamento por parte dos alunos na realização das atividades e isso foi importante na motivação de uma turma de dependência que estava repetindo a disciplina. Foi possível perceber que o uso de situações-problema, baseadas em simulações para os alunos trabalharem seus conhecimentos de forma ativa, facilitou a implementação das competências investigativas e que usam TDICs da BNCC (2018), por exemplo a competência 3.

A comparação dos questionários inicial e final não revelou indícios de aprendizado significativo, porém os relatos dos encontros mostraram um grau de engajamento na realização das atividades. Contudo, constatamos uma falta de sintonia entre o questionário inicial e final aplicados e as atividades da UEPS, o que deve ser corrigido em futuras intervenções semelhantes a esta.

Uma análise detalhada dos questionários de opinião mostrou uma boa aceitação da UEPS por parte dos alunos. Assim, os resultados mostram que a UEPS teve um bom potencial em dar mais significado para os alunos do que está sendo estudado, concordando com Moreira (2011).

A partir do questionário de opinião percebemos que 89% dos alunos aprovaram a realização de aulas diferenciadas de ensino, como por exemplo atividades práticas nas aulas e o uso de simuladores computacionais. Em relação às aulas de montagem e lançamento dos foguetes de garrafa PET a maioria dos alunos gostou (20 de 32) e as 4 palavras mais citadas foram interesse, diferente, curiosidade e alegria. Já nas aulas de simulação computacional 16 alunos gostaram muito e 16 gostaram e as 4 palavras mais citadas foram diferente, interesse, curiosidade e útil. Estes resultados refletem o efeito positivo dessas atividades diferenciadas nas aulas.

Já em relação às dificuldades dos alunos com as atividades, constatamos que 70% não apresentaram. Dos cerca de 30% que tiveram dificuldades, a maioria foi em relação à metodologia ser mais ativa e pelo fato deles estarem mais habituados com as aulas

expositivas. Assim, ao aplicar atividades diferenciadas de ensino, o professor deve ficar atento a dificuldades como essas. Inclusive uma possibilidade seria fazer um revezamento entre atividades mais tradicionais expositivas e atividades onde o aluno tenha uma postura mais ativa, como nas simulações presentes nesta UEPS.

## VI. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) código de financiamento 001 por auxiliar o programa de mestrado SBF MNPEF (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física).

## REFERÊNCIAS

ALVES, A.L.; BENTO, S.S.; MARCHI, C.H. Movimento Vertical de Minifoguetes: Equações de Trajetórias e Análises Gráficas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, 2021.

AUSUBEL, D. P. *Algunos aspectos psicológicos de la estructura del conocimiento*. Buenos Aires, El Ateneo, 1973.

AUSUBEL, D. P. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Lisboa, Plátano, 2003.

BORGES, A. T. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 3, p.291, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. 2018. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>> Acesso em: 09 jul. de 2022.

BRASIL. Secretaria de Educação Básica. Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM): Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEB, 1998. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 09 jul. de 2022.

DE CARVALHO, A. M. (Ed.). *Termodinâmica: um ensino por investigação*. USP, Faculdade de Educação, 1999.

FREIRE, W.H.C.; MEDEIROS, M.L.; LEITE, D.; SILVA, R.M. Lançamento oblíquo com resistência do ar: Uma análise qualitativa. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 38, 2016.

MELO, L. F. A.; MOREIRA, A. C. L.; CAMELO-NETO, G. Lançamento de Projéteis de Brinquedo: modelagem matemática e experimentação investigativa. *Revista do Professor de Física*, v. 4, n. 2, p. 66-90, 2020.

MOREIRA, M. A. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 7, n. 1. P. 7, 2002.

MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa*. São Paulo, UPU, 2011.

MOREIRA, M. A. *Unidades de Ensino Potencialmente Significativas UEPS*, 2016. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/moreira/>>. Acesso em: 09 jul. de 2022.

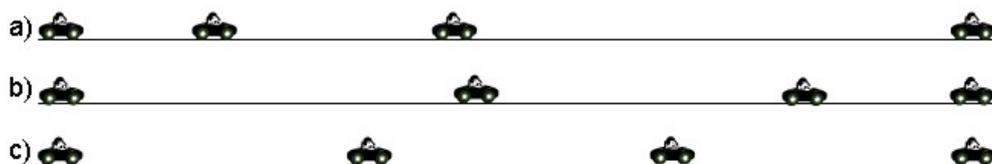
SILVEIRA, F.L.; MOREIRA, M.A.; AXT, R. Estrutura interna de testes de conhecimento em física: um exemplo em mecânica. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 10, n. 2, 1992.

SOUZA, J.A. Um foguete de garrafas PET. *Física na escola*, v. 8, n. 2, p. 4-11, 2007.

VERGNAUD, G., Epistemology and psychology of mathematics education. In: P. NESHER & J. KILPATRICK (Eds.). *Mathematics and cognition: A research synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Cambridge, Cambridge University Press, 1990. pp. 14-30.

## A. QUESTIONÁRIO INICIAL E FINAL

1. O que você entende por posição de um objeto?
2. O que você entende por repouso e movimento?
3. O que você entende por velocidade?
4. O que você entende por trajetória e deslocamento de um objeto?
5. O que você entende por aceleração?
6. O que você entende por força?
7. Utilize as três ilustrações abaixo que mostram aonde se encontravam os carros em vários instantes em um movimento que ocorre, em todos os casos, da esquerda para a direita. As figuras representam fotos tiradas em intervalos de tempo fixos e iguais.



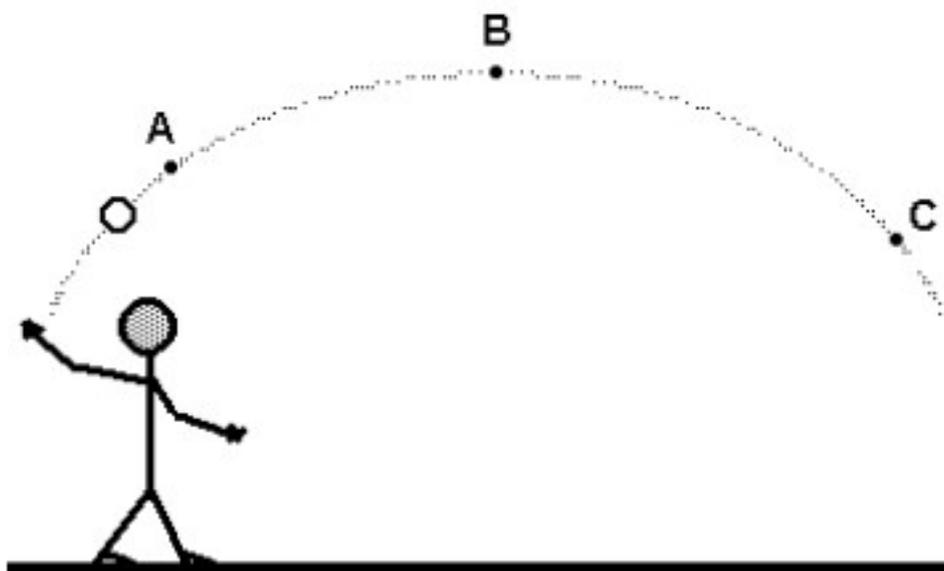
Qual esquema anterior representa:

7.1) Um movimento com velocidade constante? O que você percebeu nesta ilustração que o fez levar a esta conclusão?

7.2) Um movimento onde o carro aumenta a velocidade? O que você percebeu nesta ilustração que o fez levar a esta conclusão?

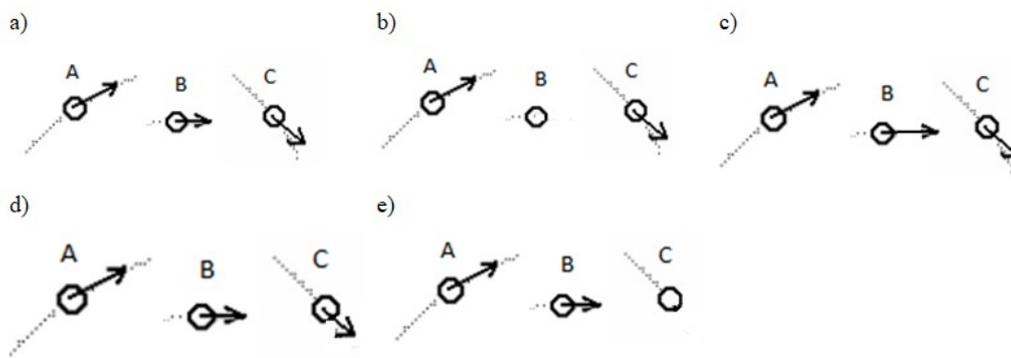
7.3) Um movimento onde o carro diminui a velocidade? O que você percebeu nesta ilustração que o fez levar a esta conclusão?

8) Um menino lança uma pequena pedra que descreve uma trajetória como representada na figura a seguir (a força de resistência do ar é desprezível). O ponto B é o mais alto da trajetória.

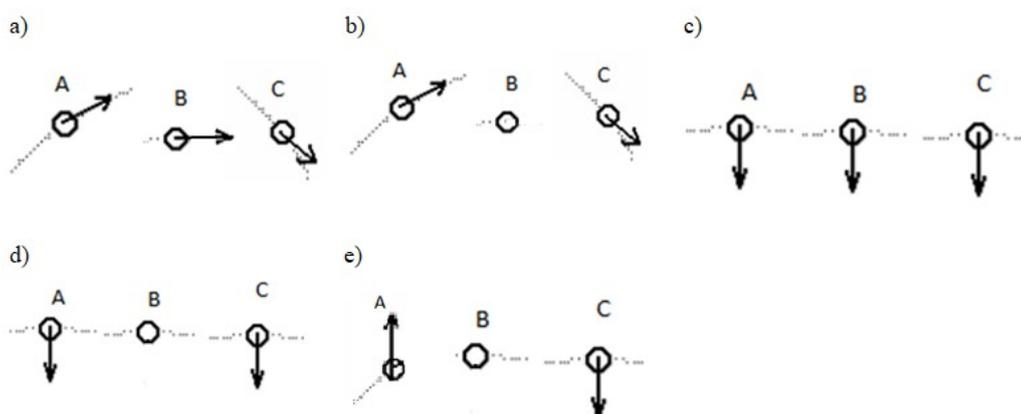


Baseado nessa situação responda as questões a seguir:

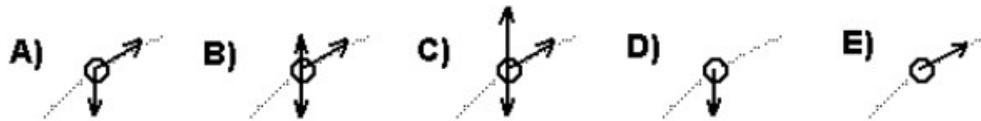
8.1) Assinale o item onde o vetor velocidade é representado corretamente nos três pontos A, B e C, respectivamente.



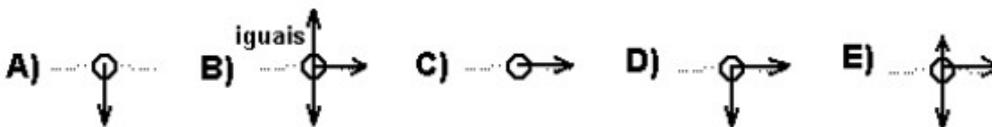
8.2) Assinale o item onde o vetor aceleração é representado corretamente nos três pontos A, B e C, respectivamente.



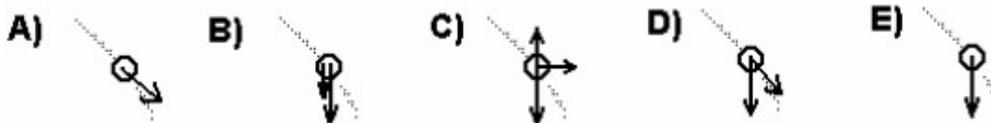
8.3) Assinale o item onde o(s) vetor(es) força é ou são representado (s) corretamente no ponto A.



8.4) Assinale o item onde o(s) vetor(es) força é ou são representado (s) corretamente no ponto B



8.5) Assinale o item onde o(s) vetor(es) força é ou são representado (s) corretamente no ponto C.



9. Utilize as cinco ilustrações a seguir.

<i>Pena</i>	<i>Folha de papel aberta</i>	<i>Folha de papel amassada</i>	<i>Esfera maciça pequena</i>	<i>Esfera maciça grande</i>
				

Considere que os cinco objetos acima sejam abandonados lado a lado de uma mesma altura em um mesmo instante.

9.1) Coloque em ordem de chegada, do que chega primeiro até aquele que chega em último, considerando que o experimento seja feito no ar normal sem vento. Explique porquê?

9.2) Coloque em ordem de chegada, do que chega primeiro até aquele que chega em último, considerando que o experimento seja feito no vácuo perfeito, isto é, na ausência do ar. Explique porquê?

10) Um objeto é jogado num lançamento de projéteis no vácuo como na figura abaixo. Explique como seria a trajetória da figura se a resistência do ar fosse levada em conta. Justifique sua resposta. Faça um outro gráfico mostrando a trajetória alterada.

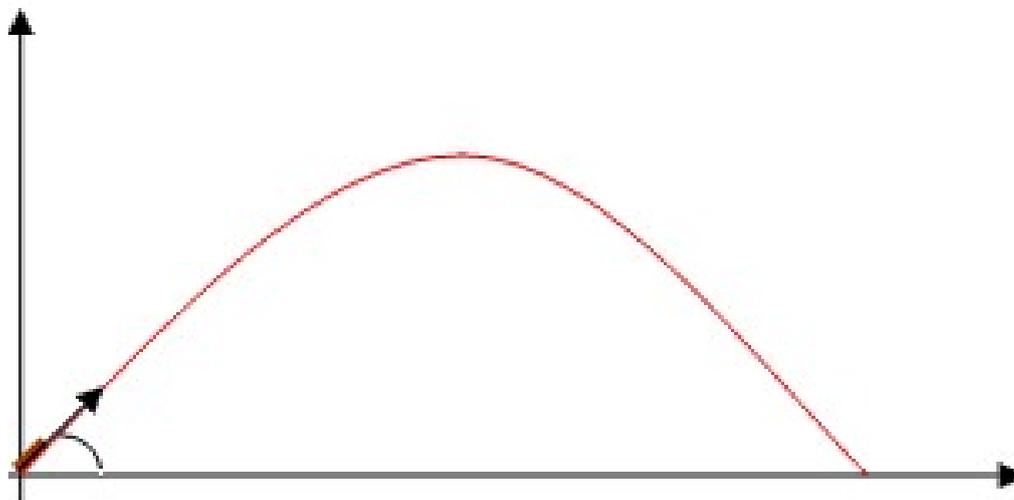


Figura 6: no vácuo.



Figura 7: no ar.

- 11) Explique como um Helicóptero pode voar sendo mais pesado que o ar.
  - 12) Explique como um avião pode voar sendo mais pesado que o ar.
  - 13) Explique como um foguete pode acelerar, frear ou fazer curvas no espaço vazio.
- As questões de 14 a 18 devem ser respondidas de acordo com a escala Likert:

- a) Concordo totalmente
- b) Concordo parcialmente
- c) Não sei opinar

d) Discordo parcialmente

e) Discordo totalmente

14) Um objeto é lançado para cima e retorna ao mesmo nível do ponto onde foi lançado. Desprezando a resistência do ar podemos afirmar que o valor absoluto da velocidade inicial de subida  $V_i$  é sempre maior que o valor absoluto da velocidade final  $V_f$  de chegada imediatamente antes de retornar à mão.



**Figura 8:** Fonte: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=26663>>, acessado em 24 de janeiro de 2018.

15. No movimento acelerado a aceleração precisa ser sempre positiva e no movimento retardado a aceleração precisa ser sempre negativa.

16. Considere um bloco em equilíbrio sobre uma superfície. As Forças normal  $N$  e peso  $P$  formam um par ação e reação de acordo com a terceira Lei de Newton.

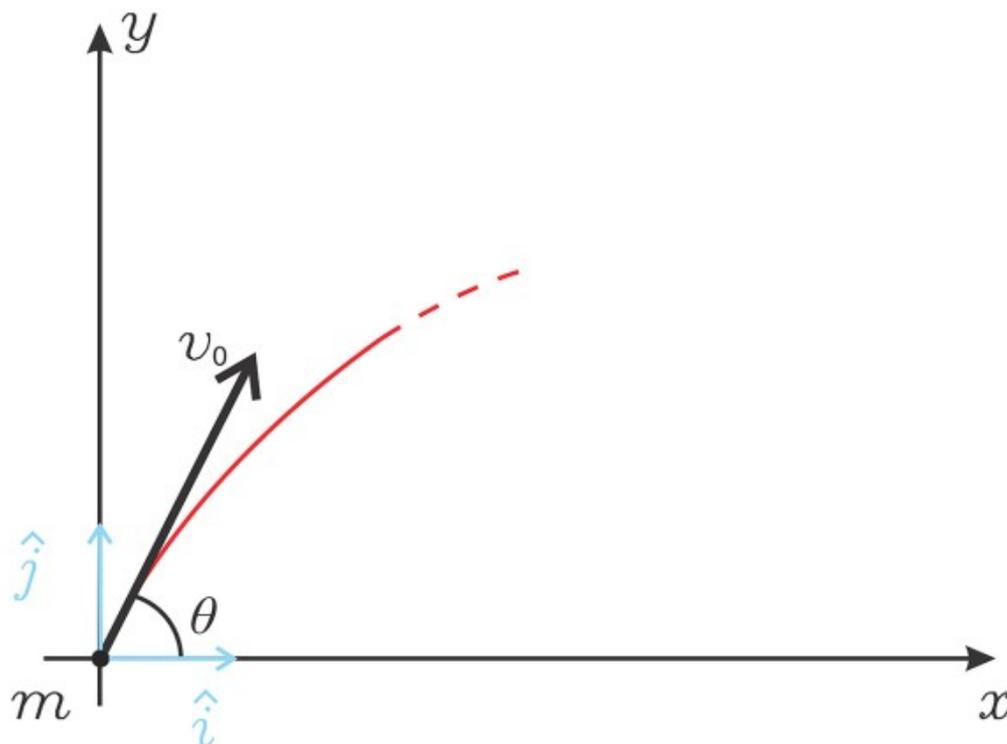
17. Nas viagens espaciais as naves têm que manter constantemente uma pequena aceleração, pois caso contrário teriam sua velocidade diminuída até pararem completamente.

18. A aceleração que atua num objeto tem sempre o mesmo sentido e direção da força resultante que atua no corpo.

## B. MODELOS MATEMÁTICOS PARA LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS NUM CAMPO GRAVITACIONAL CONSTANTE.

### II.1. Modelo para lançamento oblíquo no vácuo

Este é o caso mais simples estudado nos livros de ensino médio. Considere uma partícula de massa  $m$  lançada de forma oblíqua com velocidade de módulo  $v_0$  e sob um ângulo  $\theta$  com a horizontal, sendo  $0 < 90^\circ < \theta$ , conforme mostrado na Figura 9 (FREIRE et al, 2016).



**Figura 9:** partícula de massa  $m$  lançada com velocidade inicial  $v_0$  sob um ângulo  $\theta$  num campo gravitacional constante vertical para baixo. Fonte: FREIRE et al, 2016, p. 1306-2.

As condições iniciais no tempo  $t = 0$  para a posição  $\vec{v} = v_x \hat{i} + v_y \hat{j}$

$$x(0) = y(0) = 0$$

$$\vec{v}(0) = v_0 \cos(\theta) \hat{i} + v_0 \sin(\theta) \hat{j} \quad (1)$$

A partícula depois que foi lançada fica submetida à força peso dada por:

$$\vec{P} = -mg \hat{j} \quad (2)$$

onde  $g$  é a aceleração da gravidade local aproximadamente constante. Na mecânica newtoniana o estudo do movimento é feito a partir da Segunda Lei de Newton

$$\vec{F}_R = m\vec{a} \quad (3)$$

onde  $\vec{F}_R$  é o vetor força resultante e  $\vec{a}$  o vetor aceleração.

Substituindo a equação (2) na (3) obtemos uma aceleração somente no eixo vertical  $y$ , dada por  $\vec{a} = -g\hat{j}$ . Utilizando a independência dos movimentos nos eixos  $x$  e  $y$ , chegamos nas funções horárias:

$$x(t) = x(0) + v_{0x}t \quad (4)$$

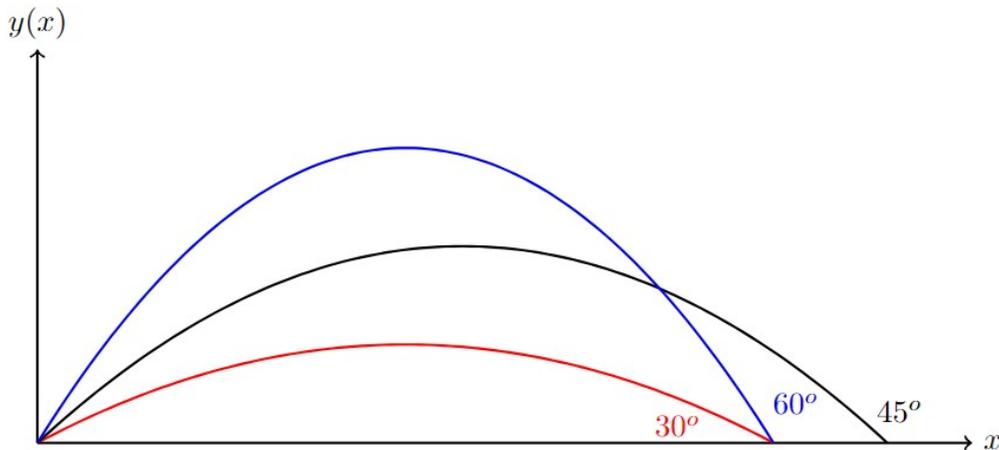
$$y(t) = y(0) + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (5)$$

sendo  $v_{0x} = v_0 \cos(\theta)$  a componente horizontal constante da velocidade inicial da partícula. Na vertical o movimento é uniformemente acelerado e na horizontal é uniforme.

Utilizando a independência dos movimentos nos eixos  $x$  e  $y$ , chegamos nas funções horárias:

$$y(x) = \tan(\theta)x - \frac{g \sec^2(\theta)}{2v_0^2}x^2 \quad (6)$$

cujo gráfico é uma parábola. Na Figura 10 são mostradas 3 curvas correspondentes aos ângulos de lançamentos  $\theta = 30^\circ$ ,  $\theta = 45^\circ$ , e  $\theta = 60^\circ$ . Pode-se observar que a curva é simétrica na subida e na descida do objeto, que o alcance máximo se dá para  $45^\circ$  e que existem dois alcances iguais para ângulos complementares.



**Figura 10:** Previsão teórica das trajetórias correspondentes aos ângulos de lançamento  $\theta = 30^\circ$ ,  $\theta = 45^\circ$  e  $\theta = 60^\circ$ , no modelo em que a resistência do ar é desconsiderada. Fonte: MELO et al, 2020, p. 71.

## II.2. Modelo considerando a resistência do ar

Na prática todos os lançamentos de projéteis realizados aqui na Terra estão submetidos à resistência do ar, a não ser que sejam feitos numa câmara de vácuo. Assim, num estudo mais realístico se justifica incluímos a força de resistência do ar nos cálculos. Nessa revisão vamos utilizar o caso mais comum da força de arrasto, devido à resistência do ar, como

sendo proporcional à velocidade e oposta a ela (FREIRE et al, 2016).

$$\vec{F}_R = -b\vec{v} \quad (7)$$

sendo  $b > 0$  uma constante e  $\vec{v}$  a velocidade do objeto.

Usando as forças (2) e (7) na Segunda Lei de Newton (3), obtemos

$$-mg\hat{j} - \beta m\vec{v} = m\vec{a} \quad (8)$$

onde foi definido  $b = \beta m$ , sendo  $\beta$  uma constante relacionada ao arrasto e  $m$  a massa. Essa equação vetorial pode ser escrita como duas equações separadas por componentes:

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = -\beta v_x$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = -\beta v_y - g \quad (9)$$

sendo  $(a_x, a_y)$  e  $(v_x, v_y)$ , respectivamente, as componentes da aceleração e da velocidade da partícula.

Integrando as equações (8) e utilizando as condições iniciais (1), obtemos:

$$v_x(t) = v_0 \cos(\theta) e^{-\beta t}$$

$$v_y(t) = (v_0 \sin(\theta) + \frac{g}{\beta}) e^{-\beta t} - \frac{g}{\beta} \quad (10)$$

Integrando novamente as equações (10) e usando novamente as condições iniciais (1), obtemos:

$$x(t) = v_0 \cos(\theta) \frac{(1 - e^{-\beta t})}{\beta}$$

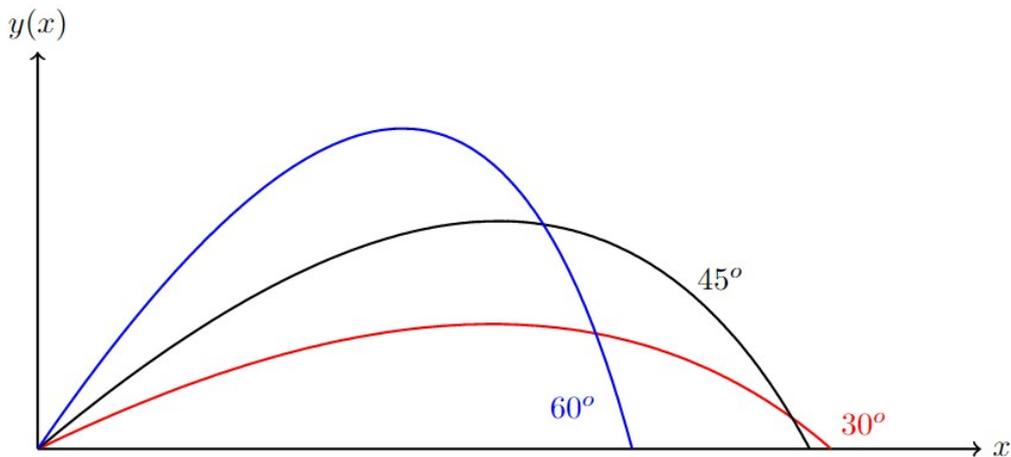
$$x(t) = (v_0 \sin(\theta) + \frac{g}{\beta}) \frac{(1 - e^{-\beta t})}{\beta} - \frac{gt}{\beta} \quad (11)$$

Tomando-se o limite  $\beta \rightarrow 0$ , pode-se recuperar as equações horárias (4), do caso sem a resistência do ar, a partir das equações gerais (10).

Utilizando as equações (10) é possível escrever a equação da trajetória como

$$y(x) = (\tan(\theta) + \frac{g}{\beta v_0 \cos(\theta)})x + \frac{g}{\beta^2} \ln(1 - \frac{\beta x}{v_0 \cos(\theta)}) \quad (12)$$

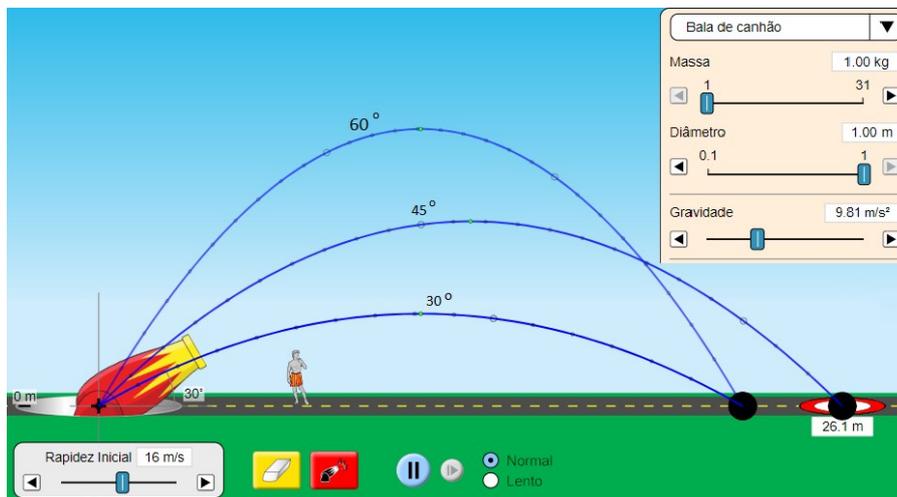
As trajetórias para os mesmos 3 ângulos de lançamentos  $\theta = 30^\circ$ ,  $\theta = 45^\circ$ , e  $\theta = 60^\circ$ , são mostradas na Figura 11. Observamos uma quebra de simetria no gráfico entre o trajeto de subida e de descida do objeto, que o ângulo de alcance máximo não é mais  $45^\circ$  e que não há mais dois ângulos complementares com o mesmo alcance.



**Figura 11:** Previsão teórica das trajetórias correspondentes aos ângulos de lançamento  $\theta = 30^\circ$ ,  $\theta = 45^\circ$  e  $\theta = 60^\circ$ , no modelo em que a resistência do ar é considerada. Fonte: MELO et al, 2020, p. 75.

### II.3. O simulador do PhET Colorado para lançamentos oblíquos

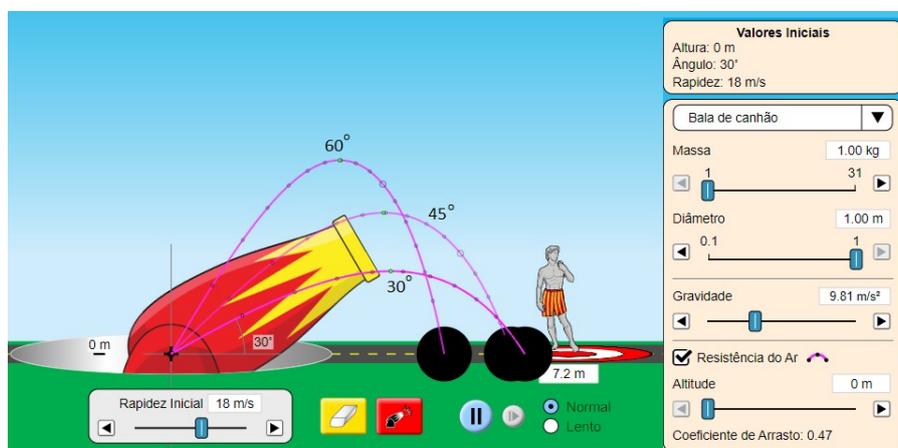
Através do simulador de lançamento oblíquo da plataforma de simulações do PhET Colorado, <[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/projectile-motion](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/projectile-motion)>, é possível simular lançamentos oblíquos sem e com a resistência do ar. No caso sem a resistência do ar, adotando uma velocidade inicial de 16m/s, obtemos a Figura 12 para os ângulos de lançamento  $\theta = 30^\circ$ ,  $\theta = 45^\circ$ , e  $\theta = 60^\circ$ , que está totalmente de acordo com a previsão da Figura 10 construída a partir da teoria. Além disso, pode-se verificar que o tipo de projétil, a massa e o diâmetro não interferem na trajetória.



**Figura 12:** Trajetórias da simulação PhET Colorado correspondentes aos ângulos de lançamento  $\theta = 30^\circ$ ,  $\theta = 45^\circ$  e  $\theta = 60^\circ$ , no modelo sem a resistência do ar. Fonte: os autores.

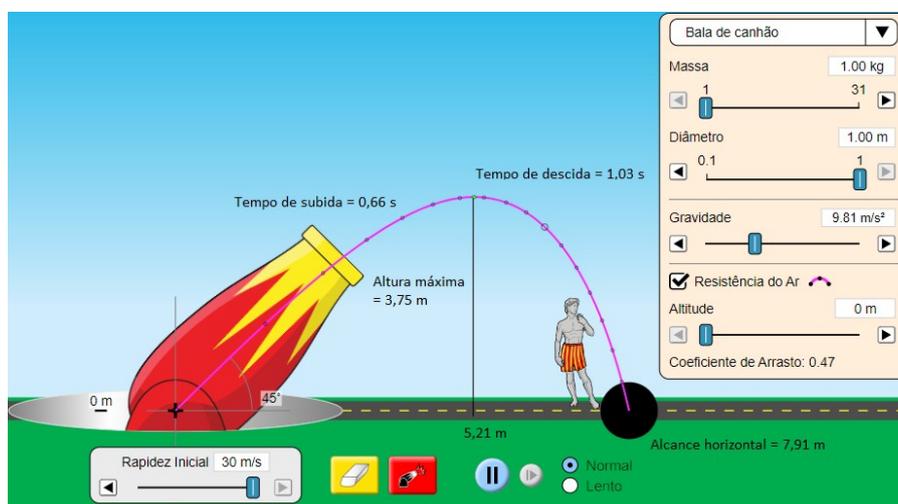
No caso com a resistência do ar é possível escolher os parâmetros e obter as trajetórias mostradas na Figura 13, que são bem semelhantes às trajetórias do gráfico teórico da Figura 11. Com a escolha da massa em 1kg, o diâmetro do projétil em 1m e o coeficiente de arrasto igual a 0,47, percebe-se que o ângulo de  $45^\circ$  não corresponde mais ao alcance máximo e

nem o alcance de ângulos complementares são mais iguais. Comparando-se as Figuras 13 e 12 percebemos que o arrasto reduz consideravelmente os alcances.



**Figura 13:** Trajetórias da simulação PhET Colorado correspondentes aos ângulos de lançamento  $\theta = 30^\circ$ ,  $\theta = 45^\circ$  e  $\theta = 60^\circ$ , no modelo com a resistência do ar. Fonte: os autores.

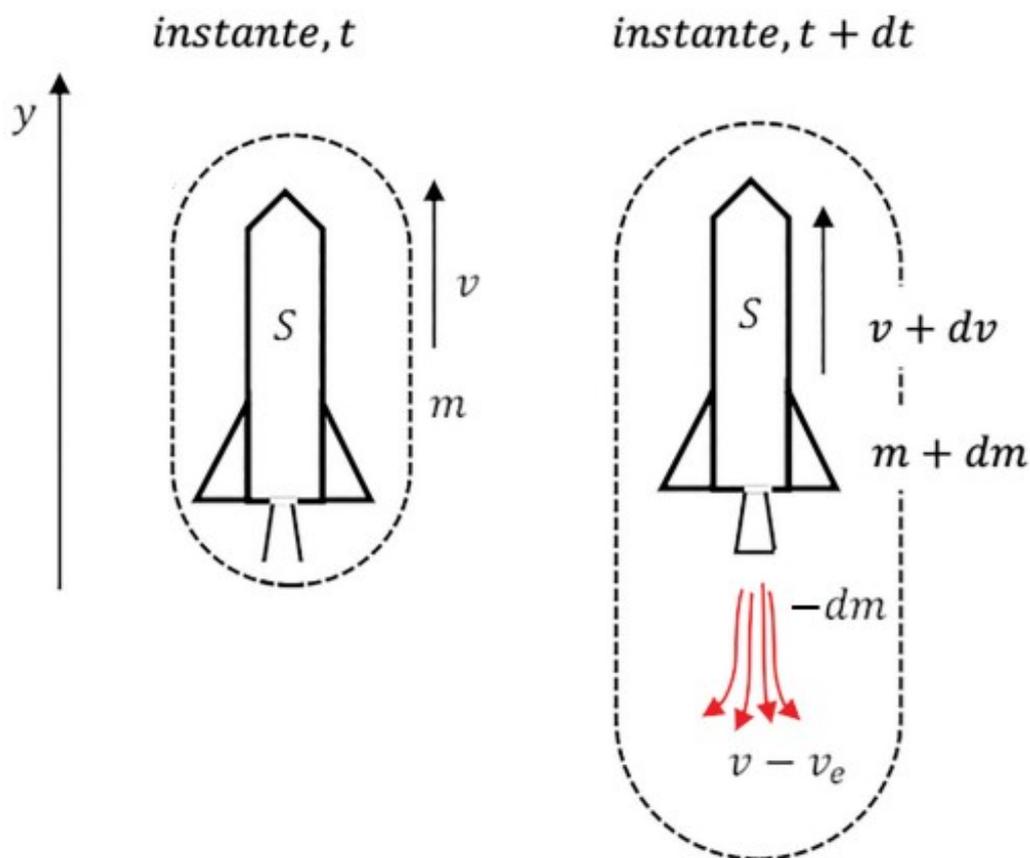
Um outro efeito da força de arrasto é que a curva não é mais uma parábola, se tornando uma curva assimétrica, com o lado inicial até a altura máxima mais extenso do que o lado final, da altura máxima até o momento que o objeto toca o solo. Na Figura 14, no tempo de subida de 0,66s o deslocamento horizontal foi de 5,21 m, enquanto que no tempo de descida de 1,03s o deslocamento horizontal foi de 2,7 m, indicando que na descida o objeto está mais lento devido à dissipação de energia provocada pela resistência do ar.



**Figura 14:** Trajetória assimétrica da simulação PhET Colorado com a resistência do ar correspondente ao ângulo de lançamento de  $\theta = 45^\circ$ . Fonte: os autores.

### C. MODELOS MATEMÁTICOS PARA LANÇAMENTO DE FOGUETES

Os lançamentos de foguetes diferem dos lançamentos de projéteis principalmente devido a velocidade inicial e a propulsão. Enquanto os projéteis já são lançados com a máxima velocidade possível e não possuem propulsão além do impulso inicial, os foguetes partem do repouso e aceleram devido a sua propulsão durante um certo tempo. A Figura 15 mostra um foguete de massa  $m$  e velocidade  $v$ , em relação à Terra, subindo na vertical. Ao ejetar um fluido de massa  $(-dm)$  e velocidade  $v_e$  em relação ao foguete, a massa do foguete diminui para  $m+dm$  e sua velocidade aumenta para  $v + dv$ , sendo  $dm < 0$ . Note que a velocidade do fluido em relação à Terra é  $v - v_e$  (ALVES et al, 2021).



**Figura 15:** O foguete está ejetando massa de fluido  $-dm$  e aumentando sua velocidade para  $v + dv$ . O fluido está sendo ejetado com velocidade  $v_e$  em relação ao foguete. Fonte: ALVES et al, 2021, p. e20200479-3.

Visto que o foguete é um sistema de massa variável, é necessário trabalhar com a formulação mais geral da Segunda Lei de Newton dada por

$$\vec{F}_R = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (13)$$

sendo  $\vec{p} = m\vec{v}$  o momento linear ou quantidade de movimento. A partir da Figura 15 podemos escrever a variação do momento linear como  $d\vec{p} = \vec{p}_f - \vec{p}_i$ . Já levando em conta os

sentidos dos vetores, temos  $\vec{p}_f = (m + \Delta m)(\vec{v} + \Delta \vec{v}) + (-\Delta m)(\vec{v} - \vec{v}_e)$  e  $p_i = mv$ , ambos em relação à Terra. Assim, a partir de (13) obtemos

$$-mg + F_a = \frac{mdv + dmdv + dm v_e}{dt} \quad (14)$$

sendo  $mg$  o peso do foguete e  $F_a$  a força de arrasto que atua nele devido a resistência do ar. O produto de dois infinitesimais  $dmdv$  pode ser desprezado e obtemos:

$$\frac{mdv}{dt} = -v_e \frac{dm}{dt} - mg + F_a \quad (15)$$

Comparando-se com a expressão  $F_R = ma = m \frac{dv}{dt}$ , percebemos no lado direito, uma terceira força em relação ao estudo de lançamento de projéteis, dada por

$$T = -v_e \frac{dm}{dt} \quad (16)$$

denominada de Empuxo do foguete, responsável por acelerá-lo no sentido de propagação. Como a massa do foguete diminui,  $\frac{dm}{dt} < 0$ , então  $T$  é positivo. Se o combustível acabar,  $dm/dt = 0$  e o movimento do foguete se reduz ao lançamento de projéteis com resistência do ar.

Caso o tempo de aceleração ou de ejeção de fluido seja pequeno, pode-se durante este tempo desprezar a ação da força de arrasto. Assim, a equação (15) se torna

$$m \frac{dv}{dt} = -v_e \frac{dm}{dt} - mg \quad (17)$$

Considerando o caso mais simples da massa do foguete variar linearmente com o tempo temos,  $m(t) = m_0 - Rt$ , sendo  $R = -dm/dt$  uma constante e  $m_0$  a massa total inicial do foguete cheio do fluido propelente. Assim, a equação (17) se torna

$$\frac{dv}{dt} = \frac{Rv_e}{m_0 - Rt} - g \quad (18)$$

De acordo com Alves et al (2021), a equação (18) possui as soluções para a velocidade e altitude do foguete dadas por:

$$v(t) = -gt - v_e \ln \left( 1 - \frac{R}{m_0} t \right)$$

$$y(t) = v_e t - \frac{1}{2}gt^2 + \frac{(m_0 - Rt)}{R} v_e \ln \left( 1 - \frac{R}{m_0} t \right)$$

Quando o fluido propelente terminar de ser ejetado, o movimento passa a ser descrito pelo lançamento de projéteis na presença da resistência do ar já descrito no Apêndice B.