



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL DE ENSINO DE FÍSICA - MNPEF**

ELIESIO ALVES DA SILVA

**O MOVIMENTO BALÍSTICO: DA EXPERIMENTAÇÃO À
OLIMPÍADA - UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA A PARTIR
DE UM RELATO DE EXPERIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA**

**SANTARÉM - PA
2020**

ELIESIO ALVES DA SILVA

**O MOVIMENTO BALÍSTICO: DA EXPERIMENTAÇÃO À
OLIMPÍADA - UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA A PARTIR
DE UM RELATO DE EXPERIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Oeste do Pará no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física - MNPEF, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Damião Pedro Meira Filho
Instituto Federal do Pará

**SANTARÉM - PA
2020**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas (SIBI) da UFOPA Catalogação de Publicação na
Fonte. UFOPA - Biblioteca Unidade Rondon

Silva, Eliesio Alves da.

O movimento balístico: da experimentação à olimpíada - uma proposta de sequência didática a partir de um relato de experiência no ensino de física / Eliesio Alves da Silva. - Santarém, 2020.

139f.: il.

Mestrado (Dissertação) - Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências da Educação, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Orientador: Damião Pedro Meira Filho.

1. Ensino de Física. 2. Sequência Didática. 3. Atividade Experimental. 4. Movimento Balístico. 5. Olimpíadas de Conhecimento. I. Filho, Damião Pedro Meira. II. Título.

UFOPA/Sistema Integrado de Bibliotecas

CDD 23 ed. 530.07



Aos dezanove dias do mês de outubro do ano de dois mil e vinte, às 14h30min, no âmbito da plataforma virtual e online do youtube, instalou-se a banca examinadora de dissertação de mestrado do discente Eliesio Alves da Silva. A banca examinadora foi composta pelo Professor Dr. Rodolfo Maduro Almeida, UFOPA, examinador interno, Professor Dr. Jose Ricardo e Souza Mafra, UFOPA, examinador externo, Professora Dra. Nilzilene Gomes de Figueiredo, UFOPA, examinador interno e Professor Dr. Damiao Pedro Meira Filho, IFPA, orientador. Deu-se início a abertura dos trabalhos, por parte do Professor Dr. Joao Roberto Pinto Feitosa, coordenador do Programa, que, após apresentar os membros da banca examinadora e esclarecer sobre a tramitação da defesa, passou a presidência dos trabalhos ao Professor Damiao Pedro Meira Filho, que de imediato solicitou ao candidato que iniciasse a apresentação da dissertação, intitulada O MOVIMENTO BALÍSTICO: DA EXPERIMENTAÇÃO À OLIMPÍADA - UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA A PARTIR DE UM RELATO DE EXPERIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA, estabelecendo um tempo de 40 minutos para a apresentação. Concluída a exposição, o Professor Damiao Pedro Meira Filho, presidente, passou a palavra ao examinador externo, Professor Dr. Jose Ricardo e Souza Mafra, para argüir o candidato, e, em seguida, o examinador interno, Professor Dr. Rodolfo Maduro Almeida realizou arguição e por fim a Professora Dra. Nilzilene Gomes de Figueiredo, UFOPA, desenvolveu sua arguição; após o que fez suas considerações sobre o trabalho em julgamento; tendo sido aprovado o candidato, conforme as normas vigentes na Universidade Federal do Oeste do Pará. A versão final da dissertação deverá ser entregue ao programa, no prazo de 30 dias; contendo as modificações sugeridas pela banca examinadora e constante na folha de correção anexa. Conforme o Artigo 43 da Resolução 072/2004 - CONSEPE, o candidato não terá o título se não cumprir as exigências acima.

Dr. MARIO TANAKA FILHO, UFOPA

Examinador Externo ao Programa

Dr. JOSE RICARDO E SOUZA MAFRA, UFOPA

Examinador Externo ao Programa

Dr. RODOLFO MADURO ALMEIDA, UFOPA

Examinador Interno



Universidade Federal do Oeste do Pará

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Nilzilene Gomes de Figueiredo
Dra. NILZILENE GOMES DE FIGUEIREDO, UFOPA

Examinadora Interna

Damiao Pedro Meira Filho
DAMIAO PEDRO MEIRA FILHO, USP

Presidente

Eliesio Alves da Silva
ELIESIO ALVES DA SILVA

Damiao Pedro Meira Filho
Professor EBTT
IFPA-Campus Santarém
SIAPE 1744222

Mestrando

Dedico esta dissertação em ESPECIAL,
À minha amada esposa, JANE

e aos meus filhos,
Jean, Eliane e Jamile.

AGRADECIMENTO

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

ACIMA DE TUDO

à DEUS

... Por fortalecer minha caminhada durante a jornada e constantemente corrigir minha trajetória rumo à Vitória.

A Sociedade Brasileira de Física (SBF) e ao programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física(MNPEF)

... Que acreditou que o programa promoveria o Ensino de Física e o crescimento profissional e pedagógico dos professores de Física do Brasil.

A UFOPA - Instituto de Ciências e Educação (ICED), e aos Professores do Curso,

... Que, comigo sonharam e realizaram o sonho desse mestrado.

Aos Colegas de Curso

... Pela força, incentivo, colaboração, companheirismo e pela amizade que os breves momentos das aulas só reforçaram e ataram ainda mais forte os laços.

Aos Colegas Professores do IFPA - Itaituba

... pela colaboração, criatividade e vontade de fazer acontecer. If I have seen further it is by standing on the shoulders of Giants.

*“Porque o Senhor dá a sabedoria, e de Sua boca vem a inteligência e o entendimento.”
(Bíblia Sagrada, Provérbios 2:6)*

RESUMO

Neste trabalho, apresentou-se uma sequência didática destinada ao ensino do movimento balístico a partir de um relato de experiência da atividade docente em algumas cidades do Estado do Pará nos últimos anos. Aplicada com a participação de 17 alunos de várias turmas e níveis, durante 10 aulas, numa escola pública com aproximadamente 700 alunos na cidade de Itaituba no Estado do Pará. Pautada na aprendizagem significativa de David Ausubel, no contexto da realização de experimentos em Física - O lançamento de foguetes. A proposta relacionou o ensino de Física por meio da experimentação e análise do voo dos protótipos construídos. A aplicação da sequência teve como metodologia de ensino -aprendizagem procedimentos pré estabelecidos buscando desenvolver as estruturas cognitivas do aluno a partir do seu conhecimento prévio procurando auxiliá-lo a construir um aprendizado significativo. A sequência apresentou duas atividades cujo objetivo era organizar os conhecimentos prévios dos alunos em preparação para a ampliação desse conhecimento. As atividades na forma de oficinas: 1. Oficina de construção de Foguetes e bases de lançamento e 2. Lançamento dos dispositivos para coleta e análise de dados do movimento, destacaram o novo conhecimento a aprender: o Movimento Balístico. O estudo procurou fazer intermediação entre teoria e prática dos conceitos de Mecânica dos corpos e teve como um dos objetivos, analisar e entender a problemática dos conceitos físicos sobre movimentos, em especial o movimento balístico(lançamento oblíquo), relacionando-o com outras disciplinas, em reconhecimento ao caráter multidisciplinar de uma atividade experimental. Abordou conceitos sobre reações químicas balanceamento, cálculo estequiométrico e matemática associada as equações de movimento por meio das EDO - equações diferenciais ordinárias. As Atividades incorporaram várias abordagens: exposição dos conteúdos e conceitos físicos; abertura a discussões, vídeos explicativos; construção e lançamento de protótipos. A percepção sobre o nível do conhecimento construído foi realizada por meio da comparação das respostas dadas por eles aos questionamentos durante as atividade iniciais como organizador prévio e as resposta da folha de avaliação aplicada após ao final sequência didática, com questões que abordavam os mesmos princípios, evidenciando um desempenho satisfatório. Outro ponto abordado no texto trata da participação em olimpíadas de conhecimento como a MoBFog/OBA, que oferece a possibilidade de participação em eventos externos proporcionando uma visão diferenciada do ensino desse tópico, de sua aplicabilidade e da variedade de conceitos físicos envolvidos.

Palavras-chaves: Ensino de Física. Sequência Didática. Atividade Experimental. Movimento Balístico. Olimpíadas de Conhecimento.

ABSTRACT

In this work, a didactic sequence for teaching the ballistic movement was presented based on an experience report of teaching activity in some cities in the State of Pará in recent years. Applied with the participation of 17 students of various classes and levels, during 10 classes, in a public school with approximately 700 students in the city of Itaituba in the State of Pará. Based on the significant learning of David Ausubel, in the context of conducting experiments in Physics - Rocket launch. The proposal related the teaching of Physics through experimentation and flight analysis of the built prototypes. The application of the sequence had as teaching-learning methodology pre-established procedures seeking to develop the student's cognitive structures from his previous knowledge seeking to help him to build meaningful learning. The sequence presented two activities whose objective was to organize the students' previous knowledge in preparation for the expansion of that knowledge. Activities in the form of workshops: 1. Rocket building workshop and launch bases and 2. Launching of devices to collect and analyze movement data, highlighted the new knowledge to learn: Ballistic Movement. The study sought to mediate between theory and practice of the concepts of mechanics of bodies and had as one of its objectives, to analyze and understand the problem of physical concepts about movements, especially ballistic movement (oblique launch), relating it to other disciplines, in recognition of the multidisciplinary nature of an experimental activity. It addressed concepts about balancing chemical reactions, stoichiometric calculations and mathematics associated with equations of motion by means of ODE - ordinary differential equations. The Activities incorporated several approaches: exposure of the contents and physical concepts; openness to discussions, explanatory videos; construction and launch of prototypes. The perception of the level of knowledge built was accomplished by comparing the answers given by them to the questions during the initial activities as a previous organizer and the answers of the evaluation sheet applied after the end of the didactic sequence, with questions that addressed the same principles, showing a satisfactory performance. Another point addressed in the text deals with participation in knowledge olympics such as MoBFog / OBA, which offers the possibility of participating in external events providing a differentiated view of the teaching of this topic, its applicability and the variety of physical concepts involved.

Key-words: Physics Teaching. Didactic Sequence. Experimental Activity. Ballistic Movement. Knowledge Olympics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Disposição dos corpos que interagem gravitacionalmente	30
FIGURA 2 – Movimento balístico de um objeto lançado da origem do sistema de coordenadas cartesianas	34
FIGURA 3 – Movimento estroboscópico de duas bolas em queda	35
FIGURA 4 – Relação entre o alcance e as constantes para cada lançamento v_0 , θ_0 e \vec{g}	36
FIGURA 5 – Momento do lançamento de um foguete de PET e sua trajetória .	39
FIGURA 6 – (I) Trajetória de uma bola, levando em conta a resistência do ar. (II) Trajetória que a bola seguiria no vácuo	39
FIGURA 7 – (I) Trajetória sob efeito da resistência do ar e assíntota de alcance máximo. (II) Trajetória no vácuo	42
FIGURA 8 – Manômetro em uso durante um lançamento	55
FIGURA 9 – Página do Google ilustrando o conversor de unidades	55
FIGURA 10 – Representação do interior da garrafa PET durante a reação química	56
FIGURA 11 – Sequência quadro a quadro de um lançamento	59
FIGURA 12 – Análise de um quadro da sequência de um lançamento	59
FIGURA 13 – Comentários dos grupos sobre o que se pretendia e o que se conseguiu	66
FIGURA 14 – Alunos realizando a Atividade 2	67
FIGURA 15 – Foguetes construídos por algumas equipes durante a oficina . . .	71
FIGURA 16 – Oficina de construção dos foguete	71
FIGURA 17 – Oficina de construção das bases de lançamento dos foguete . . .	72
FIGURA 18 – Da preparação até o lançamento do foguetes	73
FIGURA 19 – Resultados do melhores lançamentos por grupo	74
FIGURA 20 – Escolas participantes da MoBFog	79
FIGURA 21 – Total de alunos MoBFog Santarém - Comparativo por sexo	80
FIGURA 22 – Quantitativo de alunos participantes da MoBFog na Escola A . . .	81
FIGURA 23 – Quantitativo de alunos participantes da MoBFog na Escola B . . .	81
FIGURA 24 – Escolas participantes da OBA na cidade de Itaituba	82
FIGURA 25 – Lista de alunos cadastrados em 2019 MobFog/OBA	135
FIGURA 26 – Respostas de um grupo para as questões sobre aerodinâmica do foguete	140

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Características analíticas de vinagres de vinho branco e de vinho tinto brasileiros.	49
TABELA 2 – Constantes de van der Waals para alguns gases.	53
TABELA 3 – Pressão medida antes dos lançamentos	55
TABELA 4 – Participação dos Alunos na Sequência Didática (SD)	64
TABELA 5 – relação entre os reagentes, a pressão e o alcance obtidos por um dos grupos	74
TABELA 6 – Escolas Participantes da OBA/MoBFog	79
TABELA 7 – Medalhas MoBFog 2019	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
EDO	Equação Diferencial Ordinária
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
ICED	Instituto de Ciências da Educação
IFPA	Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
MOBFOG	Mostra Brasileira de Foguetes
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OBA	Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica
PET	Polietileno tereftalato
SBF	Sociedade Brasileira de Física
SD	Sequência Didática
Ufopa	Universidade Federal do Oeste do Pará

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Letra grega alfa
β	Letra grega beta
θ	Letra grega Théta
θ	Letra grega rô
ξ	Letra grega ksi
v_0	Velocidade inicial
v_{0x}	Velocidade inicial na direção horizontal
v_{0y}	Velocidade inicial na direção vertical
t	instante de tempo
$v_x(t)$	Velocidade horizontal no instante t
$v_y(t)$	Velocidade vertical no instante t
x_0	posição horizontal no instante inicial
$x(t)$	posição horizontal no instante t
y_0	posição vertical no instante inicial
$y(t)$	posição vertical no instante t
T	Instante relativo à altura máxima
y_{max}	altura máxima
θ_0	ângulo inicial de lançamento
$sen\theta_0$	seno do ângulo inicial de lançamento
$cos\theta_0$	cosseno do ângulo inicial de lançamento
$tg\theta_0$	tangente do ângulo inicial de lançamento
g	aceleração da gravidade
$\ln ..$	logarítmo natural
e	número de Euler

m	massa do corpo
m_T	massa da Terra
$\frac{d..}{dt}$	primeira derivada de (..) em relação a "t"
$\frac{d^2..}{dt^2}$	segunda derivada de (..) em relação a "t"
F_v	Força de atrito do ar
$\lim_{\beta \rightarrow 0} ..$	limite de (..) quando beta tende a zero
ℓ	litro
mg/ℓ	miligrama por litro
g/ℓ	grama por litro
pH	potencial hidrogeniônico
$\%$	porcentagem
psi	<i>pound per square inch</i> = libra por polegada quadrada
atm	atmosferas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivos	21
1.2	Estrutura Desta Dissertação	23
2	REFERENCIAL TEÓRICO	24
3	O LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS	29
3.1	O problema dos dois corpos	29
3.2	Corpos em queda	30
3.3	A resistência à queda	31
3.4	Movimento balístico ou movimento de projéteis	33
3.4.1	Parte Horizontal do Movimento	35
3.4.2	Parte Vertical do Movimento	36
3.4.3	Tempo de Voo, Altura Máxima e Alcance	36
3.4.4	Efeitos do Ar Sobre o Movimento Balístico	38
4	UM FOGUETE DE GARRAFA DE PET	44
4.1	Uma breve cronologia dos foguetes	44
4.2	Uma atividade com foguetes	48
4.2.1	Composição do Vinagre	49
4.2.2	Produção Industrial do Bicarbonato de Sódio	50
4.2.3	A Química da Reação	50
4.2.4	Gás Ideal e Gás Real	51
4.2.5	Velocidade de Descarga do “Combustível” do Foguete	56
5	METODOLOGIA	61
5.1	Desenvolvimento do produto educacional	61
5.2	Sequências didáticas	62
5.3	Preparativos para a aplicação da sequência didática	62
5.4	Público alvo	63
6	SEQUÊNCIA DIDÁTICA - APLICAÇÃO E ETAPAS	65
6.1	Atividades iniciais	65
6.2	Construção dos protótipos	68
6.2.1	Oficina de Construção de Foguetes	68

6.2.2	Oficina de Construção de Bases de Lançamento	72
6.3	Lançamentos	72
6.4	Resultados e análise do experimento	73
6.5	Avaliação da SD	75
7	OS FOGUETES E AS OLIMPÍADAS DE CONHECIMENTO	77
7.1	Análise da participação de alguns municípios na OBA/MoBFog ...	79
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
	 REFERÊNCIAS	 87
	 APÊNDICES	 91
	APÊNDICE A SOLUÇÕES DA EQUAÇÃO GERAL DO FOGUETE	92
	APÊNDICE B MOVIMENTO COM RESISTÊNCIA DO AR	95
	APÊNDICE D PRODUTO EDUCACIONAL	134
	 ANEXOS	 134
	ANEXO A ALUNOS NA MOBfog/OBA 2019 - ESCOLA C	135
	ANEXO B FOLHA DE RESPOSTA DE UM GRUPO	139
	ANEXO C RESPOSTAS DOS ALUNOS DE UM GRUPO	140

1 INTRODUÇÃO

Nesta década, a revolução tecnológica tem se tornado mais presente nas salas de aula, seja pela utilização de tecnologias midiáticas que em geral tem papel revolucionário na abordagem do professor durante as explicações de dado tópico, seja pelo aluno que por meio da utilização de *smartphones* pode pesquisar, comparar, verificar uma dada fonte ou até mesmo fazer uso de simulações para testar uma dada hipótese. Para SILVA (2015), além da dinamização do processo de ensino, a utilização dessas tecnologias, permitem, tanto à docentes quanto à discentes, a maior possibilidade de *feedback* visto que tal processo de incorporação esta cada vez mais presente na sala de aula.

No cotidiano escolar, a utilização de tais dispositivos inspira cuidados, dada a constante falta de estímulo dos estudantes relativos ao estudo da Física, por vezes, proporcionados pela enorme quantidade de informações que os mesmos dispositivos podem oferecer-lhes. Possivelmente essa realidade seja uma consequência da forma como se ensina a Física. Resgatar o interesse dos estudantes pelo estudo da Física, torna-se um ponto essencial para o docente dessa disciplina, buscando levar os alunos a perceberem que o conhecimento dessa ciência permite uma compreensão básica da natureza e o quanto esse conhecimento está inserido em uma série de aplicações que eles utilizam no dia a dia.

Elaborar atividades em que os discentes possam construir protótipos, realizar atividades experimentais são formas de aprimorar um dado método de ensino, no entanto, para se tornar mais eficiente, a experimentação e construção de modelos precisam estar aliados à teoria. Conforme cita (GASPAR, 2009), a atividade experimental tem vantagens sobre a teórica, contudo apenas o experimento não é capaz de fazer o aluno encontrar o caminho. Gaspar enfatiza que é necessária uma junção da teoria com a prática para a produção do conhecimento científico.

Além disso, é necessário que se busque uma forma de desenvolver nos es-

tudantes, habilidades que possam dar vazão à sua criatividade, tornando a ato de aprender física prazeroso, entusiasmante e instigante no que diz respeito a necessidade de buscar desafios e tentar solucioná-los.

Ainda para SILVA (2015), o ensino de muitos componentes curriculares na educação básica passa por muitos problemas, com destaque à formação do corpo docente e a influencia dos livros didáticos produzidos a partir um amontoado de macetes, derivados geralmente de cursinhos pré-vestibulares que valorizam mnemotécnicas e supervalorizam as formulas em detrimento da real educação científica necessária à formação dos estudantes (BRASIL, 2006),

[...] frequentemente ensinam-se as respostas sem formular as perguntas! E há um aspecto para o qual os professores devem se voltar com especial atenção, relacionado com a característica fundamental da ciência: sua dimensão investigativa, dificilmente trabalhada na escola nem solicitada nas provas vestibulares (BRAGA et al., 2018).

Em muitas situações, o ensino de Física se dá de forma simplista, com exercícios repetidamente aplicados, com resposta encontradas nas páginas de busca do Google, de forma que o aluno “aprende” pela reprodução, Para Rosa (2003), é um ensino voltado para a transmissão de informações através de aulas expositivas utilizando metodologias voltadas para a resolução de exercícios algébricos apenas. O famoso, preparando para o ENEM.

[...] Questões voltadas para o processo de formação dos indivíduos dentro de uma perspectiva mais histórica, social, ética, cultural, permanecem afastadas do cotidiano escolar, sendo encontrada apenas nos textos de periódicos relacionados ao ensino de Física, não apresentando um elo com o ambiente escolar (ROSA (2003) apud DCEs Física, 2008, p. 63).

De acordo com PIASSI (1995), a falta de uma abordagem mais investigativa fazendo referências as situações problemas que podem ser formuladas a partir da

observação direta pelos alunos no dia a dia dos mesmos, pode comprometer a formação do raciocínio do educando, uma vez que o conteúdo é visto apenas de forma passiva.

As atividades experimentais podem constituir uma boa estratégia para auxiliar essa mudança desde que a abordagem seja diferente da tradicional. A utilização da atividade chamada de laboratório aberto, cujo objetivo geral é mobilizar os alunos para a solução de um problema científico e, partir daí, levá-los a utilizar-se da metodologia científica para chegar à solução, às implicações e conclusões dela advindas (CARVALHO; GIL-PEREZ, 1993).

Em algumas situações, o professor ao realizar experimentos desconectados da realidade e do contexto, apenas para exemplificação de um dado ponto de uma teoria, pode tornar o processo experimental simplista e desmotivador. Neste contexto, experimentar e analisar um fenômeno ainda que de forma simplificada, sempre esteve presente no processo evolutivo da Física, mostrando ao longo da história o seu status de ciência da experiência (ROSA, 2003).

FERREIRA (1982) cita que um dos pontos mais levantados por professores, quando se trata da realização de atividades experimentais, é o custo financeiro que estas apresentam, contudo propõe que o professor busque alternativas à ausência de laboratórios bem equipados pela utilização de materiais de baixo ou nenhum custo. Para KAPTISA (1985), "...Para que um estudante compreenda um experimento, ele próprio deverá executá-lo, mas ele entenderá muito melhor se, além de realizar o experimento, ele construir os instrumentos para sua experimentação".

A experimentação, torna-se portanto, um coadjuvante no processo de ensinar e aprender Física. Nesse contexto, de acordo com Araújo e Abib (2003) a utilização de experimentos para o ensino da Física é visto com essencial.

A análise do papel das atividades experimentais desenvolvidas amplamente nas últimas décadas revela que há uma variedade significativa de possibilidades e tendências de uso dessa estratégia de ensino de Física, de modo que essas atividades podem ser concebidas desde situações que focalizam a mera verificação de leis e teorias, até situações que privilegiam as condições para os alunos refletirem e reverem suas ideias a respeito dos fenômenos

e conceitos abordados, podendo atingir um nível de aprendizado que lhes permita efetuar uma reestruturação de seus modelos explicativos dos fenômenos (ARAÚJO; ABIB, 2003, p.177).

De acordo com esse pressuposto, entende-se que ensino de Física deve considerar o conhecimento trazido pelos estudantes, resultado de suas experiências de vida em suas relações sociais.

A partir do relacionamento dos conteúdos da disciplina com o conhecimento, a partir da vivência, que o aluno já trás consigo, a aprendizagem pode ser caracterizada como aprendizagem significativa, de acordo com moreira, caracteriza-se basicamente:

[...] pela interação entre novos conhecimentos e aqueles especificamente relevantes já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Para isso, em sala de aula, o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender e os materiais educativos devem ser potencialmente significativos. Contudo, tais condições são necessárias, mas não suficientes. É preciso levar em conta que a aprendizagem não pode ser pensada isoladamente de outros lugares comuns do fenômeno educativo como o currículo, o ensino e o meio social (MOREIRA, 2010, p.14).

Um conceito de aprendizagem significativa foi elaborado por Ausubel¹ e consiste na teoria que defende que a aprendizagem é significativa quando uma nova informação, conceito, ideia ou proposição adquire significados para o aluno através de uma espécie de ancoragem em aspectos relevantes da estrutura cognitiva preexistente no indivíduo e em sua estrutura de conhecimentos.

Quando o aluno não possui estes conhecimentos prévios sugere-se a utilização de organizadores prévios que são um “recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem.” (MOREIRA, 2010, p.11).

Neste trabalho, buscou-se discutir o papel da experimentação relacionada à tópicos do ensino de Física, não em termos de uma grande teoria pedagógica, mas

¹ David Paul Ausubel (1918-2008), foi um pesquisador norte-americano criador da teoria da aprendizagem significativa <Nova Escola>

com base em alguns exemplos práticos, da vivência em sala de aula, ao longo de anos. Realizando uma experimentação (a construção e lançamento de foguetes), que apesar de um caráter aparentemente simples, revela-se com estudos apropriados uma grande possibilidade para o ato de ensinar e aprender Física.

A proposta inicial, a partir da experimentação e da coleta de dados, era desenvolver um simulador, onde o discente pudesse verificar os aspectos relevantes do conteúdo abordado durante o experimento e a aplicabilidade do mesmo, podendo: repetir, pausar, avançar, retroceder e modificar parâmetros que lhes auxiliasse na formulação de questionamentos sobre o fenômeno. Contudo a análise dos dados por si só, mostrou uma possibilidade ímpar de compartilhamento de experiências pioneiras em algumas escolas, que de forma pouco explorada na literatura brasileira, pode despertar o interesse do discente pela Física e para o professor promover essa disciplina tão complexa e tão fascinante.

1.1 Objetivos

Um dos objetivos deste trabalho, é a pretensão de servir de suporte pedagógico ao ensino alguns componentes curriculares do Ensino Médio: Lançamento de Projéteis, movimento com resistência do ar, e atividade experimentais, que visem proporcionar aos discentes e docentes um aprofundamento desses componentes de forma prática e dinâmica.

Objetivo Geral

Propor uma sequência didática significativa para o ensino do lançamento de projéteis, relacionando principalmente a prática experimental com as principais ideias da teoria sobre o movimento dos corpos próximos à superfície da Terra, composição de movimentos e forças de resistência do ar, possibilitando ao estudante estabelecer relações entre essas ideias e o movimento balístico, em especial o dos foguetes.

Objetivos Específicos

- Buscar compreender como se dá o aprendizado de forma significativa nas estruturas cognitivas do estudante a partir dos referenciais da Teoria de Ausubel;
- utilizar atividades experimentais como ferramentas de ensino-aprendizagem;
- Estabelecer a importância dos organizadores prévios dos alunos percebidos a partir de uma atividade experimental como estruturantes da ampliação do processo cognitivo;
- Diagnosticar o nível do conhecimento construído pelos estudantes a partir de questionamentos respondidos com a aplicação da sequência didática.
- Construir protótipos de foguetes a partir de materiais reutilizáveis (garrafas pet);
- Aplicar conceitos físicos, químicos e matemáticos relacionando-os entre si e com o com o fenômeno estudado;
- Analisar a trajetória e as possíveis causas das variações no movimento após cada lançamento;
- Relacionar o ângulo de lançamento e a velocidade com as quantidades de combustível utilizado;
- Demonstrar a dedução das equações para o cálculo da velocidade de lançamento, tempo de voo e altura máximo atingida por um projétil em voo balístico a partir dos resultados encontrados nas atividades experimentais da sequência.
- Utilizar a experimentação para promover o ensino de tópicos de Física;
- desenvolver a criatividade e a curiosidade do discente;
- Desenvolver a colaboração e a participação dos alunos em cada etapa da atividade;

1.2 Estrutura Desta Dissertação

Iniciou-se abordando uma reflexão sobre o ato de ensinar e aprender Física, no contexto da sala de aula e as expectativas com a aplicação da proposta. O **capítulo 2** discutiu-se alguns posicionamentos de autores a respeito do ensino e a utilização das atividades experimentais na Física para a promoção do ensino desta ciência, bem como, sobre a teoria relacionada a aprendizagem significativa que sustenta o produto desenvolvido.

No **capítulo 3**, explorou-se o movimento dos corpos numa visão teórica fundamentada à luz de alguns autores, em 3 etapas: corpos em queda, movimento balístico e a influência do ar. No **capítulo 4**, fez-se uma cronologia, desde o advento dos foguetes até seu uso na atualidade, além de explorar as características físico-químicas da reação de propulsão do foguete de garrafa PET.

O **capítulo 5**, refere-se a metodologia e faz uma descrição da construção do produto educacional, sua aplicabilidade e preparativos necessários à sua aplicação. Através das atividades desenvolvidas no **capítulo 6**, buscou-se uma forma de mostrar através de experimentação, oficinas de construção de protótipos e lançamentos de projéteis, a construção de ideias a partir das discussões nos grupos, fatores geralmente não trabalhados no ensino tradicional do tópico abordado na sequência didática.

No **capítulo 7**, foi realizada uma pequena análise sobre a participação dos municípios de Santarém e Itaituba na olimpíada de conhecimento OBA/MOBFog, ilustrando o contingente de escolas e alunos participantes nos últimos anos nessa olimpíada.

Finalizando, são apresentadas as considerações finais e as referências utilizadas para elaboração deste trabalho. Nos apêndices A e B, mostrou-se a solução das EDO's utilizadas ao longo do trabalho, o Apêndice C, apresenta o Produto Educacional. No Anexo A, tem-se a lista dos alunos participantes na MOBFog no ano de 2019 na Escola que a Sequência Didática foi aplicada, os anexos B e C apresenta as respostas de um grupo na folha de avaliação da SD.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo versa sobre os autores consultados e seus pontos de vista a cerca dos processos cognitivos relevantes à aprendizagem, dando ênfase às ideias e conceitos desenvolvidos por David Ausubel, sobretudo no que se refere à aprendizagem significativa norteadores da pesquisa desenvolvida neste trabalho.

A partir dos estudos de alguns autores, entre eles SALVADOR (1994), MORETTO (2000) e MIRAS (2003), realizados na última década, pode-se dizer que a aprendizagem não é simplesmente um acúmulo de saberes, e sim depende das capacidades de quem aprende e de suas experiências prévias.

Para Becker (2010), aprender é compreender, ou seja, trazer comigo parcelas do mundo exterior, integrá-las no universo subjetivo do sujeito e assim construir sistemas de representação cada vez mais aprimorados, isto é, que ofereçam ao sujeito cada vez mais possibilidades de ação sobre esse mundo.

É necessário que haja uma relação entre identificação, utilização e significação e essa relação permita compreender porque a ação didática consiste em organizar a interação entre um conjunto de documentos ou de objetos e uma tarefa a cumprir. Haverá situação de aprendizagem efetiva quando o sujeito colocar em ação os dois elementos, um sobre o outro, de maneira ativa e finalizada. Para MEIRIEU (1998), o trabalho do professor é preparar essa interação de forma que ela seja acessível e geradora de sentido para o sujeito.

No enfoque cognitivo existem diferentes níveis de análise, que podem ser não só diferenciados mas integrados. A mente humana seria um sistema complexo (MORIN, 2000) que poderia ser analisado desde diferentes níveis ou planos de complexidade, cada um deles com propriedades emergentes a partir dos anteriores.

Segundo TEIXEIRA (2000), a forma como flui nossa memória, como sistema construtivo em vez de reprodutivo, vai afetar seriamente nossa forma de aprender. Os

processos de aquisição consistem em incorporar novas representações à memória permanente ou mudar as que já temos. Para THAGARD (1998), os processos de aquisição serão mais eficazes quanto maior e mais significativa for a relação que se estabelece entre a nova informação que chega ao sistema e os conhecimentos que já estavam representados na memória.

Propor e promover atividades e situações de aprendizagem que propiciem o desenvolvimento do potencial intelectual dos estudantes, de sua capacidade para enfrentar a realidade de forma reflexiva, crítica e construtiva, de modo a possibilitar a autonomia e auto-determinação, constitui uma das mais complexas tarefas que a escola tem que assumir para responder aos desafios socioeconômicos, políticos e científicotécnicos de nosso tempo.

Segundo o ponto de vista de Vygotsky, o caminho para a construção de conceitos científicos, geralmente desenvolvidos na escola, deve nortear-se pela concepção de que “o aprendizado é uma das principais fontes de conceitos da criança em idade escolar [...] que direciona o seu desenvolvimento, determinando o destino de todo o seu desenvolvimento mental.” (VYGOTSKY, 1998, p.84).

Ao considerar aprendizagem e desenvolvimento como processos interconectados desde a infância, VYGOTSKY (2001) acredita que quando a criança chega à escola, o seu acervo de conhecimento precisa ser considerado e conhecido. Esses saberes prévios são primitivos e diferentes dos saberes escolares, por isso precisam ser ampliados e ressignificados. Esse conteúdo novo que o saber escolar reflete, ativa funções superiores que até então não eram estimuladas.

Na teoria piagetiana, existem dois termos que não podem deixar de serem mencionados e tentativamente explicados: Assimilação e acomodação. Para Piaget, toda atividade do sujeito envolve esses dois movimentos. Diante disso, Piaget, denominou a assimilação e a acomodação de funções invariantes, visto que, são funções que não mudam por causa do desenvolvimento (LEFRANÇOIS, 2008).

Segundo Piaget (2007), o principal objetivo da educação é criar indivíduos que sejam capazes de fazer coisas novas e não simplesmente repetir aquilo que outras

gerações fizeram. Isto significa dizer que a educação não pode mais trabalhar para que os alunos apenas memorizem, mas principalmente para que estes alunos além de memorizar sejam autônomos para inventar, produzir e criar novos conhecimentos, que esses alunos não conheçam somente o produto do ensino, mas participem do processo de construção do produto.

De acordo com COLL (2009), a aprendizagem contribui para o desenvolvimento na medida em que o aluno não copia ou reproduz sua realidade, pelo contrário, quando ele é capaz de elaborar uma representação pessoal sobre o objeto da realidade ou conteúdo que quer aprender. Essa elaboração consiste em aproximar-se do objeto ou conteúdo com o objetivo de apreendê-lo. E isso acontece a partir das experiências, interesses e dos conhecimentos prévios do aluno.

DEMO (2004) lembra que os alunos devem ter a oportunidade de testar hipóteses de trabalho pesquisadas e estudadas antes teoricamente, devem perceber até que ponto as visões teóricas batem com a realidade, devem aprender a coletar dados, a organizá-los e a construir análises inteligentes sobre o que foi investigado e pesquisado.

De modo geral, falar em aprendizagem é falar em processos cognitivos, pois este enfatiza e engloba componentes mentais que resultam no armazenamento e organização das informações na estrutura cognitiva. Esse processo de construção humana depende de fatores interventores tais como as relações que o sujeito estabelece na vida social e cultural. De acordo com GHEDIN (2012, apud FONSECA p.70) “a capacidade de pensar ou de raciocinar não é inata, as funções cognitivas não se desenvolvem se não forem objeto de treino sistemático e de mediatização contínua desde a educação pré-escolar até a universidade”

David Ausubel busca compreender o ato da formação de conceitos, ou seja, como se aprende significativamente além de procurar descrever, em linhas gerais, o que acontece quando o ser humano organiza internamente sua estrutura cognitiva para aprender, originando assim a partir dos estudos cognitivistas feitos pelo referido autor, a Teoria da Aprendizagem Significativa .

Para MOREIRA (2006), o conceito de aprendizagem significativa de Ausubel é compatível em alguns pontos com outras teorias cognitivistas como a de Piaget, George Kelly e Lev Vygotsky, a perspectiva da construção do conhecimento, talvez seja o maior ponto de confluência de ideias, porém se distancia em outros pontos dada a especificidade de seus estudos com foco no trabalho pedagógico em sala de aula.

Segundo AUSUBEL (2000) a aprendizagem consiste na “ampliação” da estrutura cognitiva, através da incorporação de novas ideias. Deste modo, aprender pressupõe modificação na estruturação do conhecimento, bem como o alargamento das ideias iniciais para a consolidação de conceitos mais amplos e mais elaborados.

A aprendizagem significativa é a integração do conteúdo aprendido numa edificação mental ordenada ao conteúdo previamente detido pelo indivíduo. (AUSUBEL, 2000).

Para Ausubel é o processo através do qual uma nova informação, isto é, um novo conhecimento se relaciona de maneira não arbitrária e substantiva (não-litera) à estrutura cognitiva do aprendiz (MOREIRA, 2006). Ou seja, não é de qualquer maneira que a informação interage e se organiza na mente, mas essa interação pressupõe uma hierarquia e uma organização sistemática e não aleatória que envolve percepção, memória, atenção e também a afetividade.

Segundo PELIZZARI (2001/2002) Quando o conteúdo escolar a ser aprendido não consegue ligar-se a algo já conhecido, ocorre o que Ausubel chama de aprendizagem mecânica, ou seja, quando as novas informações são aprendidas sem interagir com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva. Assim, a pessoa decora fórmulas, leis, mas esquece após a avaliação.

A essência do processo da aprendizagem significativa está, portanto, no relacionamento não-arbitrário e substantivo de ideias simbolicamente expressas, conceito ou proposição que já lhe é significativo e adequado para interagir com a nova informação. De acordo com esta teoria, as práticas de ensino podem se constituir em mecanismos mediadores da aprendizagem significativa quando o conteúdo apresentado pelo professor considera e se organiza em função do conhecimento que o estudante já possui

previamente como ponto de partida e ancoragem do novo conhecimento (MANCINI, 2005).

Ausubel [...] recomenda o uso de **organizadores prévios** que sirvam de âncora para a nova aprendizagem e levem ao desenvolvimento de conceitos subsultares que facilitem a aprendizagem subsequente. O uso de organizadores prévios é uma estratégia proposta por Ausubel para, deliberadamente, manipular a estrutura cognitiva, a fim de facilitar a aprendizagem significativa. Organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material a ser aprendido em si.[...] são apresentados em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade.[...] a principal função do organizador prévio é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber, [...] funcionam como “pontes cognitivas” (MOREIRA, 2014, p. 163, grifo do autor)

Para finalizar, Moreira, Sousa e Silveira (1982) afirma que “o uso de organizadores prévios é uma estratégia proposta por Ausubel para deliberadamente manipular a estrutura cognitiva, entendida como a estrutura de conhecimento do indivíduo, a fim de facilitar a aprendizagem significativa [...]”. Assim a construção de novos conceitos não se darão de forma isolada daquilo que o indivíduo já possui, é necessário uma reorganização dos conceitos e uma o estabelecimento de âncoras para que a nova informação se junte as primeiras e assim o conceito novo possa ser entendido.

3 O LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS NAS PROXIMIDADES DA SUPERFÍCIE DA TERRA

Este capítulo faz exploração a respeito da teoria do lançamento de projéteis, desde o problemas dos dois corpos, até o estudo mais aprofundado de corpos no plano sujeitos a ação de várias forças.

Do ponto de vista didático, tentou-se resgatar no ensino desse item, elementos que muitas vezes são deixados a margem durante o processo de ensino-aprendizagem, nos quais o discente recebe o pacote de fórmulas com pouca ou nenhuma relação à construção desse conceito físico.

3.1 O problema dos dois corpos

Por meio deste item, tentou-se mostrar que a aceleração da gravidade que é comumente utilizada nos problemas de queda de corpos, ou mesmo nas equações dos movimentos de projéteis, tem sua análise primeira, a partir da força de atração gravitacional entre dois corpos.

A seção buscou ilustrar ao docente/discente por meio do cálculo a relação entre a força de atração gravitacional e o conceito da Força (Peso) sobre um pequeno corpo nas proximidades de um corpo muito maior.

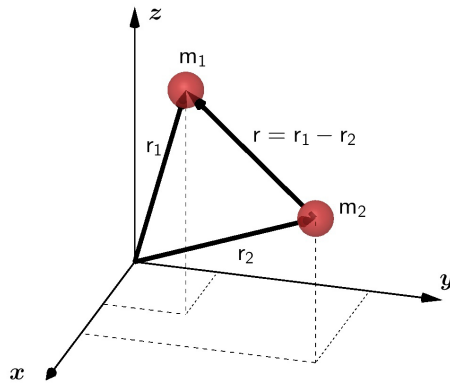
Inicialmente fez-se uma análise do problema de dois corpos que interagem gravitacionalmente, considerou-se para isso, que os corpos que interagem são esferas homogêneas. O centro de massa desse sistema coincide com o centro geométrico desse sistema. Uma disposição para o sistema está ilustrado na figura 1

Sejam \mathbf{F}_{12} e \mathbf{F}_{21} respectivamente as forças que o **corpo 2** faz no **corpo 1** e a força que o **corpo 1** faz no **corpo 2**, então

$$\mathbf{F}_{12} = \frac{Gm_1m_2}{|r|^3} \mathbf{r} = m_1 \frac{d^2r_1}{dt^2}$$
$$\mathbf{F}_{21} = \frac{Gm_1m_2}{|r|^3} \mathbf{r} = m_2 \frac{d^2r_2}{dt^2}$$
(3.1)

onde $G \approx 6,67 \times 10^{-11} \text{N/m}^2/\text{kg}^2$ é a constante de gravitação universal.

Figura 1 – Disposição dos corpos que interagem gravitacionalmente



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Para o movimento de um corpo na superfície da terra, quando se compara a massa da Terra ($M_T \approx 6,024 \times 10^{24} \text{ kg}$) e de outro corpo menos massivo m_1 , a massa desse segundo pode ser considerada desprezível, da mesma forma se analisarmos as distâncias entre seus centros de massa, a Terra permanecerá “parada” enquanto o movimento do corpo de massa m_1 sob a ação apenas da interação gravitacional pode ser calculado pela expressão

$$\mathbf{F}_{\text{Rexterna}} = \mathbf{P}_{\text{eso}} \quad (3.2)$$

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{G m_T m}{R_T^2}, \quad (3.3)$$

sendo x a distância medida em relação a superfície da Terra, considerando o fato que $x \ll R_T$.

3.2 Corpos em queda

A partir da relação força gravitacional = peso, procurando dar ao discente outra ideia a respeito do valor da aceleração da gravidade, diferente daquela que ele comumente obtém a partir da aceleração de queda dos corpos, a seção divide a queda em duas etapas: sem e com a resistência do ar, nesta parte, revisou-se tópicos relacionados ao movimento de queda livre.

Definindo $g = \frac{GM_T}{R_T^2}$, cujo direção de atuação é vertical dirigida para o centro da Terra e, estabelecendo as condições de contorno $x(0) = x_0$ e $x'(0) = v(0) = v_0$, será obtida como solução a Eq. 3.4, encontrada comumente nos livros de ensino médio para o estudo da queda livre.

$$x(t) = x_0 + v_0t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (3.4)$$

A respeito das restrições e fundamentação no estudo do “problema dos dois corpos” para Gondar e Cipolatti (2011), o estudo do movimento de queda de um corpo na presença do campo gravitacional, bem como a maioria dos movimentos abordados no Ensino Médio, pouca ou nenhuma referência fazem a situações reais, nas quais o ar e sua composição é fator a ser considerado.

No prosseguimento quando se acrescentou a resistência do ar, percebeu-se um desconforto dos discentes, mesmo para aqueles que já haviam estudado sobre as leis de Newton, dada a abordagem, na maioria das vezes dissociativa, entre força e movimento.

3.3 A resistência à queda

Para introduzir esse tópico, fez-se uma breve análise a respeito da queda sem a presença do meio, ilustrando que tal situação seria possível a partir da utilização de tecnologias que pudessem removê-lo. Foi exibido um vídeo de Brian Cox¹, disponível em <Brian Cox visits the world’s biggest vacuum | Human Universe - BBC>, que ilustra a queda de uma pena e uma bola de boliche de uma mesma altura, com e sem a presença do ar.

Em análise modelo proposto a partir da equação 3.3, poder-se-ia dizer que uma bola de boliche e uma pluma, ao cair de uma mesma altura, chegariam no solo ao mesmo tempo, questionou-se sobre a regularidade dessa ocorrência. Um aluno disse: *“quando o professor ensinou esse tópico, ele disse que quando um objeto ‘pesado’ cai*

¹ Brian Denis Cox: Professor Doutor em Física na Universidade de Manchester, com um trabalho sobre física de partículas. <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Brian_Cox_\(físico\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Brian_Cox_(físico))>

de uma altura baixa, a gente pode desprezar a força do ar”, questionado se ele teria um exemplo que comprovasse o proposto, outro aluno da mesma turma relatou: “eu lembro mais ou menos de uma experiência em que o professor soltou um livro da mão para exemplificar esse problema”.

O docente da disciplina que também fazia parte do projeto de extensão da Escola onde a sequência fora aplicada, refez, na presença dos alunos, a atividade, que consistia em largar uma folha de papel posicionada a partir da altura da cabeça, paralelamente ao solo e observar a queda, em seguida, posicionar a mesma folha sobre um livro espesso na mesma altura e abandoná-lo.

Alguns alunos sugeriram que o livro, por ser pesado, empurrava o ar rapidamente fazendo a folha não sofrer resistência.

A partir do que foi proposto, considerando o tema do trabalho, fez-se necessário fazer um ajuste no modelo, incluindo uma força de atrito do ar, atuante na direção contrária ao movimento, de intensidade dada por $F_v = bv$, com $v = \frac{dx}{dt}$, sendo a velocidade e b uma constante positiva dependente do meio, das dimensões, da composição e do formato do objeto, de acordo com Gondar e Cipolatti (2011), é uma lei empírica válida sob determinadas condições relativas ao regime do fluido. Assim, pode-se escrever a equação para o movimento

$$\mathbf{F}_{R\text{externa}} = \mathbf{P}_{\text{eso}} + \mathbf{F}_v \quad (3.5)$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = - \left(mg + b \frac{dx}{dt} \right) \quad (3.6)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} = -g, \quad (3.7)$$

com $\beta = b/m$. Solucionando esta equação teremos (Solução disponível no Apêndice 8)

$$x_\beta(t) = -e^{(-\beta t)} \left(\frac{g}{\beta^2} + \frac{v_0}{\beta} \right) + x_0 + \frac{g}{\beta^2} + \frac{v_0}{\beta} - \frac{gt}{\beta} \quad (3.8)$$

Observa-se que a função $x_\beta(t)$ difere bastante daquela definida pela 3.4, mas tais equações terão coincidir no limite quando β tender a zero ($\beta \rightarrow 0$).

Assim, basta utilizar a regra de L'Hospital, para verificar que para todo t ,

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} x_\beta(t) = x_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (3.9)$$

3.4 Movimento balístico ou movimento de projéteis

O movimento de corpos no plano é considerado por muitos discentes de difícil assimilação, pois conforme comentam “tem muita fórmula”, a ideia proposta nesta seção é mostrar o movimento em duas dimensões como um movimento composto, tanto na ausência do ar quanto na presença dele, além de ilustrar a partir de exemplos do dia a dia que tal movimento se apresenta sempre que se arremessa algo, quer seja na horizontal ou obliquamente.

O estudo de balística sempre foi alvo da atenção de cientistas, dentre eles, destaca-se Galileu Galilei, que a partir do estudo da queda de corpos e experimentações percebeu a partir da trajetória de projéteis disparados por canhões, que o movimento balístico desses projéteis podia ser decomposto em dois movimentos independentes, um não acelerado na horizontal e outro acelerado na vertical, (DUARTE, 2012)

Um caso especial de movimento em duas dimensões - uma partícula que se move em um plano vertical com velocidade inicial v_0 e com uma aceleração constante, igual à aceleração de queda livre, dirigida para baixo. Uma partícula que se move dessa forma é chamada de projétil (o que significa que é projetada ou lançada), e o movimento é chamado de movimento balístico. (HALLIDAY, 2016)

Novamente DUARTE (2012) cita que muitos esportes envolvem o movimento balístico de uma bola; seja uma bola de tênis, de golfe, de vôlei, futebol ou até mesmo uma bola de papel, que um aluno amassa e arremessa até a lixeira mais próxima. Jogadores e técnicos estão sempre procurando controlar esse movimento para obter o máximo de vantagem.

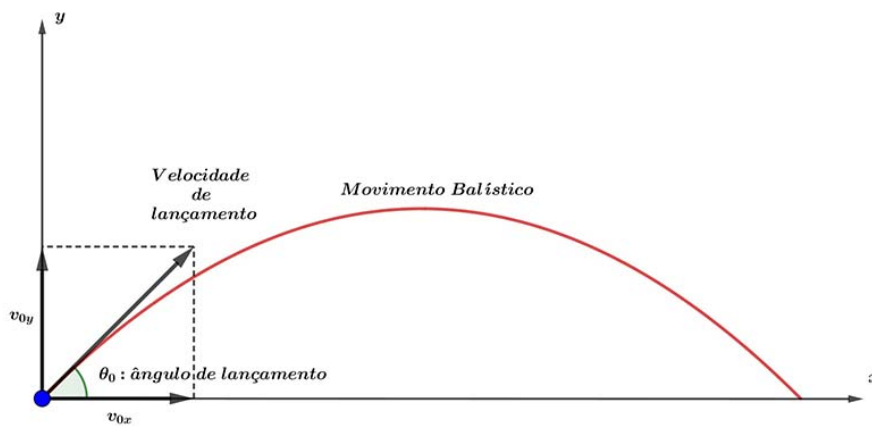
Analisando o movimento balístico inicialmente, desconsiderando a força de resistência do ar, teremos para um projétil lançado com uma velocidade inicial v_0 , que pode ser escrita na forma

$$\vec{v}_0 = v_{0x}\hat{i} + v_{0y}\hat{j} \quad (3.10)$$

cujas componentes horizontal v_{0x} e vertical v_{0y} e podem ser calculadas conhecendo-se o ângulo θ_0 entre o ponto de lançamento, designado por $x(0)$ (geralmente escolhido arbitrariamente como $x(0) = x_0 = 0$) e o semieixo x positivo, figura 2:

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta_0 \quad \text{e} \quad v_{0y} = v_0 \sin \theta_0 \quad (3.11)$$

Figura 2 – Movimento balístico de um objeto lançado da origem do sistema de coordenadas cartesianas



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

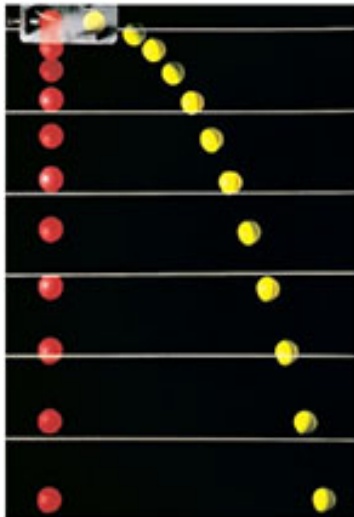
Durante o movimento bidimensional, o vetor posição e a velocidade do projétil mudam continuamente, mas o vetor aceleração é constante e está sempre dirigido verticalmente para baixo. O projétil não possui aceleração horizontal.

A propriedade conhecida com Princípio da Independência dos movimentos, permite a decomposição do movimento bidimensional em dois problemas unidimensionais independentes e mais fáceis de serem resolvidos - um para o movimento horizontal,

cuja aceleração é nula, e outro para o movimento vertical, com aceleração constante e dirigida para baixo.

A figura 3 é uma fotografia estroboscópica presente no livro Fundamentos da Física e representa o movimento de duas bolas de golfe, uma que simplesmente foi deixada cair e outra que foi impulsionada horizontalmente. Observa-se que as bolas têm o mesmo movimento vertical; dadas as distâncias verticais percorridas para um mesmo intervalo de tempo. O fato de uma bola estar se movendo horizontalmente enquanto está caindo não afeta o movimento vertical; ou seja, os movimentos horizontal e vertical são independentes (HALLIDAY, 2016).

Figura 3 – Movimento estroboscópico de duas bolas em queda



Fonte: Richard Megna/Fundamental Photographs (HALLIDAY, 2016)

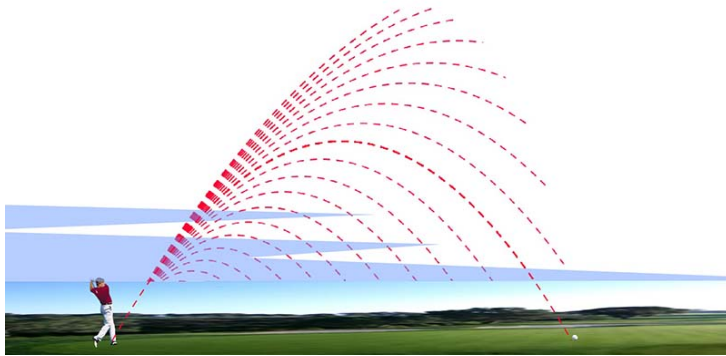
3.4.1 Parte Horizontal do Movimento

Para ser analisado horizontalmente, deve-se levar em conta que nesta direção o movimento ocorre livre de aceleração, daí a componente horizontal v_x da velocidade do projétil permanece inalterada e igual ao valor inicial v_{0x} durante toda a trajetória. O deslocamento horizontal do projétil em relação à posição inicial, $x - x_0$ será dado por $x - x_0 = v_{0x}t$, como $v_{0x} = v_0 \cos \theta_0$ teremos:

$$x - x_0 = (v_0 \cos \theta_0) t \quad (3.12)$$

Livre da resistência do ar, o alcance do projétil é determinado conhecendo-se a velocidade e o ângulo de lançamento, e a aceleração local da gravidade. Figura 4.

Figura 4 – Relação entre o alcance e as constantes para cada lançamento v_0 , θ_0 e \vec{g}



Fonte: Adaptado de www.geogebra.org/material/show/id/DUskDEp5 (2019)

3.4.2 Parte Vertical do Movimento

O movimento vertical do projétil pode ser entendido como a junção de um lançamento vertical para cima seguido de um movimento de queda livre, ambos sujeito a mesma aceleração g cujo módulo foi discutido na seção 3.2. Portanto a equação para o movimento do projétil lançado segundo a direção vertical sera dada por:

$$y - y_0 = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (3.13)$$

$$y - y_0 = (v_0 \text{sen} \theta_0) t - \frac{1}{2}gt^2$$

Para calcular a velocidade, cujo módulo varia a cada instante basta derivar a equação 3.13. Assim $v_y = \frac{dy}{dt}$ nos leva a equação 3.14

$$v_y = (v_0 \text{sen} \theta_0) - gt \quad (3.14)$$

3.4.3 Tempo de Voo, Altura Máxima e Alcance

No livro, A física do futebol, o autor retrata a importância do alcance do chute de um jogador, considerado balístico, DUARTE (2012). Ao considerar-se um dado

instante ($t = T$) por exemplo, o projétil atinge a altura máxima quando a velocidade vertical é zero ($v_y = 0$), feito essas considerações o instante T será obtido por:

$$T = \frac{v_0 \operatorname{sen} \theta_0}{g} \quad (3.15)$$

A altura máxima (y_{max}) em relação a um dado nível de referência $y(0) = 0$, atingida pelo projétil poderá ser calculada substituindo-se t por T na equação 3.13:

$$y_{max} = (v_0 \operatorname{sen} \theta_0) T - \frac{1}{2} g T^2 = \frac{v_0^2 \operatorname{sen}^2 \theta_0}{2g} \quad (3.16)$$

As equações 3.12, 3.13 e 3.14 são denominadas equações paramétricas do movimento do projétil em função da presença do parâmetro t . Pode-se no entanto escrever a posição "Y" em função da posição "X", basta substituir a partir da equação 3.12 para $x(0) = 0$ na equação 3.13 que resultará:

$$Y = (tg\theta_0) X - \left(\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0} \right) X^2 \quad (3.17)$$

A equação 3.17 será válida para ângulos entre 0° e 90° e representa uma parábola passando pela origem do sistema cartesiano.

O alcance, a máxima distância horizontal em relação ao ponto de lançamento do projétil (x_{max}), pode ser encontrado substituindo $t = 2T$ (tempo de subida = tempo de descida) na equação 3.12

$$x_{max} = v_{0x} 2T = v_0 \cos \theta_0 \cdot 2 \left(\frac{v_0 \operatorname{sen} \theta_0}{g} \right) \quad (3.18)$$

$$x_{max} = \frac{v_0^2 \operatorname{sen} (2\theta_0)}{g}$$

Observação 1

(A) As equações 3.16 e 3.18 são independentes de t , isto é, podem ser expressas em função apenas das constantes v_0 , θ_0 e g .

(B) O alcance horizontal é máximo para um ângulo de lançamento de 45° .

A partir do proposto e considerando o trabalho desenvolvido, na construção das bases de lançamento de foguetes foi adotado o ângulo que permitiria, em condições ideais, o alcance máximo, fez a observação aos alunos que a teoria do movimento balístico livre da resistência do ar deveria ser adotada para a solução da folha de avaliação da sequência didática (Apêndice A do Produto Educacional relacionado a esta dissertação), contudo alguns aspectos reais percebidos, ao lançar os protótipos, não seriam contemplados pela teoria supra citada, sendo necessário alguns conhecimentos do movimento balístico considerando a presença do ar.

3.4.4 Efeitos do Ar Sobre o Movimento Balístico

Para o discente os aspectos qualitativos da presença do ar no movimento balístico descrito nesta seção, podem ajudá-lo a compreender questões como a redução da altura e alcance máximo que um projétil terá, bem como mudanças na trajetória de voo e a relação de tais mudanças como a forma do protótipo construído e lançado, além de aventurá-lo no universo dos ajustes das equações já conhecidas por ele. Para o docente, a possibilidade de revisão a respeito das equações desenvolvidas.

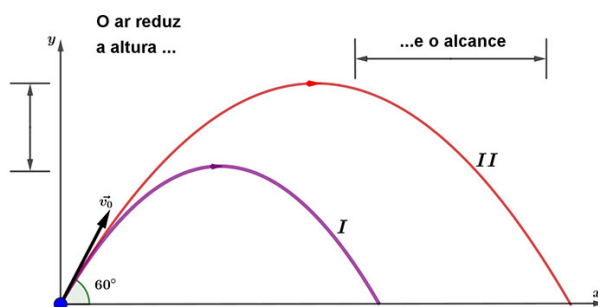
Nos estudos de lançamento de projéteis ou lançamento oblíquo, como este tópico é tratado na maioria dos livros de ensino médio, os efeitos do ar quase nunca são mencionados, em geral, aparecem como tópico suplementar. Em muitas situações práticas, porém, a diferença entre a trajetória calculada dessa forma e a trajetória real do projétil pode ser considerável, já que o ar resiste (se opõe) ao movimento. A Figura 5 mostra o lançamento de um foguete de garrafa PET propulsionado e o desvio (em vermelho) em sua trajetória original (em azul), devido à força de resistência do ar.

Fazendo uma análise linear a respeito da inserção da força de resistência do ar no movimento balístico, pode-se imaginar, devido à sua atuação contrária, que esta reduziria a máxima distância na horizontal e a altura que o objeto atingiria caso tal força fosse desprezível. Novamente citando (HALLIDAY, 2016), fazendo referência às trajetórias de duas bolas de beisebol que deixam o bastão fazendo um ângulo de 60°

Figura 5 – Momento do lançamento de um foguete de PET e sua trajetória

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

com a horizontal, com uma velocidade inicial de 44,7 m/s. A trajetória I (de uma bola de verdade) foi calculada para as condições normais de jogo, levando em conta a resistência do ar. A trajetória II (de uma bola em condições ideais) é a trajetória que a bola seguiria no vácuo. Figura 6

Figura 6 – (I) Trajetória de uma bola, levando em conta a resistência do ar. (II) Trajetória que a bola seguiria no vácuo

Fonte: Adaptado de Halliday (HALLIDAY, 2016)

No caso da força de resistência do ar nos movimentos balísticos, deve-se considerar o problema de uma partícula de massa m lançada obliquamente com velocidade (inicial) de módulo $v_0 > 0$, segundo um ângulo $\theta_0 \in (0; \pi/2)$, em relação ao

solo suposto inercial (Figura 6). Considere ainda que, uma vez lançada, a partícula estará sob ação da força peso $F = -mg\hat{j}$ ($g = \text{constante}$), e de uma força de atrito do ar, que se supos no item 3.3 ser proporcional à velocidade da partícula $F_v = -b\mathbf{v}$. Assim, na direção horizontal, a equação 3.7 será escrita como

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = m \frac{dv_x}{dt} = -bv_x, \quad (3.19)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv_x}{dt} = -\beta v_x, \quad (3.20)$$

com $\beta = b/m$, enquanto na direção vertical teremos

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = m \frac{dv_y}{dt} = -(bv_y + mg). \quad (3.21)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{dv_y}{dt} = -\beta \left(v_y + \frac{g}{\beta} \right). \quad (3.22)$$

Dadas as condições iniciais, $v_x(0) = v_0 \cos \theta_0$, $v_y(0) = v_0 \sin \theta_0$ e $x(0) = y(0) = 0$, as componentes da velocidade serão obtidas integrando-se as equações 3.20 e 3.22. Substituindo-se as condições iniciais teremos

$$v_x(t) = (v_0 \cos \theta_0) \cdot e^{-\beta t} \quad (3.23)$$

$$v_y(t) = \left(v_0 \sin \theta_0 + \frac{g}{\beta} \right) \cdot e^{-\beta t} - \frac{g}{\beta} \quad (3.24)$$

Na ausência do ar, a equação 3.23 torna-se a equação 3.12, pois $\beta \rightarrow 0$. Contudo, para a equação 3.24 deve-se ter cuidado pois $\beta \neq 0$ se apresenta nos denominadores. Para resolver deve-se determinar o limite:

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} v_y = v_0 \sin \theta_0 + g \lim_{\beta \rightarrow 0} \frac{e^{-\beta t} - 1}{\beta}$$

Utilizando o limite fundamental $\lim_{h \rightarrow 0} \frac{a^h - 1}{h} = \ln a$, basta multiplicar e dividir a segunda parte da equação por $(-t)$. Assim

$$g \cdot \lim_{\beta \rightarrow 0} \frac{e^{-\beta t} - 1}{\beta} \cdot \frac{(-t)}{(-t)} = g \cdot \ln e \cdot (-t) = -g \cdot t,$$

logo,

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} v_y = v_0 \operatorname{sen} \theta_0 - g \cdot t \quad (3.25)$$

Integrando as equações 3.23 e 3.24 com as condições iniciais, serão obtidas as equações

$$x(t) = v_0 \cos \theta_0 \left(\frac{1 - e^{-\beta t}}{\beta} \right) \quad (3.26)$$

e

$$y(t) = \left(v_0 \operatorname{sen} \theta_0 + \frac{g}{\beta} \right) \left(\frac{1 - e^{-\beta t}}{\beta} \right) - \frac{g}{\beta} t \quad (3.27)$$

Observação 2 A equação 3.27 é equivalente a equação 3.8 para corpos em queda com resistência do ar atuando.

Para se obter a equação da trajetória, resolve-se a equação 3.26 isolando-se o tempo

$$t = -\frac{1}{\beta} \ln \left(1 - \frac{1 - \beta x}{v_0 \cos \theta_0} \right) \quad (3.28)$$

Após substituição na equação 3.27, e feito os devidos cálculos, será obtida a equação

$$y(x) = \left(tg \theta_0 + \frac{g}{\beta v_0 \cos \theta_0} \right) x + \frac{g}{\beta^2} \ln \left(1 - \frac{\beta x}{v_0 \cos \theta_0} \right) \quad (3.29)$$

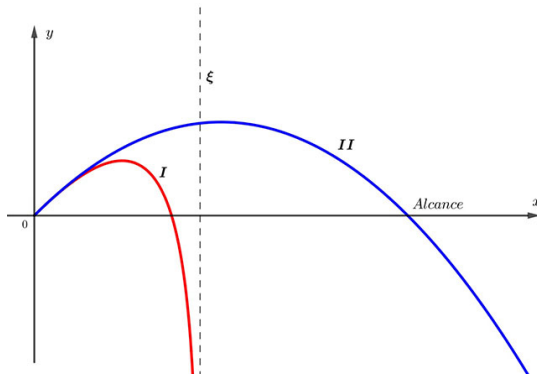
O perfil da trajetória Figura 7 não é algo tão imediato; é necessário que se faça algumas aproximações. Contudo, analisando seus componentes, destaca-se que $\beta > 0$, logo, ao analisar a equação 3.23, observa-se que

$$\frac{dx}{dt} = v_x = (v_0 \cos \theta_0) e^{-\beta t} > 0$$

Assim, $x(t)$ é crescente para todo t . Além disso, $x(0) = 0$ e

$$x_{max} = \lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \frac{v_0 \cos \theta_0}{\beta}. \quad (3.30)$$

Figura 7 – (I) Trajetória sob efeito da resistência do ar e assíntota de alcance máximo. (II) Trajetória no vácuo



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Partindo da ideia que o máximo valor teórico de x equivale ao valor determinado na equação 3.30, tem-se que a trajetória da partícula se aproximará assintoticamente da reta vertical $\xi = x_{max} = \frac{v_0 \cos \theta_0}{\beta}$, que poderia ser observado caso o projétil não viesse a colidir com o solo ($y = 0$) e $y(x)$ seria dado pelo limite

$$\lim_{x \rightarrow x_{max}} y(x) = -\infty$$

A partir da orientação do perfil da curva, a concavidade da função $y(x)$ é negativa, pode ser encontrada calculando-se $\frac{d^2y}{dx^2}$, e a altura máxima corresponde ao ponto onde a primeira derivada $\frac{dy}{dx} = 0$. Dessa forma, $(x_c, y(x_c))$ representará o ponto de y máximo da trajetória, com x_c dado por

$$x_c = \frac{v_0^2 \text{sen}(2\theta_0)}{2(g + \beta v_0 \text{sen} \theta_0)}. \quad (3.31)$$

O valor de máximo na trajetória será

$$y(x_c) = \frac{v_0 \text{sen}(\theta_0)}{\beta} + \frac{g}{\beta^2} \ln \left(\frac{g}{\beta v_0 \text{sen} \theta_0 + g} \right). \quad (3.32)$$

A equação 3.28 pode também ser obtida fazendo-se a derivada de $y(t)$ igual a zero

$$v(y) = \frac{dy}{dt} = 0 \Rightarrow \left(v_0 \text{sen}(\theta_0) + \frac{g}{\beta} \right) e^{-\beta t} - \frac{g}{\beta} = 0 \Rightarrow t = -\frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{g}{\beta v_0 \text{sen}\theta_0 + g} \right)$$

O quadro 1 faz uma comparação entre as equações do lançamento balístico no vácuo e com a resistência do ar presente.

Quadro 1: Comparação entre Lançamento Balístico sem/com resistência do ar

No vácuo	No ar
Componentes de v_0	
$v_{0x} = v_0 \cos\theta_0$ $v_{0y} = v_0 \text{sen}\theta_0$	$v_{0x} = (v_0 \cos\theta_0)$ $v_{0y} = (v_0 \text{sen}\theta_0)$
Componentes de $v(t)$	
$v_{x(t)} = v_0 \cos\theta_0$ $v_{y(t)} = v_0 \text{sen}\theta_0 - gt$	$v_{x(t)} = (v_0 \cos\theta_0) e^{-\beta t}$ $v_{y(t)} = (v_0 \text{sen}\theta_0) e^{-\beta t} - \frac{g}{\beta}$
Equações da posição	
$x(t) = v_0 \cos\theta_0 \cdot t$ $y(t) = v_0 \text{sen}\theta_0 \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$	$x(t) = (v_0 \cos\theta_0) \left(\frac{1 - e^{-\beta t}}{\beta} \right)$ $y(t) = \left(v_0 \text{sen}\theta_0 + \frac{g}{\beta} \right) \left(\frac{1 - e^{-\beta t}}{\beta} \right) - \frac{g}{\beta} t$
Instante e altura máxima	
$T = \frac{v_0 \text{sen}\theta_0}{g}$ $y_{max} = \frac{v_0^2 \text{sen}^2\theta_0}{2g}$	$t = -\frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{g}{\beta v_0 \text{sen}\theta_0 + g} \right)$ $y(x_c) = \frac{v_0 \text{sen}(\theta_0)}{\beta} + \frac{g}{\beta^2} \ln \left(\frac{g}{\beta v_0 \text{sen}\theta_0 + g} \right)$
Equação parabólica $y(x)$	
$y(x) = (tg\theta_0) x - \left(\frac{g}{2v_0^2 \cos^2\theta_0} \right) x^2$	$y(x) = \left(tg\theta_0 + \frac{g}{\beta v_0 \cos\theta_0} \right) x + \frac{g}{\beta^2} \ln \left(1 - \frac{\beta x}{v_0 \cos\theta_0} \right)$

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

4 UM FOGUETE DE GARRAFA DE PET

Da Philosophiae lançada pelos gregos até a Relatividade de Einstein, o ser humano foi adquirindo ferramentas para poder expandir seus horizontes terrestres em busca da conquista espacial (SHEARER; VOGT, 2001).

Os foguetes são a forma mais antiga de veículos autônomos que já existiram. Historicamente foram utilizados a mais de dois mil anos, desde os primeiros tubos de bambu que conduziam as “flechas de fogos” nas guerras entre chineses e mongóis, até poderosos veículos capazes de lançar espaçonaves para sondar os mais remotos cantos do universo (NASA, 2001).

Neste capítulo explorou-se um pouco sobre a cronologia dos foguetes, do advento às suas contribuições boas e ruins para a sociedade ao longo do tempo. Intentou-se oferecer ao professor/aluno algumas informações sobre a tecnologia dos foguetes e o uso dela na expectativa de ampliação da percepção a respeito do seu funcionamento, buscando relacioná-las ao proposto neste trabalho.

Na seção foguete de garra PET, fez-se uma análise dos principais conceitos físicos relacionados a propulsão, lançamento e voo balístico, bem como as referências aos conceitos abordados em outras áreas de conhecimento, como química (a respeito das reações envolvidas) e matemática (equacionamento e uso de funções).

4.1 Uma breve cronologia dos foguetes

Esta seção retrata historicamente alguns pontos de destaque da cronologia dos foguetes, a partir de trechos do Manual do Professor com Atividades de Ciências, Matemática e Tecnologia da NASA (NASA, 2001).

Tubos de bambu cheios com salitre, enxofre e carvão, provavelmente é o primeiro relato sobre combustível sólido para os foguetes, e a referência registrada mais antiga sobre a pólvora, vem da China do final do terceiro século antes de Cristo. Tais tubos eram atirados em fogos cerimoniais durante festivais religiosos, na esperança

que o barulho da explosão afugentasse os espíritos malignos.

A seguir, apresentam-se algumas datas, a partir do referencial supracitado, que compuseram a cronologia dos foguetes abordada nesta seção.

- 1045 d.C., possivelmente o ano que se tem informação sobre o uso de pólvora e de foguetes integrando o arsenal bélico e presente nas táticas militares chinesas.
- Início do séc. XIII, a dinastia Sung chinesa, combate a ameaça dos invasores mongóis na batalha de Kai-fung-fu em 1232 d.C. Os especialistas da artilharia chinesa introduzem e aperfeiçoam vários tipos de projéteis, incluindo granadas explosivas e canhões.

Quando um foguete era disparado, fazia um barulho semelhante a um trovão que podia ser ouvido a cinco léguas (24 km). Quando caía na Terra, o ponto de impacto era devastado até uma extensão de 2000 pés (600 metros) em todas as direções. Aparentemente estes grandes foguetes militares levavam material incendiário e metralha de ferro. Estes foguetes podem ter incluído a primeira câmara de combustão, porque algumas fontes descreviam o dispositivo como incorporando um "pote de ferro" para conter e dirigir o impulso do propulsor de pólvora. (NASA, 2001)

- 1241 d.C., armas semelhantes a foguetes usadas pelos mongóis contra as forças húngaras na batalha de Sejo.
- 1258 d.C., uso dos foguetes pelos invasores mongóis para capturar a cidade de Bagdad.
- 1429, registros mostram uso de foguetes pela armada francesa no cerco de Orleans durante a Guerra dos Cem Anos contra a Inglaterra.
- 1647, um estudo da "Arte das Armas de Fogo" ("Art of Gunnery") publicado em Londres, contém um segmento de 43 páginas sobre os foguetes.
- 1650, aparecem os foguetes militares holandeses.
- 1668, iniciaram as primeiras experiências militares alemãs com foguetes.

- 1730, o coronel Christoph Fredrich von Geissler, fabrica foguetes que pesavam entre 25 e 54 quilogramas.
- 1792 e 1799, as duas batalhas de Seringapatam da França e Inglaterra contra as forças Mogol do Sultão Tippoo de Mysore, na luta pelo controle das riquezas da Índia.
- 1810, por meio de Sir William Congrieve, inicia o desenvolvimento de uma série de foguetes de barragem, que variavam desde 8 até 136 quilogramas. Tais foguetes foram utilizados contra Napoleão.
- 1812, durante a guerra, os foguetes chegam ao Novo Mundo.
- 1814, durante a Batalha de Bladensburg, a 85ª Infantaria Ligeira Inglesa utilizou os foguetes contra um batalhão americano, de espingardas.
- 1847, uma bateria de foguetes foi usada contra as forças mexicanas no cerco de Veracruz.
- 1864, único uso documentado de foguetes em Charleston, S.C. pelas tropas da União, sob o comando do Maj. Gen. Alexander Schimmelfennig.
- 1919, Robert H. Goddard publica em um jornal o artigo com o título "Um Método Para Atingir Altitudes Extremas", no qual delineou suas ideias na técnica de criação de foguetes e sugeriu, não muito seriamente, que um foguete de demonstração seria enviado à Lua.
- 1923, o romeno Hermann Oberth escreveu um livro altamente profético: "Os Foguetes no Espaço Interplanetário". O livro encantou muitos que tinham sonhos de voar pelo espaço, incluindo o precoce jovem alemão, Wernher Von Braun, que leu o livro em 1925.
- 1926, Goddard lança um foguete com combustível líquido que ele próprio criou e construiu. O foguete voou apenas 46 metros.
- Entre 1937 e 1945, Von Braun e sua equipe produzem famoso foguete A-4, que ganhou uma distinção na história sob outro nome - a arma da vingança número

- 2 - abreviado para V-2 (Vengeance 2), um grande foguete movido a combustível líquido.
- 1945, a Armada Alemã estava em completa retirada por toda a parte, numa estalagem perto de Oberjoch, Haus Ingeburg, von Braun e mais de 100 dos seus especialistas em foguetes esperavam um fim.
 - 1946, a equipe de von Braun estava reunida em White Sands e, em 16 de Abril, o primeiro V2 foi lançado nos Estados Unidos. Nascia, assim, o programa espacial americano.
 - 1955, Korolev seria aclamado como o designer-chefe das naves espaciais na União Soviética, e o responsável pela criação das naves espaciais Vostok, Voshkod e Soyuz.
 - 1957, 4 de outubro. Lançamento do primeiro satélite artificial da Terra, o Sputnik 1, lançado pela União Soviética.
 - 1958, marco da criação da *National Aeronautics and Space Administration* - NASA e, dois anos mais tarde, von Braun, a sua equipe foram transferidos para formarem o núcleo do programa espacial da agência.
 - 1961, Alan Shepard, num voo suborbital, tornou no primeiro americano no espaço.
 - 1969, uma transmissão do Mar da Tranquilidade, na Lua, informou: "A Águia pousou."
 - 1973, abordo do super foguete lunar Saturn V, o módulo Skylab foi posto em órbita.
 - 1977, voo teste do ônibus espacial Enterprise.
 - 1986, primeiro acidente com ônibus espaciais, o ônibus espacial Challenger explode, 73 segundos após o seu lançamento, matando todos os 7 astronautas.
 - 2003, a catástrofe se repete, explode o ônibus espacial Columbia.

- 2006, 29 de março, às 23h 30min, finalmente um brasileiro no espaço. No Centro de Lançamento de Baikonur, Cazaquistão, Marcos Cesar Pontes - um tenente-coronel da Força Aérea Brasileira (FAB), atualmente na reserva - a bordo da "Missão Centenário", em referência à comemoração dos cem anos do voo de Santos Dumont, torna-se o primeiro brasileiro a ir ao espaço.
- 2011, depois voo final da Endeavour o programa de ônibus espaciais da NASA foi integralmente encerrado.

Dos fogos comemorativos ao desperdício da genialidade humana nas guerra, da fronteira final ao desconhecido, sobre a construção e utilização dos foguetes, "...Ninguém pode dizer onde o nosso caminho nos levará ou quando será escrito o último capítulo desta história" (HAMILTON, 1996).

4.2 Uma atividade com foguetes

Ao ensinar um dado conteúdo, muitos professores se deparam com a pergunta: Onde eu aplico isso? Esta atividade não tem pretensão de responder à pergunta, e sim, fornecer uma saída pedagógica a professores de Física, Química e Matemática, e tenta mostrar de forma prática um caso particular de aplicação: o movimento balístico ou movimento no plano, que pode ser modelado matematicamente por função do tipo quadrática.

Partindo da gênese do foguete, do conhecimento sobre a propulsão e das ideias sobre os elementos estruturais que permitem os protótipos alcançarem grandes distâncias em voo balístico, realizou-se a atividade de construção e lançamento de foguetes.

Esta seção explorou a teoria envolvida na propulsão e no voo de um foguete de garra PET ¹, relacionando o tema da pesquisa a outras áreas do conhecimento, destacando a química da reação que dá origem a autopropulsão dos constructos e a matemática da descarga do "combustível" após reação.

¹ Polietileno tereftalato, ou PET, é um polímero termoplástico, desenvolvido por dois químicos britânicos Whinfield e Dickson em 1941, formado pela reação entre o ácido tereftálico e o etileno glicol. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Politereftalato_de_etileno>

O ato de lançamento dos foguetes abordados nesse estudo, ocorre basicamente via reação química entre o bicarbonato de sódio $NaHCO_3$ e o ácido acético CH_3COOH (vinagre), no interior da garrafa PET, que molda o corpo do foguete. Essa reação química, expressa pela equação química



gera uma grande quantidade de $CO_{2(g)}$, que desempenha o papel de propulsor dos protótipos.

Buscou-se, através da experimentação, chamar a atenção do estudante para os mais variados fenômenos, nos quais um fenômeno físico esta aliado a outro (químico). Na sequência, elaborou-se uma breve descrição dos reagentes envolvidos e os produtos formados pela reação química da equação 4.1.

4.2.1 Composição do Vinagre

As principais características analíticas de vinagres de vinho branco e de vinagres de vinho tinto brasileiros estão indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características analíticas de vinagres de vinho branco e de vinho tinto brasileiros.

Variáveis	Vinagres de vinho branco		Vinagres de vinho tinto	
	*Intervalo de confiança	Média	*Intervalo de confiança	Média
Densidade a 20°C (g/L)	1009,4 - 1010,4	1009,9	1009,8 - 1010,7	1010,3
Etanol (g/ℓ)	0,7 - 2,2	1,5	0,4 - 2,2	1,3
Acetato de etila (mg/ℓ)	112 - 265	189	62 - 311	186
Acidez total (g % em ácido acético)	4,34 - 4,63	4,49	4,40 - 4,79	4,59
Acidez volátil (g % em ácido acético)	4,24 - 4,44	4,34	4,20 - 4,62	4,40
pH	2,69 - 2,83	2,7	2,72 - 2,81	2,79

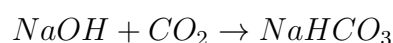
Fonte: adaptada de Rizzon e Miele (1998) - Embrapa

A acidez volátil corresponde ao teor de ácido acético que é o componente mais importante do vinagre. Ele provém da oxidação do álcool do vinho no processo de acetificação. O vinagre para consumo deve ter entre 4% e 6% de ácido acético. A legislação brasileira estabelece em 4% o teor mínimo de ácido acético para vinagre EMBRAPA (EMBRAPA, 2006).

4.2.2 Produção Industrial do Bicarbonato de Sódio

O bicarbonato de sódio é um sal de massa molar 84,007 g/mol. De acordo com a literatura, conforme ilustra POIANI (2005), existem métodos diversos para a produção do bicarbonato de sódio, dentre eles, os de maior interesse ambiental utilizam o dióxido de carbono como matéria-prima. Para a produção de bicarbonato, os dois métodos mais empregados pela indústria química são: **1. método soda** e **2. método carbonato**.

1. Método soda - O processo é representado basicamente pela reação:



2. Método carbonato - A reação química do processo:



Destaca-se, em termos de maior pureza, na formação dos cristais de bicarbonato de sódio, o método 1. Este produto é comercializado na faixa de pureza de 95% a 99% de acordo com laudo disponível em <<http://www.alcouro.com.br/files/pdf/bicarbonato-de-sodio-extra-fino.pdf>>. Considerou-se neste trabalho, para efeitos de cálculo estequiométrico, a média do *rating* de pureza 97,5%.

4.2.3 A Química da Reação

A partir da equação 4.1 pode-se encontrar a relação entre as quantidades de reagentes que devem ser empregados na reação química. Observando o fato que a reação ocorre na proporção de um mol de $NaHCO_3$ para um mol de CH_3COOH , é possível determina-las utilizando o valor médio da acidez total do ácido acético e a densidade do vinagre a partir da tabela 1. Ter-se-á para um volume de 750 ml de vinagre

$$n_{(CH_3COOH)} = \frac{Vol(\ell) \times dens(g/\ell) \times \%acidez}{massa\ molar} = \frac{0,750 \times 1009,9 \times 0,0449}{60,052} \approx 0,566\ mol, \quad (4.2)$$

o que leva a massa mínima necessária de $NaHCO_3$ para a reação com o vinagre, dada por

$$m_{(NaHCO_3)} = \frac{n_{(CH_3COOH)} \times \text{massa molar}(NaHCO_3)}{\% \text{pureza do } NaHCO_3} = \frac{0,566 \times 84,007}{0,975} \approx 48,77 \text{ g} \quad (4.3)$$

Observação 3 *Aconselhou-se durante os experimentos adição 50% a mais de bicarbonato, dada a incerteza sobre qualidade (% de pureza) do sal adquirido pelos alunos, cuja aquisição se deu a partir de mercearias e supermercados.*

A massa de líquido inicial corresponde a massa de vinagre, dada por

$$m_{(CH_3COOH)} = 0,75 \times 1009,9 = 757,43 \text{ g},$$

dos quais, considera-se que os 95,51% em volume, não produziram gases ao interagirem. A partir disso, a participação do líquido, durante o lançamento, foi como massa ejetada. Enquanto os 4,49% formaram os gases impulsionadores dos protótipos lançados, de acordo com as leis estabelecidas nas próximas seções deste trabalho.

4.2.4 Gás Ideal e Gás Real

O gás ideal ou perfeito, como é referenciado em muitos livros, trata-se de uma abstração, de um modelo físico/matemático advindo da Teoria Cinética dos Gases. Como propõe (MYERS; MAHAN, 1995)

[. . .]um gás ideal pode ser caracterizado pelas seguintes propriedades: possui um número muito grande de moléculas, consideradas esferas rígidas de diâmetro d , às quais apresentam movimento aleatório ou desordenado, regido pelas Leis de Newton; as partículas possuem massa m maior que zero e volume individual desprezível, quando comparado ao volume do recipiente que as contêm; as interações intermoleculares, de atração e de repulsão, são desprezíveis, exceto quando ocorrem colisões mútuas e com as paredes do recipiente; a energia interna encontra-se na forma de energia cinética translacional; as moléculas se propagam em linha reta; e as colisões são perfeitamente elásticas (MYERS; MAHAN, 1995).

Termodinamicamente, um gás ideal refere-se àquele gás cujas propriedades estão relacionadas pela equação de estado

$$P.V = n.R.T, \quad (4.4)$$

conhecida por Equação de Clayperon.

Nesta equação: **P** é a pressão, **T** a temperatura, **V** o volume ocupado pelo gás, **n** a quantidade de matéria do gás e **R** a constante universal dos gases.

De acordo com o resultado obtido em 4.2, a quantidade de $CO_{2(g)}$ é calculada por

$$m_{(CO_2)} = n_{(CH_3COOH)} \times massa\ molar(CO_2) = 0,566 \times 44 \approx 24,904\ g \quad (4.5)$$

essa massa de gás será responsável pelo impulso do foguete. Considerando a capacidade interna efetiva de uma garrafa PET 2,0 ℓ é de 2,10 ℓ e que o volume de líquido praticamente não sofreu variação durante a reação química, o volume de CO_2 associado ao ar atmosférico contido na garrafa após a reação será

$$V_{(gás)} = 2,10 - 0,75 = 1,35\ell$$

Considerando ainda que a temperatura não sofreu variação significativa, poder-se-ia imaginar, caso a mistura de gases dentro da garrafa (ar + CO_2) se comportasse com um gás ideal, a pressão atingida pela amostra seria a partir da equação 4.4

$$n = \frac{P.V}{R.T}$$

$$n_{(ar)} = \frac{1 \times 1,35}{0,082 \times 293} = 0,056\ mol \quad (4.6)$$

$$P_{(gás)} = \frac{(0,056 + 0,566) \times 0,082 \times 293}{1,35} = 11,06\ atm$$

Observação 4 Neste procedimento adotou-se para a pressão atmosférica local **1 atm** e temperatura $20\text{ }^{\circ}\text{C} = 293\text{K}$ e a constante universal dos gases $R = 0,082\text{ atm}/\ell\text{ K.mol}$.

No entanto, para melhor aproximar os valores determinados de um gás real, foi realizada avaliação de comportamento para o ar e o CO_2 por meio da equação de Van der Waals²

$$\left(P + a \frac{n^2}{V^2}\right) (V - nb) = nRT \quad (4.7)$$

na qual **a** e **b** são as constantes característica de cada gás, **P** a pressão, **V** o volume, **T** a temperatura e **R** a constante universal dos gases. Os valores das constantes *a* e *b* dependem apenas da composição do gás. A tabela 2, ilustra o valor das constantes para alguns gases conhecidos.

Tabela 2 – Constantes de van der Waals para alguns gases.

Gás	$a/\text{atm} \times \text{dm}^6 \times \text{mol}^{-2}$	$b/10^{-2}\text{dm}^3 \times \text{mol}^{-1}$	$M/\text{g/mol}$
Ar	1,337	3,20	39,95
H_2	0,2420	2,65	2,016
N_2	1,352	3,87	28,013
O_2	1,364	3,19	31,999
CO_2	3,610	4,29	44,010

Fonte Adaptado de ATKINS P.; PAULA (2010)

Para os valores adotados segundo a observação 4, para o ar, utilizando os valores das constantes *a* e *b* presentes na tabela 2, o número de mols no recipiente antes da reação química na equação 4.7, tem-se

$$\left(1 + 1,337 \times \frac{n^2}{1,35^2}\right) (1,35 - n \times 0,032) = n \times 0,082 \times 293$$

ajustando, se obtém a equação polinomial

$$0,0235n^3 - 0,991n^2 + 24,056n - 1,35 = 0$$

² Johannes Diederik van der Waals, nasceu em Lieden. Foi um físico holandês que formulou equações descrevendo os estados líquido e gasoso, trabalho fundamental para a medição do zero absoluto.<Biografia>

cuja solução, por meio de cálculo numérico, é dada por

$$n = 0,06 \text{ mol}$$

valor próximo daquele determinado por meio da equação de Clayperon na forma da equação 4.6.

A partir do resultado obtido na equação 4.2, $n_{(CO_2)} = 0,566$, tem-se que o acréscimo de ar na mistura não representará um impacto significativo, de modo que podemos desprezá-lo. Assim a partir dos valores da tabela 2 e da equação de Van der Walls, para o CO_2 tem-se

$$\left(P + 3,61 \times \frac{0,566^2}{1,35^2} \right) (1,35 - 0,566 \times 0,0429) = 0,566 \times 0,082 \times 293$$

Resolvendo, encontra-se o valor teórico de $P_{(CO_2)} \approx 9,62 \text{ atm} \approx 141 \text{ psi}$.

Segundo SANTOS (2005), em análise das propriedades mecânicas de uma garrafa PET de 2ℓ , a pressão máxima suportada foi de $1019 \text{ kPa} \approx 148 \text{ psi}$. Dessa forma fez-se necessário os procedimentos de segurança ao manipular a garrafa PET durante a fase de lançamento, como pode ser observado em <<https://www.youtube.com/watch?v=cqe6rMIEJCE>>.

A maneira mais segura de se realizar um experimento, onde a produção de gases provocam um aumento de pressão no interior de um recipiente, cuja resistência não se conhece, é por meio da utilização de manômetros, no qual o mostrador pode indicar os valores da pressão do gás ao longo do tempo do experimento.

A tabela 3 apresenta os valores da pressão medida no manômetro para 3 reações de bicarbonato e vinagre no interior do foguete antes dos respectivos lançamentos.

A figura 8 mostra a leitura do manômetro no instante de um dos lançamentos. O valor da pressão no momento da fotografia aproximava-se de $80 \text{ psi} \approx 5,44 \text{ atm}$.

Tabela 3 – Pressão medida antes dos lançamentos

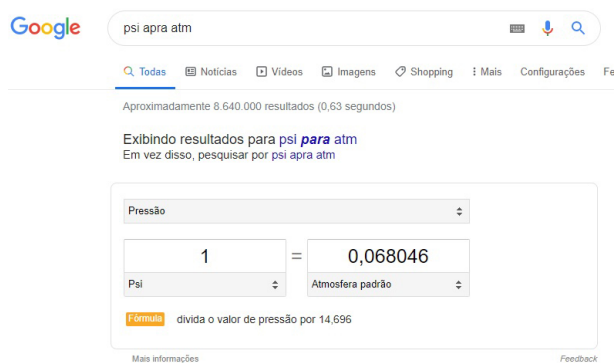
lançamento	pressão aferida por lançamento		pressão(psi)
	Bicarbonato(g)	vinagre(ml)	
1	49	650	78
2	80	700	82
3	100	750	85
Média			81,67

Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

Figura 8 – Manômetro em uso durante um lançamento

Fonte: Acervo do Autor

NOTA: A utilização da tecnologia tem auxiliado na obtenção de uma resposta imediata em alguns casos, como o das conversões de unidades. Ao solicitar ao aluno o valor convertido de uma unidade para outra, ele digita na página do Google, por exemplo, “psi para atm” e a resposta é exibida imediatamente - Figura 9.

Figura 9 – Página do Google ilustrando o conversor de unidades

Fonte: Páginas de Pesquisa do Google (2019)

4.2.5 Velocidade de Descarga do “Combustível” do Foguete

O termo combustível não deveria se aplicar quando se trata da experiência com foguete de garrafa PET propulsionado pela reação de bicarbonato de sódio e vinagre, já que a combustão é a queima ou reação química exotérmica de uma substância (combustível) pela ação do oxigênio (comburente) <<https://www.infoescola.com/reacoes-quimicas/combustao/>>.

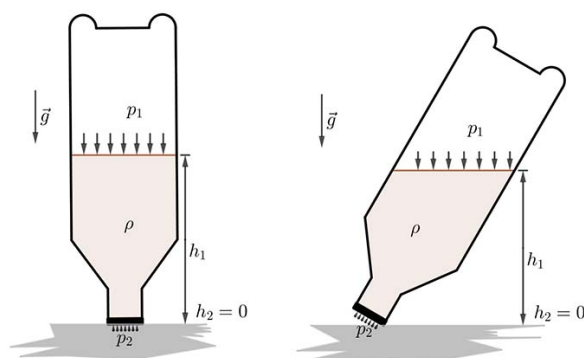
Pode-se afirmar, do ponto de vista termodinâmico, que a reação química ocorrida altera a velocidade das partículas do líquido no interior do foguete, que apresentam uma certa distribuição de velocidades. Para efeitos de cálculos, considerou-se o valor médio das velocidades, o qual foi chamado de v_e considerada aqui a velocidade das partículas ejetadas para fora do foguete.

Para o cálculo aproximado de v_e , foi utilizado a equação de Bernoulli

$$\frac{v_1^2}{2} + gh_1 + \frac{p_1}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + \frac{p_2}{\rho} \quad (4.8)$$

Considerou-se para isso algumas condições iniciais: $h_2 = 0$ (nível de referência), $v_2 = v_e$, $v_1^2 \ll v_2^2$ (desprezou-se v_1), p_1 igual a pressão atmosférica local ($p_1 = 1atm$), que a inclinação da garrafa não alteraria significativamente o resultado em relação a garrafa na vertical e a densidade do líquido no interior da garrafa não se alterou significativamente após a reação - Figura 10.

Figura 10 – Representação do interior da garrafa PET durante a reação química



Fonte: <https://www.geogebra.org/m/ytrs3k2q> (2019)

Resolveu-se para v_e encontrando:

$$v_e = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho} - 2gh_1} \quad (4.9)$$

A partir da densidade média do vinagre na Tabela 1, da pressão média da Tabela 3 convertida em unidades S.I. e para altura estimada $h_1 = 11,8\text{cm} = 0,118\text{m}$, determinou-se

$$v_e = \sqrt{\frac{2(81,67 \times 0,068 \times 10^5 - 1,0 \times 10^5)}{1,0103 \times 10^3} - 2 \times 9,81 \times 0,117} = 29,998 \text{ m/s} \quad (4.10)$$

A partir do resultado encontrado, o fato do foguete de garrafa PET ejetar certa massa (total das partículas ejetadas), revela que tais dispositivos são considerados sistemas de massa variável, e que, ao ejetar massa continuamente por um certo intervalo de tempo, recebe, neste mesmo intervalo de tempo, a ação de uma força contínua e em sentido oposto a ejeção da massa.

É necessário considerar que ao se desprender da base de lançamento com uma certa velocidade v , em relação à superfície da Terra, o foguete, num curto intervalo de tempo, ejeta toda sua carga. Considere que a taxa de descarga é constate e vale

$$R = \left| \frac{dm}{dt} \right| \quad (4.11)$$

Ao resolver esta equação diferencial, deve-se lembrar que a massa do foguete diminui com o tempo, e considerar que $m(t_0) = m_0$. Daí, obtém-se:

$$m(t) = m_0 - Rt \quad (4.12)$$

sendo $m(t)$: a massa do foguete no instante t e m_0 : a massa do foguete no instante antes da saída da base de lançamento (massa do foguete mais líquidos e gases no seu interior).

A variação da velocidade do foguete, devido a mudança da massa ao longo do tempo t , pode ser encontrada considerando a variação do momento linear (p) do

foguete durante a ejeção da massa propelente. Sendo $p_i = m.v$ o momento linear do foguete em um certo instante t , com $m = m_{constructo} + m_{substancias}$;

Considere uma variação muito pequena de t tal que, no instante $t + dt$, tem-se:

$$p_f = (m - dm)(v + dv) - dm.v_e \quad (4.13)$$

sendo $m - dm$, a massa final do foguete; $v + dv$, a velocidade que ele atingirá e $dm.v_e$ o momento das partículas ejetadas do foguete.

A variação do momento do foguete será dada por

$$dp = p_f - p_i = (m - dm)(v + dv) - dm.v_e - mv \quad (4.14)$$

a partir da equação 4.11 $dm = rdt$, desenvolvendo a equação 4.14

$$dp = m.dv - rdt.v - rdt.v_e \quad \Rightarrow \quad dp = m.dv - rdt(v + v_e) \quad (4.15)$$

Dividindo a equação 4.15 por dt e fazendo $V_E = v + v_e$ - velocidade de escape das partículas em relação ao foguete, obter-se-á:

$$\frac{dp}{dt} = m \frac{dv}{dt} - r.V_E \quad (4.16)$$

A partir da segunda lei de Newton, escrita na sua forma original $F_{R_{ext}} = \frac{dp}{dt}$

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{dp}{dt} + r.V_E \quad \Rightarrow \quad m \frac{dv}{dt} = F_{R_{ext}} + r.V_E \quad (4.17)$$

Na equação 4.17, $(r.V_E = E)$ é a força de empuxo, gerada a partir da 3ª lei de Newton - Princípio da "Ação e Reação", que produz o impulso do foguete. Dessa forma, pode-se chamar a equação 4.17 de equação geral do foguete e fazer as seguintes análises durante a fase propulsionada, para os casos destacados abaixo e suas respectivas soluções geral. Para determinar o valor das constantes C, basta partir de um valor inicial, por exemplo, para $t = t(0) = 0$, $v(0) = v_0$, resolvendo para C, encontra-se o valor da constante, que em geral, depende de x_0 .

1. $F_{R_{ext}} = 0$ sob a ação apenas do empuxo;

$$m \frac{dv}{dt} = r.V_E \quad \Rightarrow \quad v(t) = -v_e + \frac{C}{m_0 - rt} \quad (4.18)$$

2. $F_{R_{ext}} = P_{eso} = -mg$ sob ação do campo gravitacional e empuxo, livre da resistência do ar

$$m \frac{dv}{dt} = -mg + r.V_E \quad \Rightarrow \quad v = v(t) = \frac{g}{2r} (m_0 - rt) - v_e + \frac{C}{m_0 - rt} \quad (4.19)$$

3. $F_{R_{ext}} = P_{eso} + F_v = -(mg + bv)$ sob ação do campo gravitacional, empuxo e resistência do ar a baixa velocidade

$$m \frac{dv}{dt} = -(mg + bv) + r.V_E \quad \Rightarrow \quad v = v(t) = \frac{g}{2r - b} (m_0 - rt) - \frac{rv_e}{r - b} + \frac{C}{(m_0 - rt)^{1 - \frac{b}{r}}} \quad (4.20)$$

As equações dependem do tempo de propulsão, a figura 11 mostra quadro-a-quadro a evolução de um lançamento.

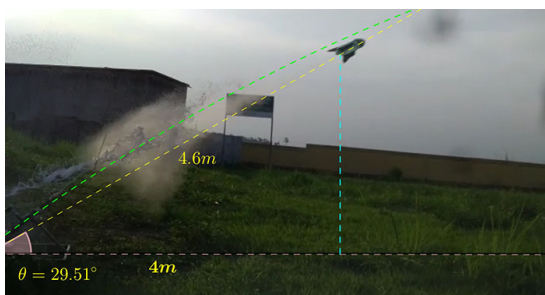
Figura 11 – Sequência quadro a quadro de um lançamento



Fonte: Acervo do autor

O vídeo tem um *frame-rate* (taxa de quadros) de 30 quadros por segundo, logo para 5 quadros, temos um intervalo de tempo experimental de $\frac{1}{6} = 0,167$ segundos.

Figura 12 – Análise de um quadro da sequência de um lançamento



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

A figura 12, analisada no software GeoGebra, nos permitiu calcular a distância em voo do foguete durante a propulsão. A velocidade média de ejeção das substância que reagiram e produziram os gases vale

$$v_m = \frac{d_{horizontal}}{\cos(\alpha).t} = \frac{4}{\cos(29,51^\circ).0,167} \approx 27,54 \text{ m/s}$$

valor próximo daquele encontrado na equação 4.10.

As solução das equações diferenciais tratadas neste tópico encontram-se disponíveis no Apêndice A.

5 METODOLOGIA

Neste capítulo, discorre-se sobre os procedimentos didático-metodológicos para a concepção e aplicação do produto educacional, além da breve caracterização da escola onde ocorreu a efetiva aplicação deste.

A metodologia empregada aborda uma sequência didática, cuja análise das respostas, caracteriza-se por apresentar um enfoque predominantemente qualitativo de abordagem interpretativa acerca do movimento balístico.

A maioria dos procedimentos presentes no produto educacional, base para este trabalho, foram de certa forma, há algum tempo, inseridas na prática de sala de aula do autor e na sua experiência com o ensino deste tópico ao longo de quase vinte anos pelas diversas escolas onde lecionou.

As seções deste capítulo ilustram a justificativa de escolha da sequência didática para a construção do produto e os procedimentos para a aplicação do mesmo.

5.1 Desenvolvimento do produto educacional

O produto educacional foi desenvolvido em consonância com a prática de sala de aula do autor, sempre pensando em tornar tópicos relatados de difícil assimilação por partes dos estudantes, em algo com certa ludicidade, que o aluno pudesse “colocar a mão na massa” e experimentar. As atividades desenvolvidas ao longo dos anos como docente permitiram um conhecimento razoável acerca das dificuldades encontradas pelos colegas professores na mediação do conhecimento que se deseja construir durante o processo de ensino-aprendizagem. Assim sendo, pensou-se no produto educacional como uma ferramenta didática, potencialmente significativa, para o ensino de conceitos relativos ao tópico Lançamento de Projéteis.

O produto desenvolvido trata-se de uma sequência didática experimental sobre a temática do movimento balístico, na qual pretende-se mostrar de forma significativa aos alunos o lançamento de projéteis, relacionando com a prática experimental as

principais ideias a respeito da teoria sobre o movimento dos corpos próximos à superfície da Terra, possibilitando ao estudante estabelecer relações entre essas ideias e o lançamento oblíquo de projéteis.

As ideias iniciais para a estruturação desse trabalho se deu a partir da leitura do artigo *Lançamento oblíquo com resistência do ar: Uma análise qualitativa* (FREIRE et al., 2016) e da dissertação de mestrado *Sequências didáticas significativas para o ensino do princípio de Arquimedes integrando teoria e prática* (STEINMETZ, 2018).

5.2 Sequências didáticas

Uma sequência didática pode ser estabelecida através de atividades permeadas de questionamentos, atitudes, procedimentos experimentais e ações que os alunos executam com a mediação do professor (ZABALA, 1998). Ao realizar uma sequência didática, deve-se pensar em atividades ordenadas de maneira a aprofundar o tema em estudo e varia-las em termos de estratégia através de: leituras, simulações computacionais, experimentos, etc. sendo necessário um conjunto de aulas de forma que o aluno possa se aprofundar e se apropriar dos temas desenvolvidos durante as atividades.

Zabala (1998) afirma que as sequências didáticas tem que ter um princípio e um fim conhecidos pelo professores e alunos. As sequências didáticas devem ser “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais”.

De acordo com a Secretaria de Educação Básica, durante a organização de uma sequência didática, o professor poderá incluir variadas atividades tais como: leitura, pesquisa individual ou coletiva, produções textuais, aulas práticas, etc., pois a sequência de atividades visa trabalhar um conteúdo específico desde a exploração inicial até a formação de um conceito. (BRASIL, 2012).

5.3 Preparativos para a aplicação da sequência didática

Sendo uma sequência didática, sugere-se que, ao utilizá-la, o professor siga os passos na ordem em que ela fora pensada, visando estabelecer através das atividades

uma linha de raciocínio na qual o estudante possa acompanhar e gerar expectativas sobre “o que vem a seguir”, colocando o aluno como protagonista no processo de tomada de decisões, levando-o a refletir sobre a responsabilidade de cumprir rigorosamente as etapas.

O professor, ao utilizar esta sequência, deverá ter algum tempo para realizar uma revisão bibliográfica de forma a obter segurança dos tópicos de Física relacionados. A quantidade de aulas para a aplicação pode variar dependendo do grau de entendimento da turma, sugeriu-se o máximo de 10 aulas. É importante que as dúvidas advindas da aplicação de qualquer etapa da sequência tornem-se elementos de aprendizagem por meio de questionamentos baseados nos conhecimentos adquiridos com possíveis soluções dos mesmos.

5.4 Público alvo

A Sequência Didática foi aplicada numa Escola Pública de Ensino Médio Técnico Integrado da Cidade de Itaituba, no Estado do Pará, no ano de 2019, com um grupo de 17 alunos, com idade entre 14 anos e 17 anos, envolvendo alunos de turmas 1º e 3º anos, como parte da preparação para a Olimpíada de Conhecimento OBA/MoBFog, abordada no capítulo 7. A participação nessa olimpíada tem se tornado prática comum nas escolas do Brasil, segundo dados do site da OBA, no ano de 2019 quase 1 milhão de alunos participaram do evento e se estima um crescimento para a próxima edição do evento.

A utilização da sequência buscou contemplar, além do plano institucional, o reforço dos conhecimentos adquiridos pelos alunos de 3º ano sobre os conceitos relacionados ao lançamento de projéteis.

A tabela 4 estratifica a quantidade grupos de alunos e série que participaram da aplicação da SD. Os resultados relativos a participação dos discentes da escola em questão na MoBFog, estão estratificados no Anexo A.

Tabela 4 – Participação dos Alunos na Sequência Didática (SD)

Ensino Médio		
nº de turmas	Grupos/turma	número de alunos
3	5/1º	12
	2/3º	5
Total	7	17

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Ao adotar a sequência didática proposta como metodologia para o ensino de movimento balístico (lançamento oblíquo), é importante que professor aplicador esteja seguro de todas as etapas antes da execução da mesma. Além disso, sugere-se que este faça “um projeto-piloto” antes da decisão de aplicar para várias turmas.

6 SEQUÊNCIA DIDÁTICA - APLICAÇÃO E ETAPAS

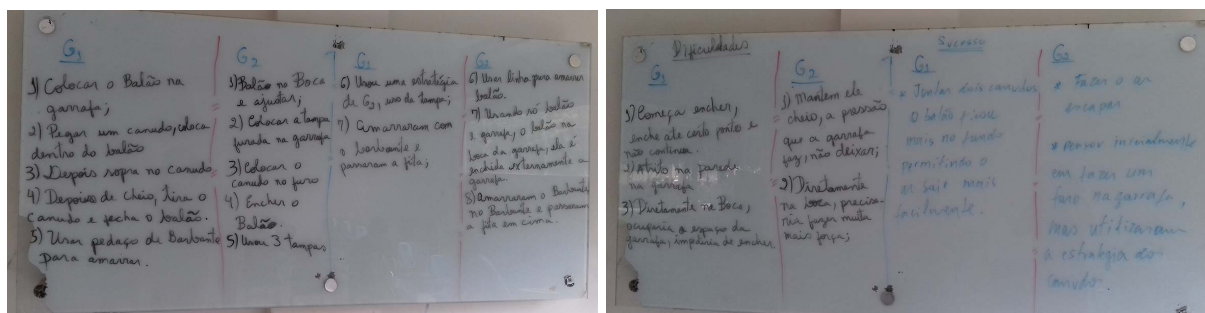
Este capítulo trás, em suas seções, as particularidades da aplicação do Produto Educacional, reportando os resultados, diálogos dos alunos, análise das discussões e relatos do professor da experiência de aplicação da SD.

6.1 Atividades iniciais

A sequência didática propôs inicialmente duas atividades experimentais, a primeira delas, com o título: um entra e outro sai, tinha por função, a organização dos conhecimentos prévios dos alunos envolvidos na aplicação, sendo o “ponta pé” para que o estudante perceba que ele tem informações sobre o assunto em questão, mas precisa ampliar seus conhecimentos; em outras palavras, fazê-lo perceber que ele “sabe algo sobre”, mas não o suficiente para explicar situações mais complexas ou gerais. Nessa atividade, o aluno precisava utilizar os conhecimentos prévios sobre volume e pressão para resolver o desafio de encher um balão dentro de uma garrafa PET.

Após o questionamento anterior a realização da atividade, as possíveis soluções foram relatadas pelos grupos e anotadas para comparação futura. Dos grupos que participaram da atividade, nenhum conseguiu realizá-la diretamente sem a ajuda dos materiais de apoio. Um grupo levantou a possibilidade de que daria certo se fosse com água. Na ocasião, da atividade não se tinha fontes de água por perto, ficando a possibilidade suspensa até a ida ao laboratório. A figura 13 mostra as respostas de dois grupos antes e após o intento.

Na figura 13(a), os alunos descrevem as etapas que eles utilizarão para a execução da tarefa. Na parte (b) da figura, os alunos expressaram as estratégias para conseguir a execução; percebeu-se que interação pela observação direta entre os grupos levou um grupo a copiar parte da estratégia do outro para a solução própria, como o representado no item 7 do grupo 2 da figura (b).

Figura 13 – Comentários dos grupos sobre o que se pretendia e o que se conseguiu

(a)

(b)

Fonte: Acervo do autor

A solução mais utilizada foi prender, utilizando barbante, o balão na ponta de um canudo, levá-lo até o fundo da garrafa e soprá-lo. Ao serem questionados sobre porquê da solução, um aluno do grupo 2 fez o comentário: “só dá para encher se o ar sair quando a gente assopra”. Observando que muitos alunos tinham tentado soprar diretamente o balão dentro da garrafa, o professor questionou: *se você soprasse com bastante força, conseguiria encher balão?*; outro aluno falou: “professor não é a força, é o jeito”, perguntou-se a o que ele se referia e ele esclareceu: “quando a gente sopra o ar entra, mas lá dentro o ar faz uma pressão igual a que eu faço, aí não tem como entrar mais ar”. Essas situações ilustram evidências que o aluno está conseguindo organizar os conhecimentos prévios sobre o volume e a pressão.

Após aplicação da primeira atividade, o professor aplicador fez a análise a partir das respostas aos questionamentos para saber se os alunos estavam aptos a seguir para a próxima fase. Uma forma prática de se perceber a desacomodação foi aplicando a segunda atividade experimental, chamada de **aprendendo a fazer perguntas**, que consistia em encher um balão, prendê-lo a um tubo e fazer o mesmo correr ao longo de um fio ao soltar a extremidade de sopro. Esse experimento foi apresentado aos alunos com intuito de provocá-los à questionamentos das respostas dos colegas e auto questionamento, fazendo que eles pudessem ter diferentes pontos de vista sobre o fenômeno estudado, permitindo ao professor uma avaliação inicial do nível de conhecimentos prévios dos alunos ao explicarem suas observações - Figura 14.

Figura 14 – Alunos realizando a Atividade 2

Fonte: Acervo do autor

Ao liberar as extremidades dos balões, um dos grupos deixou a ponta do fio cair e a trajetória do balão tornou-se “errônea” o que fez surgir, por comparação com os outros grupos, o questionamento sobre quais fatores fizeram o balão seguir a trajetória e quais impediam o balão de seguir em linha reta sem a presença do fio. O aluno “A1G1” de um dos grupos, relatou: *“isso ocorreu por causa do ar fora do balão”*, a aluna “A2G1” completou: *“o ar impede, fazendo força em todas as direções, por isso o balão sai rodando”*. Ao serem questionados se era possível fazer o balão ir de um ponto a outro sem o fio o aluno “A1G2” afirmou: *“não, porque o ar sai, e o balão ‘embola”*. Já o aluno “A3G1” do outro grupo disse: *“se colocasse ‘asinhas’ ele talvez chegasse”*. Perguntado sobre o porquê das asinhas, a aluna “A2G2” disse: *“elas diminuiriam a força do vento no balão”*.

NOTA: Os termos **AnGm** refere-se ao Aluno “n” do Grupo “m”, exemplo: **A1G1** aluno 1 do grupo 1.

As duas atividades realizadas visavam descobrir o conhecimento prévio dos alunos e ensiná-los a organizar estes conhecimentos, para serem utilizados durante as próximas etapas de aplicação da SD.

A ideia estabelecida nas duas atividades era fazer o aluno perceber que o movimento de um corpo através do ar, independente da trajetória que descreve, não pode ser dissociado da presença do meio, e que o ar tem grande impacto sobre o movimento a ser estudado, ainda que esse tópico seja trabalhado na maioria das escolas sem levar em conta presença do ar.

De acordo com MOREIRA (2014), o papel das atividades sugere - as assim

chamadas por Ausubel, instruções remédio - materiais introdutórios em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade, com objetivo de suprir as deficiências, a inadequação dos subsunçores presentes na estrutura cognitiva do aluno.

Assim, na sequência da aplicação da SD, a resistência do ar passará a integrar o conceito do movimento de projéteis em voo balístico que o aluno deverá construir, ainda que, durante o processo de avaliação quantitativa, resolva com equações de forma simplificada, isto é, livre da resistência do ar. Nessa situação cabe ao professor aplicador da Sequência delimitar a forma de demonstração dos princípios que regem o lançamento de projéteis e decidir se fará ou não uma explanação sobre a resistência do ar.

6.2 Construção dos protótipos

A fase de construção dos protótipos foi realizada por meio de duas oficinas: *construção de foguetes e construção de bases de lançamento*.

6.2.1 Oficina de Construção de Foguetes

A construção dos foguetes foi realizada levando em consideração as discussões a respeito das forças relacionadas a um corpo que se move no ar, essas análises iniciaram com as duas atividades práticas do começo da sequência que levaram os alunos a organização de conhecimentos prévios. A escolha do perfil apropriado do foguete, realizada pelos grupos, se deu a partir das análises a respeito da presença da resistência do ar no movimento.

Outro ponto mencionado durante a oficina de foguetes, foi explanação sobre os tópicos centro de massa e centro de pressão, esse último conceito era desconhecido pela maioria. Contudo, percebeu-se o entendimento dos grupos sobre estes tópicos na hora de posicionar os elementos de estabilização do foguete.

Para a confecção dos dispositivos, utilizou-se os materiais: garrafas vazias de refrigerante de material PET (2 unidades para cada foguete de garrafas de 2 ℓ), fita isolante, uma pasta plástica do tipo porta documentos (preferencialmente inutilizada) e cem gramas de areia.

Durante a produção dos foguetes os alunos responderam questões relativas aos elementos de estabilização do foguete, a necessidade de usos dos mesmos, o que ocorreria se eles não existissem ou fossem modificados, e se o uso dos mesmos se fazia necessário no espaço sideral.

Abaixo tem-se a transcrição das resposta dos alunos de um grupo a respeito das questões propostas no apêndice A do produto.

1. Resposta das questões sobre as aletas (elementos estabilizadores).

a) O que faz um foguete ter melhor desempenho que outro? (Não esquecendo a análise do peso de cada foguete)

R: Um foguete terá melhor desempenho se for levado em conta o centro de massa, o alinhamento e a firmeza das aletas e seu formato.

b) Quão pequenas as aletas podem ser e ainda estabilizar o foguete?

R: O comprimento mínimo dependerá do tamanho do foguete, sendo grande o suficiente para ter ação no ar.

c) Quantas aletas um foguete precisa estabilizá-lo?

R: um foguete precisa ter 3 aletas pois, menos que isso pode trazer mal estabilidade e muitas aletas iriam atrapalhar a aerodinâmica do foguete.

d) O que aconteceria se você colocasse o aletas de foguete perto do nariz do foguete?

R: seria criado uma grande área de descompressão, ainda irá mover o centro de pressão o que fará o foguete perder o controle.

e) O que acontecerá com o foguete se você dobrasse as pontas inferiores das aletas assemelhando-o a um catavento?

R: o mesmo irá girar e perder rapidamente a velocidade.

f) As aletas de foguete são necessárias no espaço sideral?

R: não, pois no espaço sideral o foguete não sofrerá com a ação das forças atmosféricas e nem eletromagnéticas.

2. Resposta das questões sobre o nariz(ponta do foguete)

a) comente como o formato pode melhorar o desempenho do voo do foguete?

R: Dependendo do seu formato, o bico pode gerar uma zona de baixa pressão ou um vácuo na parte central do foguete os causar resistência no ar.

b) Considerando os formatos cônico e ogival o que faz um foguete ter melhor desempenho que outro?

R: O formato ogival fara o foguete ter melhor desempenho pois não criará zonas de baixa pressão ou vácuos e nem fara com que tenha resistência no ar.

3. Sobre a garrafa escolhida (corpo do foguete), comente como o formato pode melhorar o desempenho durante o voo do foguete?

R: uma garrafas com curvas trará áreas de baixa pressão fazendo com que o foguete perda de velocidade. É preferencial que seja utilizada uma garrafa de corpo liso.

Após a discussão, sugestionou-se aos grupos a construção dos foguetes de ponta cônica e ponta ogival, essa escolha teve relação direta com as formas das garrafas que os grupos levaram para a construção de seus protótipos. As aletas foram construídas a partir da pasta porta documento. A geometria relacionada a disposição dos elementos do foguete: ponta, corpo e estabilizadores, foi inspirada na modelagem feita em um simulador desenvolvido pelo pesquisador no software GeoGebra¹ e apresentado durante a oficina. Este software encontra-se disponível em <<https://www.geogebra.org/m/gesjabbx>>. Cada grupo, a partir dos modelos de garrafas, construiu seus protótipos. A Figura 15 mostra alguns protótipos construídos pelos grupos.

¹ O GeoGebra é um software de matemática dinâmica gratuito e multiplataforma para todos os níveis de ensino, que combina geometria, álgebra, tabelas, gráficos, estatística e cálculo numa única aplicação. Foi criado em 2001 como tese de Markus Hohenwarter. Atualmente, é usado em 190 países, traduzido para 55 idiomas.(Intituto GeoGebra UESB, dsiponível em <http://www2.uesb.br/institutogeogebra/?page_id=7>

Figura 15 – Foguetes construídos por algumas equipes durante a oficina

Fonte: Acervo do autor

Acredita-se que os alunos que participaram da aplicação da sequência, buscaram responder perguntas de forma assertiva e tirar as dúvidas recorrentes aos questionamentos advindos das discussões nos grupos, pois, além de explorar tópicos como aerodinâmica e força resistiva, os questionamentos e suas possíveis respostas tinham ligação direta com uma necessidade da turma, a participação da OBA/MoBFog.

A aplicação desenvolveu-se em paralelo a um projeto de extensão da Escola, com o nome: Oficinas preparatórias para os eventos 13^a MoBFog e 22^a OBA: lançamento de foguetes e conceitos de Astronomia e Astronáutica. Este projeto foi executado, de março a outubro de 2019 na cidade de Itaituba, objetivando difundir junto a comunidade acadêmica local e arredores, conceitos de astronomia e astronáutica à luz do ensino de física. A figura 16 retrata alguns momentos durante a oficina de construção de foguetes.

Figura 16 – Oficina de construção dos foguete

Fonte: Acervo do autor

6.2.2 Oficina de Construção de Bases de Lançamento

Durante a oficina de construção de bases, inicialmente foi revisado os tópicos de matemática sobre ângulos e relação trigonométrica seno e cosseno. Os questionamentos advindos desse tópico diziam respeito ao ângulo de maior eficiência no lançamento de um foguete.

Ao serem questionados, alguns alunos do 3º ano já conheciam a propriedade, o professor aplicador então sugeriu que **um deles** explicasse como o ângulo favoreceria o alcance, e este disse: “O ângulo de 45° , porque o seno e o cosseno são os mesmos então se o seno joga longe, o cosseno levanta mais”, **outro aluno** do mesmo grupo ajudou “é o contrário”, questionados se jogar mais longe era “culpa” do cosseno, então o professor sugeriu um ângulo menor, visto que para um ângulo pequeno, o cosseno seira maior. Porém, **um aluno** do outro grupo disse: “mas assim ele voa menos tempo, professor!”

A partir das discussões e considerando o voo balístico de maior alcance, estabeleceu-se o ângulo de 45° para a inclinação das bases a serem construídas durante a oficina - Figura 17.

Figura 17 – Oficina de construção das bases de lançamento dos foguete



Fonte: Acervo do autor

6.3 Lançamentos

A fase de lançamento é, propriamente, a fase de execução do experimento. Antes dos grupos efetuarem os lançamentos, foi necessário conversar com as turmas sobre a segurança envolvida na atividade e os riscos químicos e físicos que se corre ao

manipular os reagentes, ressaltando que a reação é rápida e produz grande quantidade de gás à alta pressão no interior do corpo do foguete, sendo necessário seriedade na hora dos lançamentos e proteção dos olhos por óculos de segurança.

Os grupos, com seus protótipos construídos, realizaram os lançamentos na área livre e aberta da escola. Após cada lançamento, foi realizada a medida do alcance. A Figura 18 ilustra um lançamento desde a preparação (colocação dos reagentes nos foguete) até o momento que o foguete desprende-se da base.

Figura 18 – Da preparação até o lançamento do foguetes



Fonte: Acervo do autor

Para efeitos competitivos, cada grupo podia efetuar 3 lançamentos, o lançamento mais eficiente do grupo era tomado para comparação com os demais. Nesta parte do trabalho, destacaram-se outras observações como a segurança, ludicidade, e o companheirismo das equipes, mesmo sabendo que estavam competindo, queriam que os colegas tivessem êxito nos seus lançamentos.

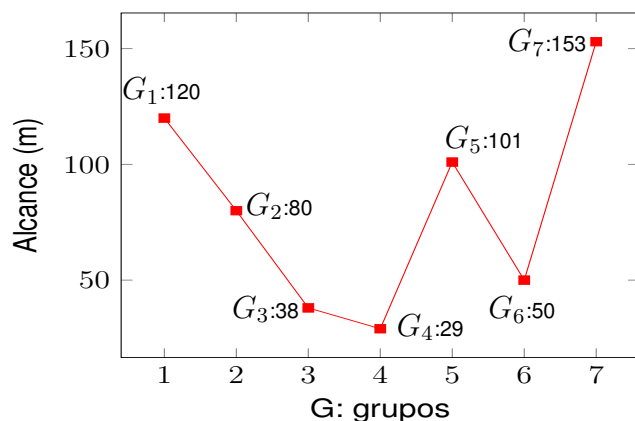
Observação 5 *Dada a empolgação dos grupos, os foguetes foram lançados inúmeras vezes, foi sugerido que o valor de alcance fosse anotado em todas, mas utilizassem o melhor resultado para o cálculo na folha de avaliação da SD.*

6.4 Resultados e análise do experimento

Após lançados, tomando os devidos cuidados nas medidas dos alcances, os valores atingidos pelos grupos foram utilizados para calcular de forma simplificada: Velocidade de Lançamento, Altura Máxima atingida e Tempo de Voo, como parte da folha de avaliação da SD, no apêndice A do produto.

O gráfico da figura 19, mostra os alcances dos melhores lançamentos por grupo.

Figura 19 – Resultados do melhores lançamentos por grupo



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Destaca-se, a partir dos dados desse gráfico, o resultado do grupo G_7 , cujo valor do alcance foi melhorando a cada lançamento, a partir das análises dos resultados das pressões conseguidas na reação química, cuja percepção foi possível devido a presença do manômetro na base de lançamento desse grupo.

A tabela 5, mostra a relação entre reagentes, pressão e alcance obtidos pelo grupo G_7 nos lançamentos, cuja base apresentava um manômetro. A partir dos resultados coletados pelo grupo, fez-se o questionamento ao grupo se era possível estabelecer uma relação entre as quantidades de reagentes e a pressão no manômetro.

Tabela 5 – relação entre os reagentes, a pressão e o alcance obtidos por um dos grupos

Bicarbonato de sódio	vinagre	Pressão(PSI)	Alcance(m)
80 g	690 ml	82	153,00
56 g	750 ml	50	(abortada)
90 g	800 ml	80	117,00
80 g	700 ml + 200 de H_2O	50	102,00

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Os alunos inicialmente sugeriram que a pressão obtida dependia das quantidades de vinagre e bicarbonato. Todavia, como o aumento dessa quantidade e o resultado obtido no lançamento, essa relação pré-estabelecida tornou-se confusa para

os integrantes do grupo. Um aluno de outro grupo comentou: *“ao se aumentar muito a quantidade de líquido dentro do foguete sobra pouco espaço para o ar aumentar a pressão”*.

Depois de vários lançamentos, os alunos não conseguiram chegar a um consenso sobre a relação da quantidade de reagentes e a pressão estabelecida no manômetro. O grupo G_7 relacionou as variações nas medidas a outra possível razão, a forma que a garrafa (corpo do foguete) é presa ao tubo de lançamento da base, *“... ora mais apertada, ... ora mais frouxa”*, segundo o relato do grupo, o que certamente pode ser verificado, uma vez que essa forma de encaixe produz grande atrito. Tal fato levou a outra discussão sobre a vedação e como reduzir os atritos entre o corpo do foguete e a base e as possibilidades de melhoramento na estrutura da dela.

Esta análise ficou em aberto, ficando cada grupo a vontade, para de forma empírica, tentar soluções que pudessem resolver/amenizar o problema do atrito. Uma solução apresentada por um dos grupos, foi a utilização de um anel de balão de látex (“boca do balão”) envolvido por fita veda rosca, sobre a qual se passava óleo. Questionados sobre o fundamento daquela ideia, o grupo mencionou os canais que tratam do assunto no *YouTube*. Quanto a funcionalidade da mesma, o grupo respondeu que, após a utilização do procedimento, o alcance do foguete passou de $\pm 60\text{m}$ para 101m .

6.5 Avaliação da SD

Ao término da atividade, os grupos receberam a folha de respostas da atividade, na qual, a partir dos dados obtidos no lançamento, deveriam determinar os demais parâmetros necessários para se obter as equações da velocidade em função do tempo, da altura em função do tempo, da velocidade em função da distância e a equação parabólica associada ao movimento livre da resistência do ar, bem como relatar seus entendimentos sobre as discussões durante a aplicação da SD.

Quanto a contribuição da atividade para o ensino de física, há dúvidas se realmente a atividade tenha favorecido o ensino dessa disciplina, já que não encontra-se

literatura em quantidade sobre o tema. Muitas escolas que realizam a atividade de construção e lançamento de foguetes o fazem, aparentemente, na base do empirismo. Durante a pesquisa, encontrou-se poucos roteiros sobre o tema e, geralmente, tais roteiros abordam principalmente as etapas de construção e lançamento, poucos exploram o tema além da parte prática do experimento.

Sendo o resultado de alguns anos de trabalho, buscou-se somar informações, tanto quantitativa quanto qualitativa, para fortalecer o ensino de física, bem como possibilitar a utilização desta atividade em parcerias com outras disciplinas como a Química e Matemática, funcionando como atividades instigadoras, de empolgação e de construção de conhecimentos, produção de vídeos e oficinas, nas quais os alunos podem trocar ideias, levantar hipóteses, desenvolver estratégias e construir argumentações, promovendo, assim, uma formação integral do indivíduo e contribuindo para a coletividade.

7 SOBRE O LANÇAMENTO DE FOGUETES E AS OLIMPÍADAS DE CONHECIMENTO PARA A PROMOÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA

Este capítulo trata a possibilidade de extensionismo da SD, que, a priori, foi utilizada para o desenvolvimento dos conceitos relativos ao movimento balístico (lançamento oblíquo).

Realizou-se uma pequena análise a partir dos dados oficiais do site da OBA / MoBFog a respeito da participação de 3 escolas que o pesquisador atuou com professor, sendo 2 dessas escolas pertencentes a rede de ensino privado do Município de Santarém, entre os anos (2013-2018), e uma da rede pública no Município de Itaituba a partir do ano 2019.

Os dados estão compilados na forma gráfica, alguns dados, numa análise mais detalhada, pode-se perceber a participação efetiva desses municípios nessa modalidade de olimpíada de conhecimento.

O objetivo desta parte é mostrar o porquê da participação em um evento com essas características, e a mudança de visão dos discentes sobre a disciplina, tornando o ato de estudar e aprender física algo além de fórmulas, macetes e números.

Uma ideia na cabeça e um pensamento de cientista, ao realizar as atividades relativas ao lançamento de foguetes, quer seja pela construção, com ou sem nenhuma análise sobre quais fatores podem influenciar no maior alcance balístico, almejando ou não a conquista de medalhas em eventos de caráter nacional, como é o caso da Mostra Brasileira de Foguetes(MoBFog), a pretensão desta parte do trabalho era de divulgar não apenas o evento, mas o desejo que, pela experimentação, os discentes consigam perceber aplicações práticas de um tópico de física tão antigo e tão atual, como é o lançamento de foguetes, seja na forma de alegoria, seja como proposta de ensino.

CANALLE et al. (2016) chama atenção sobre a reflexão acadêmica a respeito da olimpíadas de conhecimento, relatando a escassez do tema na literatura brasileira, citando que os poucos estudos encontrados se detêm na classificação e na análise

das questões das provas aplicadas, como reforça (COLEONI, 2001).

Além do mais, um dos seus objetivos é explicitar as razões de se ter programas espaciais e fomentar a cultura da importância das atividades espaciais no desenvolvimento científico, trazendo, assim, um olhar mais curioso para a Ciência (CANALLE et al., 2016).

Segundo QUADROS et al. (2013), as olimpíadas científicas são atividades extracurriculares realizadas em vários países para se atingir uma série de objetivos intelectuais, afetivos e sociais.

Nas escolas da rede privada de ensino, em geral, quando se realiza tais atividades que extrapolam os muros da escola, observa-se um interesse mercadológico. O ato de participar de olimpíadas de conhecimento era muitas vezes utilizado para atrair novas matrículas, com pouca relevância à promoção da ciência ou a diversificação do ensino dos conteúdos de física. Contudo, observa-se um crescente número de escolas particulares utilizando as olimpíadas para avaliar seus alunos através desses eventos.

A OBA e a MoBFog são eventos abertos à participação de escolas públicas ou privadas, urbanas ou rurais, sem exigência de número mínimo ou máximo de alunos, os quais devem preferencialmente participar voluntariamente. Podem participar da OBA e da MoBFog alunos do primeiro ano do ensino fundamental até alunos do último ano do ensino médio, sendo que da MoBFog também podem participar alunos do ensino superior. A OBA e a MoBFog ocorre totalmente dentro da própria escola, tem uma única fase e é realizada toda ela dentro de um só ano letivo[. . .] (OBA, 2018).

As escolas podem, de forma independente, fazer a OBA e/ou a MoBFog. Contudo, algumas escolas costumam levar em conta os aspectos práticos e realizar apenas a MoBFog; outras, apenas os aspectos teóricos e realizam apenas a OBA, como pode ser verificado em <www.oba.org.br>. Este trabalho visava a aplicação de conceitos e prática. Logo, era imprescindível que todos os alunos participassem de ambas (OBA e MoBFog).

7.1 Análise da participação dos municípios que o pesquisador trabalhou e promoveu o ensino de física por meio da OBA/MoBFog

De acordo com os números divulgados no site da OBA, no ano de 2019, no estado do Pará, haviam 550 escolas estão cadastradas a participarem da OBA/MoBFog. A tabela 6 ilustra o número de escolas participantes da OBA/MoBFog no ano de 2018 em Santarém e Itaituba.

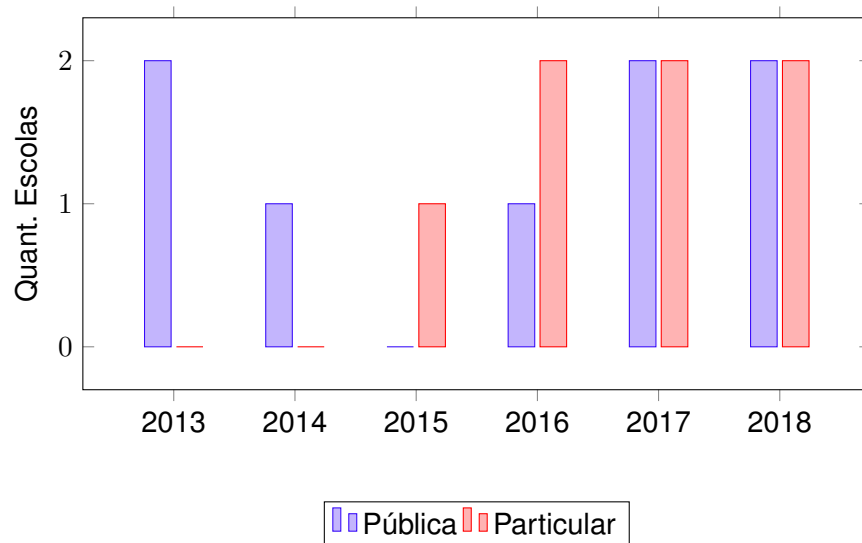
Tabela 6 – Escolas Participantes da OBA/MoBFog

Santarém			Itaituba		
Cadastradas	OBA	MoBFog	Cadastradas	OBA	MoBFog
11	5	4	6	3	0

Fonte: adaptada de www.oba.org.br - escolas participantes(2019)

Tendo em vista que parte da pesquisa foi estabelecida em Santarém em anos anteriores, buscou-se relacionar o número de escolas que oficialmente realizaram experimentos de lançamentos de foguetes com participação na MoBFog. O gráfico da figura 20 compara a quantidade de escolas da rede pública e privada participantes da MoBFog nos últimos 5 anos no município de Santarém.

Figura 20 – Escolas participantes da MoBFog

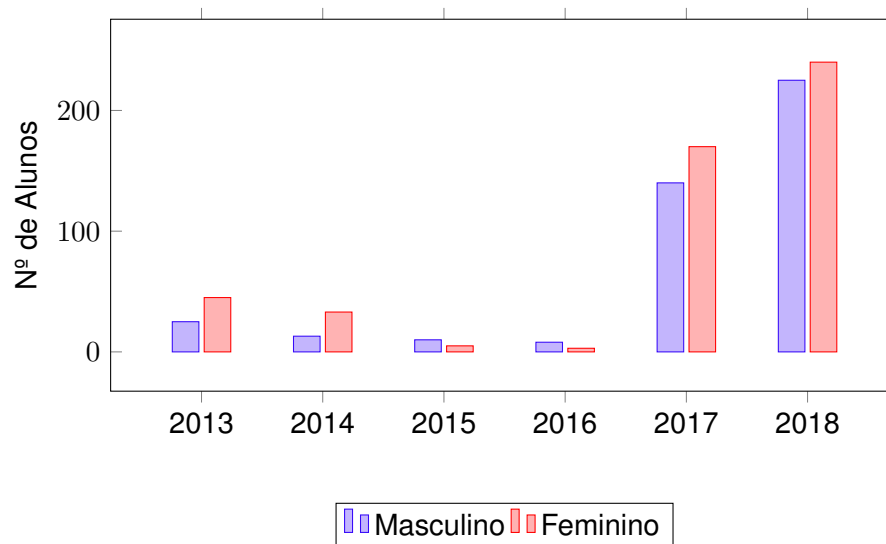


Fonte: Dados do site da OBA/MoBFog (2019)

A partir da observação do gráfico, percebe-se que até o ano de 2014, apenas escolas da rede pública participavam da MoBFog. A partir de 2015, por intervenção do pesquisador, duas escolas da rede de ensino privado, passaram a compor o contingente de escolas participantes dessa olimpíada e esse número manteve-se até 2018, mesmo o pesquisador não atuando mais nessas escolas.

O gráfico da figura 21 retrata a relação Masculino \times Feminino do contingente que participou da MoBFog nos últimos 5 anos no município de Santarém.

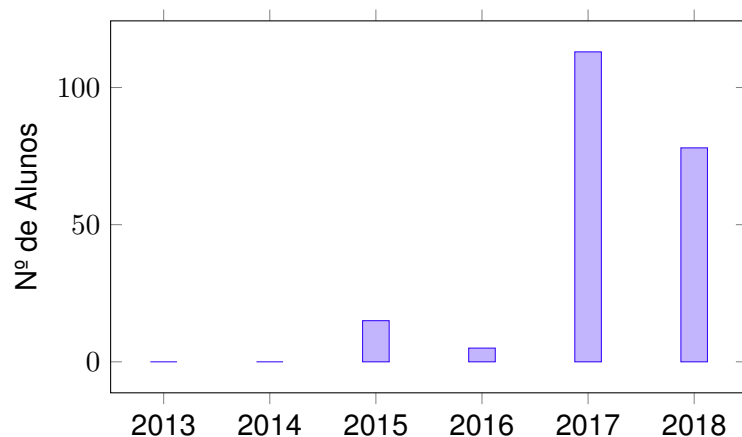
Figura 21 – Total de alunos MoBFog Santarém - Comparativo por sexo



Fonte: Dados do site da OBA/MoBFog(2019)

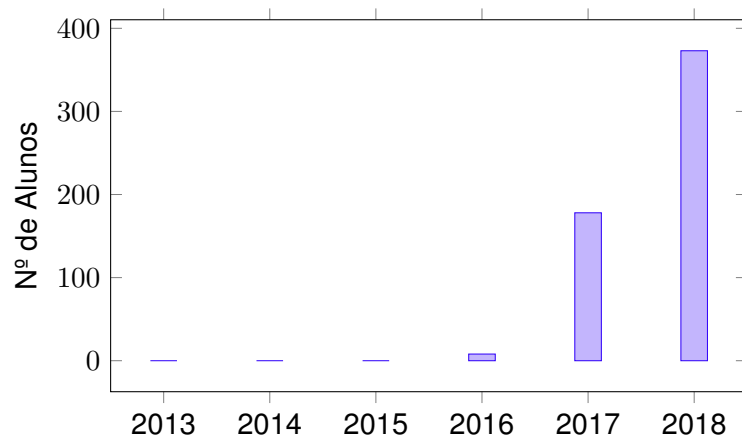
As duas escolas da cidade de Santarém analisadas nos gráficos, são escolas particulares da zona urbana e tinham, no período, entre 1000 a 1600 alunos cada. Por critério de diferenciação entre elas, chamou-se simplesmente Escola A e Escola B.

Na Escola A, a participação na MoBFog ocorreu aos poucos. Em 2015, iniciou a participação no evento com apenas 15 alunos; em 2016, devido a outros eventos no período da Olimpíada esse número caiu para 5, mas em 2017, houve um avanço significativo no número de participantes, chegando a 113 e voltando a reduzir para menos de 100 em 2018 - Figura 22.

Figura 22 – Quantitativo de alunos participantes da MoBFog na Escola A

Fonte: Dados do site da OBA/MoBFog(2019)

O mesmo pode ser dito sobre a Escola B. Os dados da tabela 4 indicam a quantidade de alunos que realizaram o experimento na Escola B, iniciando a partir do ano de 2016. Naquele ano, apenas 5 alunos participaram da OBA/MoBFog. Nos anos seguintes mais alunos participaram dos lançamentos. A figura 23 retrata a evolução da participação da Escola B ao longo dos anos na MoBFog.

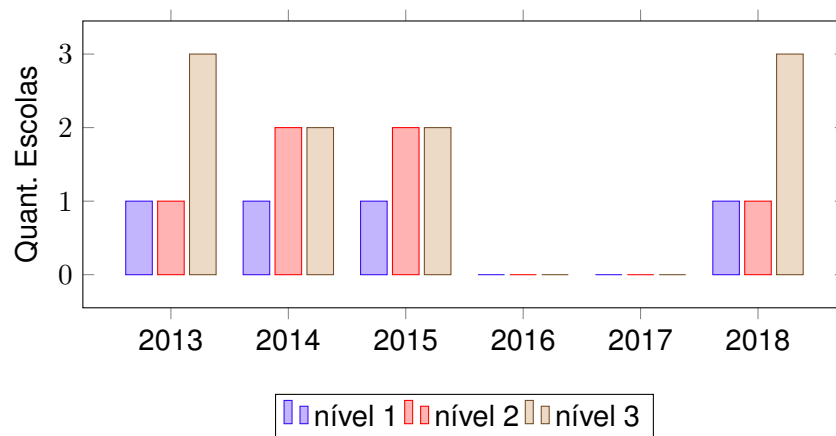
Figura 23 – Quantitativo de alunos participantes da MoBFog na Escola B

Fonte: Dados do site da OBA/MoBFog(2019)

Quanto a cidade de Itaituba, a escola participante nesse estudo, aqui chamada de Escola C - uma escola pública de ensino técnico - tinha, no período, aproximadamente 700 alunos. De acordo com os dados do site da OBA, no início de 2019, existiam 6 escolas cadastradas. Contudo, no ano de 2018, apenas três escolas de nível fundamental participaram da Olimpíada OBA; ainda de acordo com os dados,

se alguma das escolas realizou lançamento de foguetes, tais resultados não foram enviados para a MoBFog. A figura 24 ilustra o gráfico de participação das escolas na OBA de acordo com os níveis.

Figura 24 – Escolas participantes da OBA na cidade de Itaituba



Fonte: Dados do site da OBA(2019)

Os dados do site da OBA, indicam que até o ano de 2018 nenhuma escola da rede pública ou privada da cidade de Itaituba havia participado da MoBFog, o que não significa que o experimento de lançamento de foguetes não tenha sido realizado. Como os dados do ano de 2019 só estarão disponíveis em 2020, é possível que a Escola C tenha inserido a cidade de Itaituba nesta olimpíada, participando pela primeira vez no ano de 2019 com um contingente de alunos conforme a tabela 4.

Além de ser uma atividade de caráter extensionista, essas olimpíadas de conhecimento OBA/MoBFog despertam nos discentes o querer saber e o saber fazer, por meio das atividade tanto de caráter cognitivo quanto experimental.

Tabela 7 – Medalhas MoBFog 2019

Intervalo de Notas e distribuição de Medalhas			
Nível	OURO	PRATA	BRONZE
1	alcance = 30m	30m > alcance ≥ 24m	24m > alcance ≥ 19m
2	alcance ≥ 38m	38m > alcance ≥ 33m	33m > alcance ≥ 29m
3	alcance ≥ 186m	186m > alcance ≥ 165m	165m > alcance ≥ 138m
4	alcance ≥ 213m	213m > alcance ≥ 181m	181m > alcance ≥ 158m

Fonte: adaptada de www.oba.org.br - escolas participantes(2019)

Finalizando, a participação das escolas nessas olimpíadas podem ser feita em 4 níveis de conhecimento, sendo os 3 primeiros níveis destinados à alunos do Ensino Fundamental - desde o 2º ano até o 9º ano. O nível 4 contempla o Ensino Médio. Para conquistar uma medalha em algum dos níveis, o aluno, durante o lançamento de seu foguete, deverá atingir um dos valores de alcance em voo balístico do foguete ilustrado na Tabela 7.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sequência didática aplicada teve como foco a preparação para a OBA /MoB-Fog na Escola C, tendo em vista que o professor pesquisador atua indiretamente na disciplina de Física em sala de aula através de projetos em conjuntos com os professores de Física da Instituição, buscando desenvolver atividades experimentais que possam influenciar os discentes, através da abordagem multidisciplinar, no entendimento dessa disciplina.

No desenvolvimento dos conteúdos relacionados aos tópicos abordados na SD, a primeira parte retratou uma abordagem clássica a partir do estudo do problema envolvendo dois corpos. Em seguida, levou-se à aplicabilidade desse estudo para o movimento de queda sem ou com a resistência do ar, um fenômeno de natureza física presenciado por todos - desde a criança que derruba objetos de uma bancada, possivelmente pelo prazer de ver o objeto em queda, até situações bem elaboradas que dificilmente seriam vistas como queda sem a resistência do ar. A participação discente no contexto da experimentação tornou-se mais efetiva a partir dos trabalhos realizados, o que sugere que a atividade teve um caráter integrador além de socializar o conhecimento.

A fase de construção dos protótipos em sala de aula ou em oficinas reuniu num mesmo local várias turmas e funcionou como ponto de empolgação para os alunos que buscavam entender a relação das partes do protótipo com a função desempenhada por cada uma, colaborando, assim, para a produção de um resultado satisfatório durante o lançamento.

Tendo em vista a praticidade da experiência, pode-se perceber que, a partir de materiais simples, encontrados em lugares comuns, pode-se tornar o ensino de um dado componente de qualquer disciplina - no caso aqui tratado, a Física - mais atraente para o discente e menos penoso ao professor.

Na fase de lançamentos, dependendo da escola abordada na pesquisa, o que

se buscou, principalmente, foi que os alunos compreendessem os aspectos físicos e/ou multidisciplinares envolvidos na atividade e conseguissem construir o conhecimento a respeito dos princípios que a norteava.

Como toda atividade que sai do espaço físico da sala de aula, essa atividade, para muitos, foi considerada inovadora. Segundo relatos, uma parcela do alunos nunca havia realizado uma atividade experimental que pudesse aplicar conceitos da Física e relacioná-los com outras disciplinas, como o caso dos fenômenos químicos (Química) e equações do movimento parabólico (Matemática).

A atividade de construção e lançamento de foguetes trouxe, por meio da sequência didática, uma nova proposta. Realizada por meio de oficinas, na quais os alunos independentes de turmas que faziam parte na instituição, formavam equipes para competirem. Além da ludicidade e interatividade, a atividade foi considerada pela maioria como integradora. Após a realização da mesma, a percepção que se teve foi que as turmas estavam mais participativas; pode-se dizer que os alunos ficaram mais dispostos a comentar e questionar durante as atividades, trocar mais informações, e demonstrar mais interesse por alguns tópicos da disciplina, questionando se teria alguma atividade prática que poderia ser realizada com aquele conteúdo.

Percebeu-se, além disso, uma aura de competitividade, de uma forma amistosa, sobre qual lançamento foi melhor sucedido, e a discussão sobre as possíveis causas do sucesso/insucesso, buscando relacionar as desventuras a fatores externos, como por exemplo, a ação de correntes de ar ou fatores ligados a construção dos dispositivos - como a posição e número de aletas do foguete, além do peso e da escolha do formato da ponta (condições aerodinâmicas), e do posicionamento da base na hora do lançamento. Para algumas equipes, até a decoração do foguete e nome dado ao protótipo foi pensada com seriedade.

Percebeu-se também que, nos meses seguintes às atividades experimentais, os alunos manifestaram interesse maior, o que possivelmente resultou em uma melhora no aspecto quantitativo dos resultados em sala de aula, mas não houve, nesse sentido, um estudo das causas da atividade relacionadas ao pós experimento. Possivelmente,

a interação fora da sala de aula tenha proporcionado ao pesquisador uma melhor visão das capacidades dos discentes além daquela permitida num processo avaliativo tradicional.

As atividades experimentais, que compunham a SD, tiveram participação efetiva dos discentes, o que possivelmente proporcionou a construção da aprendizagem significativa, pois possibilitou o desenvolvimento dos conceitos relacionados ao movimento balístico (lançamento oblíquo) a partir dos conhecimentos prévios que os alunos dispunham e o relacionamento destes com as construções do novo conhecimento, tornando este novo conhecimento disponível, ampliável e podendo ser aplicados em soluções de problemas no dia a dia do educando. Isso pode ser evidenciado ao observar as respostas do estudantes aos questionamentos antes da execução de alguma atividade e após a execução, como pode ser visto nos relatos no corpo da dissertação e na folha de resposta do Apêndice B.

Futuramente, por meio do projetos de extensão na Escola C, pretende-se promover a atividade de construção e lançamento de foguetes, no sentido de alavancar a participação do município de Itaituba na olimpíada de conhecimento MoBFog, bem como apresentar aos docentes que atuam com Ciências e Física daquele município as possibilidades que uma abordagem experimental pode trazer. Pretende-se, ainda, realizar publicações de artigos e materiais sobre os resultados advindos dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. S. T. d.; ABIB, M. L. V. d. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de ensino de física**, SciELO Brasil, v. 25, n. 2, p. 176–194, 2003.
- ATKINS P.; PAULA, J. **Físico / Química**. 8. ed. ed. [S.l.]: LTC, 2010. v. 1.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. [S.l.]: Lisboa: Paralelo, 2000.
- BECKER, F. **O caminho da aprendizagem em Jean Piaget e Paulo Freire: da ação à operação**. [S.l.]: Editora Vozes, 2010.
- BRAGA, M. C. F. T. et al. Ensino de ciências por investigação: uma estratégia pedagógica para o ensino de termodinâmica no ensino médio. Universidade Federal de Viçosa, 2018.
- BRASIL, M. da Educação (MEC). Secretaria de Educação Básica. Diretoria de Apoio à G. E. **Pacto nacional pela alfabetização na idade certa: alfabetização em foco: projetos didáticos e sequências didáticas em diálogo com os diferentes componentes curriculares: ano 03, unidade 06**. [S.l.]: MEC/SEB Brasília, 2012. 47 p.
- BRASIL, M. da Educação(MEC). Secretaria de E. B. **Orientações Curriculares para o ensino médio**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, Brasília, 2006. Disponível em: <http://www.iq.usp.br/palporto/T3_OCNEM.pdf>.
- CANALLE, J. B. G.; ROCHA, J. D.; FERREIRA, J.; FILHO, J. P.; MAIA-FURNAS, M.; DINIZ, T. **Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica. 2016**. 2016.
- CARVALHO, A. M. P. d.; GIL-PEREZ, D. **Formação de professores de ciências**. [S.l.]: São Paulo, Cortez, 1993. 120p p.
- COLEONI, E. A. e. a. La construcción de la representación en la resolución de un problema de física. **Investigações em Ensino de Ciência**, Porto Alegre, v. 6, n. 3, p. 285–298, 2001.
- COLL, C. e. a. **O construtivismo na sala de aula**. [S.l.]: São Paulo, Ática, 2009.
- DEMO, P. **Professor do futuro e reconstrução do conhecimento**. 6ª edição. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2004.
- DUARTE, M. **Física do futebol, mecânica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
- EMBRAPA. **Sistema de Produção de Vinagre**. 2006. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Vinagre/SistemaProducaoVinagre/composicao.htm>>.
- FERREIRA, N. C. **Equipes de Laboratório e Trabalho em Grupo**. Tese de Doutorado em Didática das Ciências, 1982.

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**, SciELO Brasil, v. 38, n. 1, 2016.

GASPAR, A. **Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental**. São Paulo: Atica, 2009.

GHEDIN, E. Teorias psicopedagógicas do ensino aprendizagem. **Boa Vista: UERR Editora**, p. 19–20, 2012. Disponível em: <https://www.nelsonreyes.com.br/Teorias_Psicopedagogicas_Evandro_Ghedin.pdf>.

GONDAR, J. L.; CIPOLATTI, R. Iniciação à física matemática. **Modelagem de Processos e Métodos de Solução**. Rio de Janeiro, IMPA, 2011.

HALLIDAY, D. e. a. **Fundamentos de física. Vol. I**. [S.l.]: Grupo Gen-LTC, 2016.

HAMILTON, C. J. **Views of the solar system**. National Science Teachers Association Arlington, Tradutor: Fernando Dias, 1996. Disponível em: <<http://www.solarviews.com/portug/rocket.htm>>.

KAPTISA, P. **Experimento, Teoria e Prática**: artigos e conferências. Moscou: Ed. Mir, 1985.

LEFRANÇOIS, G. R. **Teorias da Aprendizagem**: artigos e conferências. São Paulo: CENGAGE, 2008.

MANCINI, A. A. Aprendizagem significativa: a teoria de david ausubel. **São Paulo: Centauro**, 2005.

MEIRIEU, P. **Aprender... sim, mas como**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

MIRAS, M. **Um ponto de partida para a aprendizagem de novos conteúdos**: os conhecimentos prévios. in: Coll, cesar et al. o construtivismo na sala de aula. São Paulo: Ática, 2003. 57-58 p.

MOREIRA, M. Aula inaugural do programa de pós-graduação em ensino de ciências naturais da universidade federal do mato grosso. **O que é afinal aprendizagem significativa**, 2010. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/oqueeafinal.pdf>>.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa subversiva**: n: Série-estudos:periódico do mestrado em educação da ucdb. Campo Grande, 2006.

_____. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo. 2. ed. ampl.: EPU, 2014.

MOREIRA, M. A.; SOUSA, C. M. de; SILVEIRA, F. L. da. Organizadores prévios como estratégia para facilitar a aprendizagem significativa. **Cadernos de pesquisa**, n. 40, p. 41–53, 1982.

MORETTO, V. P. **Construtivismo**: a produção do conhecimento em aula. Rio de Janeiro: DP&A, 2000.

MORIN, E. **transdisciplinaridade**: a reforma da universidade e do ensino fundamental. Natal: Edufrn, 2000.

MYERS, R. J.; MAHAN, B. M. **Química: um curso universitário**. [S.l.]: Editora Blucher, 1995.

NASA. **Foguetes - Manual do Professor com Atividades de Ciências, Matemática e Tecnologia**: / NASA - National NASA and Space Administration. [S.l.]: Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba, - São José dos Campos: Univap, 2001.

OBA. **OLIMPIÁDA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA**. 2018. Disponível em: <<http://www.oba.org.br/site/>>.

PELIZZARI, A. e. a. Revista PEC. **Teoria da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel**. v. 2, n. 1, 2001/2002. 37-42 p. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf>>.

PIAGET, J. **Epistemologia genética. Tradução de Álvaro Cabral**. [S.l.]: São Paulo: Martins Fontes, 2007.

PIASSI, L. P. C. **Que Física ensinar no 2º grau?** 1-208 p. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências (Modalidade Física), 1995. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1905074/mod_resource/content/1/PIASSI_Que%20fisica%20ensinar%20no%20segundo%20grau.pdf>.

POIANI, L. M. L. . L. (Ed.). **3º Simpósio Internacional de Iniciação Científica Universidade de São Paulo**. [s.n.], 2005. Disponível em: <<http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A2-014.pdf>>.

QUADROS, A. L. de; FÁTIMA, Â. de; MARTINS, D. C. da S.; SILVA, F. C.; FREITAS-SILVA, G. de; ALEME, H. G.; OLIVEIRA, S. R.; ANDRADE, F. P.; TRISTÃO, J. C.; SANTOS, L. J. dos. Ambientes colaborativos e competitivos: o caso das olimpíadas científicas. **Revista de Educação Pública**, v. 22, n. 48, p. 149–163, 2013.

ROSA, C. W. d. Concepções teórico-metodológicas no laboratório didático de física na universidade de passo fundo. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, SciELO Brasil, v. 5, n. 2, p. 94–108, 2003.

SALVADOR, C. C. **Aprendizagem escolar e construção do conhecimento**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.

SANTOS, D. B. D. **ESTUDO DO USO DE GARRAFA PET EM GEOTECINA**. 1-236 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, 2005. Disponível em: <<https://br.123dok.com/document/q5mjw4gy-estudo-do-uso-de-garrafas-pet-em-geotecnia.html>>.

SHEARER, D. A.; VOGT, G. L. **Foguetes - Manual do Professor com Atividades de Ciências: Matemática e tecnologia/nasa**. São José dos Campos: UNIVAP, 2001.

SILVA, E. A. d. **Desenvolvimento de Aplicações no GeoGebra Direcionadas ao Ensino de Geometria Espacial e Função Quadrática**. 1-208 p. Dissertação de Mestrado em Matemática., 2015. Disponível em: <https://sca.proformat-sbm.org.br/sca_v2/get_tcc3.php?id=452>.

STEINMETZ, C. A. Sequências didáticas significativas para o ensino do princípio de arquimedes integrando teoria e experimento. 2018.

TEIXEIRA, J. d. F. **Mente, cérebro e cognição**. Petropolis: Vozes, 2000.

THAGARD, P. **Mente.**: Introducao a ciência cognitiva. Porto Alegre: Artmed, 1998.

VYGOTSKY, L. S. **O desenvolvimento psicológico na infância**. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

_____. **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem**. São Paulo: Ícone, 2001.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Trad. Ernani F. Rosa - Porto Alegre: ArtMed, 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE A - SOLUÇÕES DA EQUAÇÃO GERAL DO FOGUETE

As soluções desenvolvidas nesta unidade referem-se as soluções gerais das Equações Diferenciais Ordinárias (EDO), sendo C, uma constante relacionada, dependente das condições iniciais.

Ação apenas do empuxo - $F_{R_{ext}} = 0$

A partir da equação 4.18

$$m \frac{dv}{dt} = r \cdot V_E$$

Separando as variáveis

$$\frac{dv}{V_E} = \frac{r}{m} dt \quad (1)$$

Como $V_E = v + v_e$, V_E depende de v e considerou-se v_e fixa e $m = m_0 - rt$, assim integrando a equação 1

$$\int \frac{dv}{V_E} = \int \frac{r}{m} dt$$

$$\int \frac{dv}{v + v_e} = \int \frac{r}{m_0 - rt} dt$$

$$\ln |v + v_e| + C_1 = -\ln |m_0 - rt| + C_2$$

Aplicando a propriedade dos logaritmos e subtraindo as constante

$$\ln |v + v_e| = \ln |m_0 - rt|^{-1} + C_2 - C_1$$

Reescrevendo a constante

$$\ln |v + v_e| = \ln \frac{1}{|m_0 - rt|} + \ln C$$

Novamente a propriedade dos logaritmos

$$\ln |v + v_e| = \ln \frac{C}{|m_0 - rt|}$$

resolvendo o logaritmo

$$|v + v_e| = \frac{C}{|m_0 - rt|}$$

lembrando que $m > 0$ Reescrevendo v

$$v = v(t) = -v_e + \frac{C}{m_0 - rt} \quad (2)$$

Ação do campo gravitacional e empuxo - $F_{R_{ext}} = P_{eso} = -mg$

Parindo da equação 4.19

$$m \frac{dv}{dt} = -mg + r.V_E$$

substituindo V_E e dividindo a equação por $m > 0$ e $v' = \frac{dv}{dt}$ e reorganizando

$$v' = -g + \frac{r}{m}v + \frac{r.v_e}{m} \quad \Rightarrow \quad v' - \frac{r}{m}v = -g + \frac{r.v_e}{m}; \quad m = m_0 - rt \quad (3)$$

a solução dessa EDO utilizará o método de Lagrange onde a EDO

$$v'(t) + p(t)v(t) = q(t); \quad p(t) = -\frac{r}{m} \text{ e } q(t) = -g + \frac{r.v_e}{m}$$

tem solução

$$v(t) = e^{-\int p(t)dt} \left[\int q(t) \cdot e^{\int p(t)dt} dt + C \right] \quad (4)$$

calculando separadamente a integral

$$\int p(t)dt = \int -\frac{r}{m_0 - rt} dt \quad (5)$$

fazendo a mudança de variável

$$u = m_0 - rt \quad \Rightarrow \quad du = -r dt$$

substituindo na equação 5

$$\int -\frac{r}{m_0 - rt} dt = \int \frac{1}{u} du = \ln |u| = \ln |m_0 - rt|$$

Retornando a equação 4

$$v(t) = e^{-\ln|u|} \left[\int \left(-g + \frac{r \cdot v_e}{m_0 - rt} \right) e^{\ln|m_0 - rt|} dt + C \right]$$

$$v(t) = \frac{1}{|u|} \left[\int \left(-g + \frac{r \cdot v_e}{m_0 - rt} \right) \cdot |m_0 - rt| dt + C \right]$$

$$v(t) = \frac{1}{|u|} \left[\left(\int -g|m_0 - rt| dt + \frac{r \cdot v_e \cdot |m_0 - rt|}{m_0 - rt} dt \right) + C \right]$$

$$v(t) = \frac{1}{|u|} \left[\left(-g \int |m_0 - rt| dt + r \cdot v_e \int \frac{|m_0 - rt|}{m_0 - rt} dt \right) + C \right]$$

realizando novamente a mudança de variável de t para u

$$v(t) = \frac{1}{|u|} \left[\left(\frac{-g}{-r} \int |u| du + \frac{r \cdot v_e}{-r} \int \frac{|u|}{u} du \right) + C \right]$$

$$v(t) = \frac{1}{|u|} \left[\left(\frac{g}{r} \frac{u|u|}{2} - \frac{r \cdot v_e}{r} |u| \right) + C \right]$$

multiplicando e substituindo u teremos:

$$v(t) = \frac{g}{2r}(m_0 - rt) - v_e + \frac{C}{|m_0 - rt|} \quad (6)$$

Ação do campo gravitacional, da resistência do ar e empuxo - $F_{Resist} = P_{eso} + F_{ar} = -(mg + bv)$

Reorganizando a equação 4.20 dividindo por m e reorganizando

$$\frac{dv}{dt} = -g - \frac{b}{m}v + \frac{r}{m}v + \frac{r}{m}v_e \quad \Rightarrow \quad \frac{dv}{dt} = -g + \left(\frac{r-b}{m} \right)v + \frac{r}{m}v_e$$

substituindo $v' = \frac{dv}{dt}$ e reorganizando

$$v' - \left(\frac{r-b}{m} \right)v = -g + \frac{r}{m}v_e; \quad m = m_0 - rt \quad (7)$$

novamente a solução dessa EDO utilizará o método de Lagrange onde a EDO

$$v'(t) + p(t)v(t) = q(t); \quad p(t) = -\left(\frac{r-b}{m}\right) e \quad q(t) = -g + \frac{r}{m}v_e$$

cuja solução é dada a partir da equação 4, para isso resolveremos separadamente a integral

$$\int p(t)dt = \int -\left(\frac{r-b}{m_0-rt}\right) dt = \int -r\left(\frac{1-\frac{b}{r}}{m_0-rt}\right) dt \quad (8)$$

Fazendo a mudança de variáveis de t para u , $u = m_0 - rt > 0$ e $du = -r dt$

$$\int -r\left(\frac{1-\frac{b}{r}}{m_0-rt}\right) dt = \left(1-\frac{b}{r}\right) \int \frac{1}{u} du = \left(1-\frac{b}{r}\right) \ln|u| = \ln(m_0-rt)^{1-\frac{b}{r}}$$

Substituindo na equação 4

$$v(t) = e^{-\ln(m_0-rt)^{1-\frac{b}{r}}} \left[\int \left(-g + \frac{r \cdot v_e}{m_0-rt}\right) e^{\ln(m_0-rt)^{1-\frac{b}{r}}} dt + C \right]$$

$$v(t) = \frac{1}{(m_0-rt)^{1-\frac{b}{r}}} \left[\int \left(-g + \frac{r \cdot v_e}{m_0-rt}\right) (m_0-rt)^{1-\frac{b}{r}} dt + C \right]$$

$$v(t) = \frac{1}{(m_0-rt)^{1-\frac{b}{r}}} \left[\int -g(m_0-rt)^{1-\frac{b}{r}} dt + \int r \cdot v_e (m_0-rt)^{-\frac{b}{r}} dt + C \right]$$

$$v(t) = \frac{1}{(m_0-rt)^{1-\frac{b}{r}}} \left[-\frac{g}{-r} \int (u)^{1-\frac{b}{r}} du + \frac{r \cdot v_e}{-r} \int (u)^{-\frac{b}{r}} du + C \right]$$

$$v(t) = \frac{1}{(m_0-rt)^{1-\frac{b}{r}}} \left[\frac{g}{r} \frac{(u)^{2-\frac{b}{r}}}{2-\frac{b}{r}} - v_e \frac{(u)^{-\frac{b}{r}+1}}{-\frac{b}{r}+1} + C \right]$$

Resolvendo e agrupando termos

$$v(t) = \frac{g}{2r-b}(m_0-rt) - \frac{r \cdot v_e}{r-b} + \frac{C}{(m_0-rt)^{1-\frac{b}{r}}} \quad (9)$$

APÊNDICE B - SOLUÇÕES DA EQUAÇÃO DO MOVIMENTO COM RESISTÊNCIA DO AR

A partir da equação 3.6

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = - \left(mg + b \frac{dx}{dt} \right)$$

fazendo $\frac{d^2x}{dt^2} = v'$ e $\frac{dx}{dt} = v$ e designando por $\beta = \frac{b}{m}$ utilizando o método de Lagrange escreveremos

$$v' + \beta v = -g; \quad p(t) = \beta \text{ e } q(t) = -g$$

$$v(t) = e^{-\int \beta dt} \left[\int -g \cdot e^{\int \beta dt} dt + C \right]$$

$$v(t) = e^{-\beta t} \left[-g \int e^{\beta t} dt + C \right]$$

$$v(t) = e^{-\beta t} \left[-\frac{g}{\beta} e^{\beta t} + C \right]$$

$$v(t) = -\frac{g}{\beta} + C e^{-\beta t} \quad (10)$$

Para $t = t_0 = 0$, teremos $v(0) = v_0$

$$v(0) = v_0 = -\frac{g}{\beta} + C \quad \Rightarrow \quad C = v_0 + \frac{g}{\beta}$$

Substituindo na equação 10 temos

$$v(t) = -\frac{g}{\beta} + \left(v_0 + \frac{g}{\beta} \right) e^{-\beta t} \quad (11)$$

A equação 11 permite determinar a velocidade da partícula em um movimento vertical sob a resistência do ar.

fazendo a integração direta do resultado encontrado em 11, teremos

$$\int v(t)dt = \int \left[-\frac{g}{\beta} + \left(v_0 + \frac{g}{\beta} \right) e^{-\beta t} \right] dt$$

$$x(t) = \int -\frac{g}{\beta} dt + \int \left(v_0 + \frac{g}{\beta} \right) e^{-\beta t} dt$$

$$x(t) = -\frac{g}{\beta} t + \left(v_0 + \frac{g}{\beta} \right) \int e^{-\beta t} dt$$

$$x(t) = -\frac{g}{\beta} t + \left(v_0 + \frac{g}{\beta} \right) \frac{1}{-\beta} e^{-\beta t} + C$$

$$x(t) = -\frac{g}{\beta} t - \left(\frac{v_0}{\beta} + \frac{g}{\beta^2} \right) e^{-\beta t} + C \quad (12)$$

Para $t = t_0 = 0$, teremos $x(0) = x_0$ calculando encontraremos

$$x(0) = x_0 = - \left(\frac{v_0}{\beta} + \frac{g}{\beta^2} \right) + C \quad \Rightarrow \quad C = x_0 + \left(\frac{v_0}{\beta} + \frac{g}{\beta^2} \right)$$

Retornando a equação 12 e ajustando a posição dos termos, teremos

$$x(t) = -e^{-\beta t} \left(\frac{v_0}{\beta} + \frac{g}{\beta^2} \right) + x_0 + \frac{v_0}{\beta} + \frac{g}{\beta^2} - \frac{gt}{\beta} \quad (13)$$

A equação 13 permite determinar a posição da partícula em um movimento vertical sob a resistência do ar.



Universidade Federal do Oeste do Pará
 **MNPEF** Mestrado Nacional
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA Profissional em
Ensino de Física

PRODUTO EDUCACIONAL

O MOVIMENTO BALÍSTICO: DA EXPERIMENTAÇÃO À OLIMPÍADA
- UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA A PARTIR DE UM
RELATO DE EXPERIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA

AUTOR: Eliesio Alves da Silva
ORIENTADOR: Prof Dr. Damião Pedro Meira Filho

SANTARÉM - PA

2020

APRESENTAÇÃO

Esse material constitui o aqui chamado produto educacional, parte integrante do trabalho de conclusão do curso do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), da Sociedade Brasileira de Física (SBF), no polo 49 - Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). A sequência didática que será apresentada neste produto foi idealizada com intenção de ajudar os docentes e discentes no desenvolvimento, principalmente, de conceitos relacionados ao Lançamentos de Projéteis, perpassando pelas Leis de Newton, além de envolver conceitos de fluidodinâmica, gases e reações químicas, procurando integrar teoria e experimentação.

Esta sequência, teve como projeto “piloto” alunos do Ensino Médio Técnico Integrado de turmas de 1º Ano e 3º Ano de uma Escola Pública da cidade de Itaituba no Estado do Pará.

Este material é composto por atividades práticas, experimentos, aulas expositivas e oficinas, proporcionando aos alunos a construção dos princípios conceitos teórico-matemáticos, requisitos para o entendimento dos fenômenos estudados.

Pretende-se, com esse material, colaborar com o Ensino de Física, por meio de uma sequência didática, na qual o estudante pode relacionar o movimento de um corpo com o conjunto de forças que age sobre ele, à possível trajetória que este descreverá e a relação desta com as equações matemáticas e suas aplicações.

A sequência didática em si explora, a partir da atividade prática do lançamento de foguetes, o estudo do movimento balístico, e retrata, a partir de um relato de experiência do professor pesquisador nas escolas que lecionou a disciplina Física nos últimos 20 anos, o passo-a-passo para se realizar essa atividade experimental e até mesmo incentivar a participação dos alunos em uma olimpíada de conhecimento: A Olimpíada Brasileira de astronomia e astronáutica OBA/MoBFog (Mostra Brasileira de Foguetes), organizada pela Sociedade Brasileira de Astronomia (SBA).

Para a aplicação da sequência didática apresentada, é importante que o professor relembre, junto com os seus alunos, conceitos importantes de cinemática, no que diz respeito a velocidade e o tipo de movimento descrito por uma partícula, e dinâmica, ligados às leis de Newton, possivelmente já estudados no último ano do Ensino Fundamental. Esses conceitos não serão abordados neste produto; contudo, o professor, ao fazer uso deste produto, poderá demonstrar a origem dos mesmos em momento posterior, dependendo do nível de interesse/entendimento das turmas.

Nas oficinas, são necessários poucos artefatos físicos, a grande maioria dos materiais podem ser encontrado nas residências dos alunos e a construção dos protótipos poderá ser feita em sala de aula, caso a escola não tenha laboratório de Física. Além disso, as atividades que compõem a sequência possuem caráter multidisciplinar, ainda que isso não seja evidenciado, os experimentos podem ser compartilhados com outros componentes curriculares como a Química e a Matemática, além da alusão ao momento histórico da invenção e utilização dos foguetes.

Espera-se que essa sequência didática possa contribuir na forma de ensinar dos colegas professores, e ser significativa na ampliação dos horizontes cognitivos dos alunos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Relato de conhecimentos prévio dos grupos 1 e 2 na Atividade preliminar	13
FIGURA 2 – Alunos realizando a Atividade preliminar	13
FIGURA 3 – Alunos realizando a Atividade 2	14
FIGURA 4 – Equipes construindo seus foguetes durante a oficina	17
FIGURA 5 – Aplicativo de modelagem do corpo do foguete	18
FIGURA 6 – Aplicativo de modelagem do corpo do foguete	20
FIGURA 7 – Bases de lançamento dos foguetes utilizadas em outras escolas no passado	20
FIGURA 8 – Construção das bases de lançamento	21
FIGURA 9 – ângulo de alcance máximo teórico	21
FIGURA 10 – Alguns modelos bases de lançamento dos foguetes construídos na oficina	21
FIGURA 11 – Equipes no campo de lançamento	23
FIGURA 12 – Anotações dos lançamentos de um dos grupos	24
FIGURA 13 – Informações de materiais, corte e montagem da base de lançamento	34
FIGURA 14 – Molde do cone da ponta do foguete	35

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Descrição dos itens que compõem a SD	10
TABELA 2 – Tabulação dos valores calculados por grupo a partir do melhor lançamento	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel	6
1.2	Organizadores prévios	7
1.3	Sequências didáticas	8
1.4	Objetivos	8
2	SEQUÊNCIA DIDÁTICA	10
2.1	Atividades iniciais	10
2.1.1	Atividade Prática Preliminar	11
2.1.2	Aprendendo a Formular Perguntas	13
2.2	Construção dos Protótipos	16
2.3	Lançamento de Foguetes	22
2.4	Determinando Resultados	24
2.5	Avaliação das Atividades da Sequência Didática	25
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
	REFERÊNCIAS	28
	APÊNDICES	29
	APÊNDICE A FOLHA DE RESPOSTAS DA ATIVIDADE	30
	APÊNDICE B INFORMAÇÕES FOGUETE E BASE	34
	APÊNDICE C INFORMAÇÕES DA PONTA DO FOGUETE	35

1 INTRODUÇÃO

Antes de se falar das etapas da sequência didática, tem-se que levar em conta que nem sempre os alunos estão sujeitos a mesma motivação; atribuir notas a uma atividade pode gerar o processo de “participação por ponto”, uma resposta natural por conta de estímulo “nota” introduzido no processo. É necessário que o professor comece trabalhar aspectos que vão além do processo quantitativo ou mesmo da pura recompensa pelo trabalho.

1.1 Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel

David Paul Ausubel (1918 - 2008), nascido e falecido em Nova York, graduado em psicologia pela Universidade da Pensilvânia (1939), mestre em psicologia experimental pela Universidade de Columbia (1940), graduado em medicina pela Universidade de Middlesex (1943), PhD em psicologia do desenvolvimento pela Universidade de Columbia (1950), dedicou sua carreira acadêmica à psicologia educacional no que tange às suas implicações para o ensino e a aprendizagem em sala de aula. É um representante do cognitivismo e, como tal, propõe uma explicação teórica do processo de aprendizagem, segundo o ponto de vista cognitivista, ou seja, em processos que ocorrem na mente.

Na concepção de (AUSUBEL, 2003), a Aprendizagem Significativa é um processo de reestruturação da estrutura cognitiva do aluno, que ocorre mediante uma interação de uma nova ideia que faça sentido lógico para ele com outra igualmente lógica e relevante, pertencente ao cabedal que traz consigo (subsunção). O processo descrito, segundo o próprio, ocorre da seguinte maneira:

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, p. vi, grifo do autor).(AUSUBEL, 2003)

Para MOREIRA (2004), essa aprendizagem ocorre quando uma nova informação ancora-se em conceitos ou proposições relevantes, preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. De acordo com esse autor, Ausubel vê o armazenamento de

informações no cérebro humano como sendo organizado, formando uma hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados (e assimilados) a conceitos mais gerais, mais inclusivos. Para Ausubel, ainda de acordo com Moreira, "...a **estrutura cognitiva** significa, portanto, uma estrutura hierárquica de conceitos que são representações de experiências sensoriais do indivíduo" (MOREIRA, 2014, p. 161, grifo do autor).

Para facilitar a aprendizagem significativa levaremos em conta quatro tarefas fundamentais, proposta por MOREIRA (1999).

1. Identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino, isto é, identificar os conceitos e princípios unificadores, inclusivos, com maior poder explanatório e propriedades integradoras, e organizá-los hierarquicamente de modo que, progressivamente, abranjam os menos inclusivos até chegar aos exemplos e dados específicos.
2. Identificar os subsunçores (conceitos, proposições, ideias claras, precisas, estáveis) relevantes à aprendizagem do conteúdo a ser ensinado, que o aluno deveria ter em sua estrutura cognitiva para poder aprender significativamente este conteúdo.
3. Diagnosticar aquilo que o aluno já sabe; determinar, dentre os subsunçores especificamente relevantes (previamente identificados ao "mapear" e organizar a matéria de ensino), quais os que estão disponíveis na estrutura cognitiva do aluno.
4. Ensinar utilizando recursos e princípios que facilitem a aquisição da estrutura conceitual da matéria de ensino de uma maneira significativa. A tarefa do professor aqui é a de auxiliar o aluno a assimilar a estrutura conceitual da matéria de ensino e organizar sua própria estrutura cognitiva nessa área de conhecimentos, por meio da aquisição de significados claros, estáveis e transferíveis.

1.2 Organizadores prévios

Para Moreira, Sousa e Silveira (1982) e Sousa (2009): "o uso de organizadores prévios é uma estratégia proposta por Ausubel para deliberadamente manipular a estrutura cognitiva, entendida como a estrutura de conhecimento do indivíduo, a fim de facilitar a aprendizagem significativa".

Segundo a teoria ausubeliana, o conhecimento prévio é o fator mais relevante das condições necessárias para que a aprendizagem significativa ocorra. Aliados aos

conhecimentos prévios, desempenham um papel importante no processo: a linguagem e à organização dos materiais de ensino e à predisposição em aprender.

Ausubel argumenta que a aprendizagem é um processo ativo no sujeito e que exige deste a capacidade de organização interna de suas estruturas cognitivas, levando em conta os conhecimentos previamente construídos e já “ancorados” por ele.

De acordo com este teórico, “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; descubra isso e ensine-o de acordo” Ausubel (apud MOREIRA, 1999: p.163)(MOREIRA, 1999).

1.3 Sequências didáticas

Este Produto Educacional encontra-se organizado a partir da integração de experimentos, oficinas, material textual e simuladores, com desenvolvimentos teóricos na forma de uma Sequência Didática, procurando configurá-lo metodologicamente, como o mais relevante possível, para o desenvolvimento e construção de conceitos e de temáticas no campo de ensino da Física, oportunizando um espaço importante para discussões e reflexões e visando contribuir de forma significativa para a efetivação da aprendizagem.

1.4 Objetivos

Propor uma sequência didática significativa para o ensino do lançamento de projéteis (movimento balístico), relacionando a prática experimental do lançamento de foguetes com as principais ideias da teoria sobre o movimento dos corpos próximos à superfície da Terra, composição de movimentos e forças de resistência do ar. Esse objetivo pode ser especificado por:

- Buscar compreender como se dá aprendizado de forma significativa nas estruturas cognitivas do estudante a partir dos referenciais da Teoria de Ausubel;
- Utilizar atividades experimentais como ferramentas de ensino-aprendizagem;
- Estabelecer a importância dos organizadores prévios dos alunos percebidos a partir de uma atividade experimental como estruturantes da ampliação do processo cognitivo;
- Diagnosticar o nível do conhecimento construído pelos estudantes a partir de questionamentos respondidos com a aplicação da sequência didática;
- Construir protótipos de foguetes a partir de materiais reutilizáveis (garrafas pet);

- Aplicar conceitos físicos e químicos relacionando-os com o conhecimento matemático;
- Analisar a trajetória e as possíveis causas das variações no movimento após cada lançamento;
- Relacionar o ângulo de lançamento e a velocidade com as quantidades de combustível utilizado;
- Demonstrar a construção das equações para o cálculo da velocidade de lançamento, tempo de voo e altura máxima atingida por um projétil em voo balístico, a partir dos resultados encontrados nas atividades experimentais da sequência;
- Utilizar a experimentação para promover o ensino de tópicos de Física;
- Promover a criatividade e a curiosidade do discente;
- Desenvolver a colaboração e a participação dos alunos em cada etapa da atividade.

2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O desenvolvimento desta sequência didática pretende apresentar aos docentes uma proposta experimental como alternativa para o ensino dos tópicos relacionados ao lançamento oblíquo (aqui chamado de movimento balístico), suas equações e aplicações do mesmo. As atividades a serem desenvolvidas necessitam de poucos materiais, de forma que os alunos podem colaborar trazendo alguns de suas residências. O objetivo principal é fazer que o ensino-aprendizagem aconteça de forma interativa e, ao mesmo tempo, instigadora, na qual o estudante participa da construção do conceito, colocando seu ponto de vista, estabelecendo hipóteses, verificando os resultados e refletindo sobre os mesmos.

A tabela 1 ilustra a organização das atividades por aulas, etapas, conteúdos e metodologias a serem utilizadas durante a aplicação da SD.

TABELA 1 – Descrição dos itens que compõem a SD

Quant. Aulas	Etapas	Conteúdos e Atividades	Metodologia e ferramentas
2	Atividades Iniciais	* Atividade Prática Preliminar * Aprendendo a formular perguntas	Atividades Experimentais
2	Construção de Protótipos	* Construção dos foguetes * Construção das bases de lançamento	Oficinas de construção
2	Lançamento dos foguetes	Experimento envolvendo conceitos físico e químicos	Experimentos Realizado em campo
2	Resultados e Análises	lançamento de projéteis: horizontal e oblíquo	Aula expositiva, conteúdo lançamentos horizontal e oblíquo livres resistência do ar
2	Avaliação da SD	Preenchimento da Folha de avaliação Apêndice A	Atividades avaliativa, responder questionário em grupos

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

2.1 Atividades iniciais

São propostas duas atividades experimentais iniciais a serem aplicadas nas turmas, cujo objetivo é a organização das estruturas cognitivas por meio dos conhecimentos prévios, identificadas por: **1.** atividade prática preliminar e **2.** aprendendo a formular perguntas.

2.1.1 Atividade Prática Preliminar

Pretende-se que esta atividade funcione como um organizador prévio, com objetivo de verificar quais conhecimentos os alunos dispõem sobre pressão, volume e espaço ocupado. A partir das indagações que surgirão na tentativa de responder aos questionamentos pré-elaborados, visando a saída da “zona de conforto cognitivo¹” do estudante, no sentido de tentar explicar algumas situações que provavelmente já tenham sido experimentadas por eles.

Atividade PRÁTICA 1

Nome da Atividade: Um entra e outro sai.

Objetivo da Atividade

Identificar os conhecimentos prévios sobre pressão, volume e espaço ocupado

Procedimento a ser realizado

Encher um balão de látex com ar dentro de uma garrafa PET

Materiais Necessários por grupo

- 1 garrafa PET
- 1 balão de látex

Materiais de Apoio

- algumas canetas esferográficas
- pedaços de tubo PVC
- canudos plásticos
- palitos para churrasco
- fita adesiva

¹ Kahneman (2012) em seu livro “Rápido e devagar, duas formas de pensar” faz uma comparação do sistema cognitivo do indivíduo em 2 sistemas, o primeiro(sistema 1) que opera rapidamente e sem muito esforço e o segundo(sistema 2) que é acionado sempre que uma atividade mais complexa é apresentada. Para esse autor, a zona de conforto cognitivo é estabelecida sempre que o indivíduo procura utilizar apenas o sistema 1.

Observação 1

- (a) *Os materiais de apoio são dispostos sobre uma mesa.*
- (b) *Os alunos deverão realizar a atividade em 2 momentos:*
- 1. sem o material de apoio;*
 - 2. com material de apoio.*

Etapas da atividade

1. Os alunos são divididos em grupos (3 estudantes por grupo) conforme afinidade;
2. São entregues aos grupos uma garrafa PET e um balão de latex;
3. É proposto o desafio: Encher o Balão dentro da Garrafa.
4. Antes de iniciar o procedimento, pergunta-se aos grupos: o que cada um imagina fazer para realizar a tarefa?
5. Após anotação das respostas dos grupos, pede-se que os mesmos tentem realizar o proposto;
6. Em seguida pede-se que os grupos relatem as situações de sucesso/fracasso e o possível motivo das mesmas;
7. Após anotações, sugere-se que cada grupo possa utilizar um dos materiais da mesa como apoio na realização da atividade proposta;

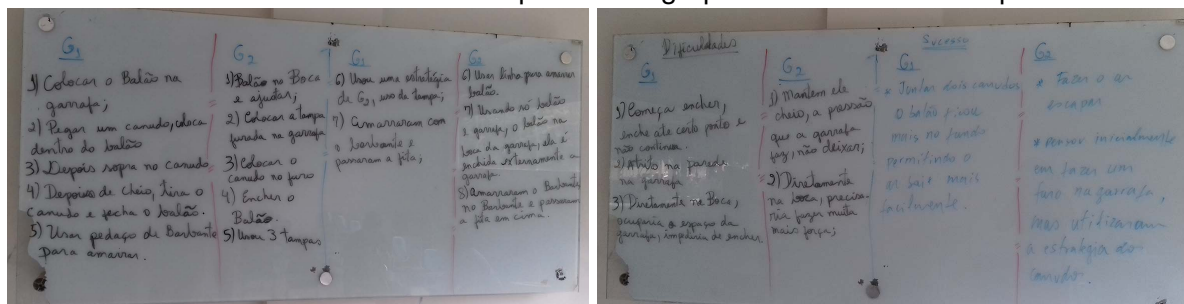
Observação 2 *Os grupos que não conseguirem o feito na primeira tentativa, poderão utilizar mais de um material.*

8. Após conclusão da tarefa cada grupo deverá reportar as situações de sucesso/fracasso e o motivo das mesmas;

Sugere-se fazer um painel de anotação para os grupos, conforme exemplo da Figura 1.

Uma vez respondidas as questões, o aplicador da atividade precisa observar os questionamentos e comparar as soluções pensadas e realizadas pelos grupos, buscando perceber o conhecimento prévio dos alunos e a possibilidade de reorganização da estrutura cognitiva destes na assimilação das informações, como saberes voltados a solução da situação problema proposta.

FIGURA 1 – Relato de conhecimentos prévio dos grupos 1 e 2 na Atividade preliminar



Fonte: Acervo do autor

A atividade prática preliminar é apenas uma sugestão, podendo ser substituída por outra atividade similar (que aborde os mesmos princípios). Contudo, salienta-se a necessidade da realização da mesma para que o aluno tenha uma base durante a realização da atividade prática de lançamento de foguetes presente nesta SD. A figura 2 ilustra etapas da atividade.

FIGURA 2 – Alunos realizando a Atividade preliminar



Fonte: Acervo do autor

2.1.2 Aprendendo a Formular Perguntas

Após aplicação da primeira atividade prática, aproveitando a ideia de reorganização das estruturas cognitivas, é interessante aplicar outro experimento que possa instigar os alunos a novos questionamentos de forma a movê-los de suas zonas de conforto cognitivo. Todavia, os questionamentos desencadeados a partir da atividade deverão ser mediados de forma a leva-los a pensarem em explicações lógicas dentro do contexto que a atividade se propõe. Cabe ao professor, durante esse processo, realizar uma breve sondagem dos conhecimentos prévios de seus alunos e, a partir disso, conduzir as discussões no decorrer da aplicação da sequência.

A ideia centrada nesta segunda atividade experimental dá-se, devido as atividades seguintes da sequência didática, estarem mais voltada ao caráter construtivo e experimental. No entanto, é possível trocá-la por outra atividade experimental ou um

questionário, que abranja o mesmo sentido e possa ensinar os alunos a formularem perguntas.

Nesta atividade, o que se espera é que o aluno consiga, ao final da mesma, relacionar o princípio da ação e reação com o movimento dos balões, relacionando-o com os conceitos de pressão e volume, anteriormente manipulados.

Atividade PRÁTICA 2

Nome da Atividade: Soltei um gás

Objetivo da Atividade

Buscar estabelecer conceitos de pressão e volume como pontos de ancoragem em relação aos conceitos de velocidade e força.

Material utilizado por grupo

- 1 balão de látex
- 1 pedaço de canudo plástico ($\pm 10\text{cm}$)
- 10 metros de barbante
- fita adesiva

Descrição da atividade

A atividade será realizada em grupos de 3 alunos, consiste em encher um balão e mantê-lo cheio segurando pela ponta, passar um pedaço de canudo plástico por barbante pender com fita adesiva o balão no sentido longitudinal no canudo, esticar o barbante, liberar o balão e inferir sobre o fenômeno observado. A figura 3 ilustra a realização da atividade.

FIGURA 3 – Alunos realizando a Atividade 2



Fonte: Acervo do autor

Procedimentos para realização da atividade

Após a divisão da turma em grupos (3 alunos por grupo) e a distribuição materiais aos grupos, estes deverão seguir o passo a passo a seguir.

1. passe o barbante através do pedaço de canudo e reserve-o.
2. encha com ar o balão de látex.

Observação 3 *Pede-se cuidado para não estourá-lo. Caso ocorra, o balão será substituído por outro e repete-se a operação. Pede-se para não amarrá-lo.*

3. mantendo o balão cheio, sem deixar esvaziar, cola-se com fita adesiva na parte central do balão (sentido meridional) o canudo transpassado pelo barbante.
4. estica-se o barbante de forma a posicionar a extremidade da “boca do balão”, presa por um dos alunos, em um dos extremos do barbante.
5. antes de liberar o balão, questiona-se aos grupos sobre o que estes esperam que ocorra ao liberar os balões.

O professor deverá anotar (ou pedir para um aluno auxiliá-lo na tarefa) os questionamentos que serão levantados a partir da pergunta inicial.

Esta fase do experimento é muito importante, pois é possível que alguns alunos nunca tenham realizado uma atividade experimental e pedir para os mesmos imaginarem o que pode ocorrer, talvez os faça responder, a partir da vivência deles, possivelmente com respostas diferentes daquelas que a maioria dos professores gostaria de ouvir. Cabe ao professor, então, delimitar essa parte do processo, aparando as arestas e inserindo discussões a respeito das respostas dos alunos, associando estas a outros fenômenos do cotidiano.

Uma vez que o professor, mediador do processo, entender que já conseguiu extrair as principais ideias relacionadas ao fenômeno, passa-se ao próximo passo. Dependendo das turmas envolvidas, as repostas podem ter suas particularidades.

6. libera-se os balões e observa-se o ocorrido.

Após observação do ocorrido, o professor deverá questionar os alunos se suas previsões teóricas foram satisfeitas, se não, pedir para que estes pensem no motivo do resultado observado e as possíveis explicações para isso.

7. pede-se então que os grupos formulem hipóteses. Se necessário, questione-os a respeito da existência de algum princípio físico envolvido e se os alunos sabem qual.

A fase de levantamento de hipóteses a partir do observado é de extrema importância, pois a mesma leva os alunos ao auto questionamento sobre os resultados observados, parte essencial no desenvolvimento do processo investigativo. As duas atividades realizadas na primeira etapa da sequência visavam descobrir o conhecimento prévio dos alunos e ensina-los a organizar estes conhecimentos, para serem utilizados durante as etapas seguintes da aplicação da SD.

Dando seguimento à sequência, o professor deverá fazer um momento de sondagem, buscando retomar as questões respondidas e levantadas a partir das atividades experimentais 1 e 2, questionando a respeito da trajetória do balão na atividade 2, sobre seu formato caso o fio deixasse de existir no experimento e o porque dos desvios. A partir das respostas, é possível que o professor possa ter uma noção da situação dos conhecimentos prévios dos alunos, pelo menos qualitativamente a respeito do fenômeno.

Nas primeira e segunda atividades da SD, prevalecem, inicialmente, o caráter qualitativo, mas a medida que as atividades vão se desdobrando surgirão questionamentos que, para serem respondidos com maior precisão, deverão explorar os aspectos quantitativos.

Antes de aplicar as próximas atividades da SD, o professor pode combinar com os estudantes a utilização do laboratório (caso a escola tenha esse espaço) ou a sala de aula e a organização dos materiais, caso a escola não disponha de todos.

A turma deverá ser dividida em grupos a fim de promover o trabalho em equipes e facilitar a tarefa de conseguir os materiais.

2.2 Construção dos Protótipos

Esta etapa da SD ocorrerá por meio de duas oficinas: **1.** oficina de construção de foguetes e **2.** oficina de construção das bases de lançamento, demandando uma carga horária mínima por turma aplicada de 4 aulas, de acordo com a tabela 1.

Oficina de construção de foguetes

Objetivos da Atividade

- * Construir um dispositivo utilizando materiais reutilizáveis
- * Aplicar os conceitos abordados nas atividades anteriores.
- * Relacionar a resistência do ar ao desempenho do protótipo construído.

Materiais e ferramentas necessárias por grupo

2 garrafas PET de 2 litros

1 pasta plástica porta-arquivos (pode ser substituída por papel catão, papelão ou material equivalente)

1 rolo de fita adesiva (sugere-se fita isolante ou fita adesiva)

1 balão de látex

100 g de areia comum (cuidado ao coletar)

1 régua de 30 cm ou maior

1 tesoura

Adesivos para a personalização (opcional)

Antes de iniciar a construção dos foguetes, sugere-se que o professor retorne a fala sobre a resistência do ar, que certamente surgiu nas respostas ao questionamento da trajetória que o balão seguiria se este não fosse conduzido pela corda. Caso o professor tenha a disposição em sua escola um data show, seria interessante ele passar o vídeo do Brian Cox visits the world's biggest vacuum | Human Universe - BBC, disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=E43-CfukEgs>>.

A partir desse vídeo, o professor fornece uma folha e solicita que os alunos, nos seus respectivos grupos, esbocem na folha o projeto de seus foguetes e destaque os elementos de estabilização de movimento considerando a resistência do ar. Figura 4

FIGURA 4 – Equipes construindo seus foguetes durante a oficina



Fonte: Acervo do autor

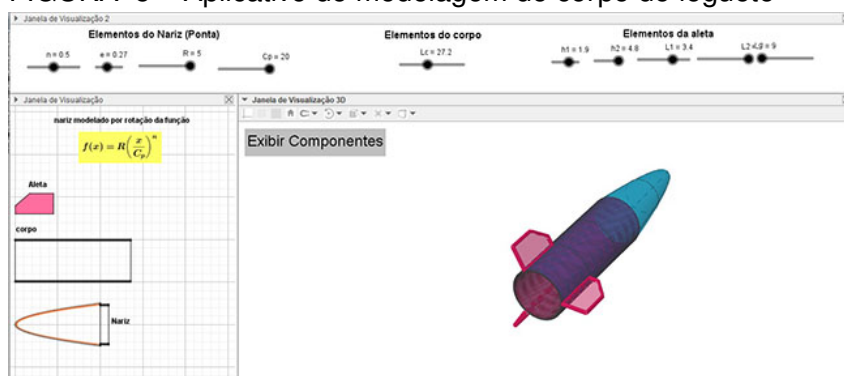
Esse é um ponto de grande relevância para a construção desse conceito, dado que a maioria dos livros didáticos resolvem o problema do movimento de projéteis de

forma simplificada, removendo das equações a resistência do ar, tornando o raciocínio mais simplificado, porém pouco realista.

Após assistir ao vídeo e discutir sobre a influência do ar no movimento dos protótipos a serem construídos, o professor deverá apresentar o *applet*² desenvolvido no GeoGebra³ disponível em <<https://www.geogebra.org/m/gesjabbx>> como material de apoio para analisar e definir alguns parâmetros do corpo dos foguetes. Neste *applet*, é possível, pela modificação de parâmetros, modelar o corpo, as aletas e a ponta do foguete.

Durante a apresentação do *applet*, na ocasião da construção dos foguetes, o professor deverá fazer questionamentos a respeito das aletas - formato e quantidade - e do nariz - sobre os formatos do mesmo e sobre sua influência aerodinâmica para foguete durante o movimento. Figura 5

FIGURA 5 – Aplicativo de modelagem do corpo do foguete



Fonte: geogebra.org (2019)

Para realizar os questionamentos a respeito das aletas (elementos estabilizadores), serão utilizadas as perguntas presentes na folha de resposta da atividade - Apêndice 3, e apresentadas na sequência abaixo:

1. O que faz um foguete ter melhor desempenho que outro? (Não esquecendo a análise do peso de cada foguete)
2. Quão pequenas as aletas podem ser e ainda estabilizar o foguete?
3. Quantas aletas um foguete precisa para estabilizá-lo?

² Applet é um software que é executado no contexto de outro programa. Os applets geralmente tem algum tipo de interface de usuário, ou fazem parte de uma destas dentro de uma página da web. O termo foi introduzido pelo Apple Script em 1993. <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Applet>>

³ O GeoGebra é um software de matemática dinâmica gratuito e multiplataforma para todos os níveis de ensino, que combina geometria, álgebra, tabelas, gráficos, estatística e cálculo numa única aplicação. Foi criado em 2001 como tese de Markus Hohenwarter. Atualmente, é usado em 190 países, traduzido para 55 idiomas. (Instituto GeoGebra UESB, disponível em <http://www2.uesb.br/institutogeogebra/?page_id=7>

4. O que aconteceria se você colocasse o aletas de foguete perto do nariz do foguete?
5. O que aconteceria com o foguete se você dobrasse as pontas inferiores das aletas assemelhando-o a um catavento?
6. As aletas de foguete são necessárias no espaço sideral?

Após a discussão deverá ser iniciada a construção dos foguetes. Segundo a sequência

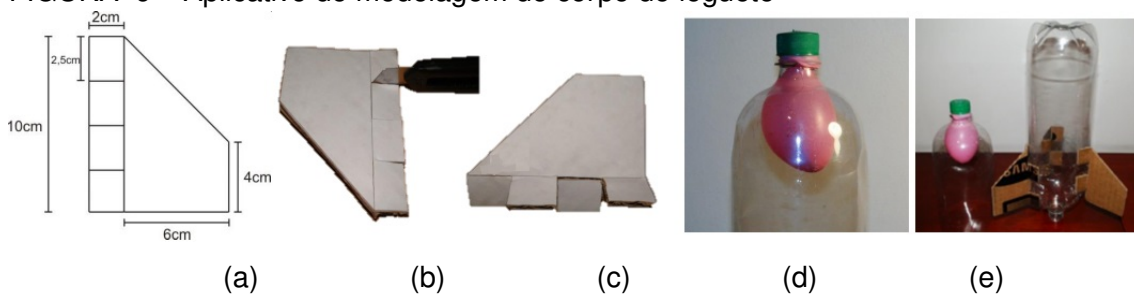
1. Corta-se de acordo com o molde (Apêndice 3) a ponta do foguete;
2. corta-se e dobra-se as aletas do foguete de acordo com a figura 6(a) a (c);
3. Corta-se uma das garrafas transversalmente 10 cm acima da base- figura 6(d);
4. coloca-se a areia em um pedaço de sacola plástica formando um pacote e prende-se com auxílio de fita adesiva no fundo da segunda garrafa;
5. Encaixa-se a parte de cima da garrafa cortada na base da segunda garrafa, alinhando-as;
6. Passa-se a fita isolante para fixar as garrafas;
7. Dobram-se as aletas e fixe-as, com a fita isolante ou adesiva, na estrutura formada pelas garrafas- figura 6;

Antes de colar a ponta, os alunos do grupo deverão arremessar o foguete a uma certa distância, um para o outro, como se este fosse um grande dardo, com objetivo de verificar a estabilidade e distribuição de massa. Se o foguete efetuar o voo sem desviar-se, passa-se a próximo item, se necessário o grupo pode utilizar o balão de látex para acrescentar massa à ponta do foguete; colocando na ponta da garrafa cortada uma quantidade de água e fechando-a com a tampa.

8. Dobra-se a estrutura da ponta e fixe-as na estrutura das garrafas, seguir instrução do molde - Apêndice 3;
9. Adiciona-se os elementos de decoração (opcional).

A figura 6 de (a) até (e) apresenta alguns procedimentos descritos.

FIGURA 6 – Aplicativo de modelagem do corpo do foguete



Fonte: adaptada de oba.org.br

Oficina de construção de base de lançamento para foguetes

Objetivos da Oficina

Construir bases de lançamento para os foguetes considerando:

- * quantidade mínima de material;
- * segurança;
- * praticidade do uso;
- * ângulo de melhor desempenho no lançamento.

Antes do início da oficina, deverão ser retomados alguns aspectos abordados na oficina anterior: a forma do trabalho em grupos, a divisão de tarefas sobre os materiais necessários que cada membro do grupo deveria providenciar - essa dinâmica ficará a cargo de cada grupo. Caso seja possível, a escola poderá se responsabilizar pelos materiais que os alunos não dispõem em casa, tais como cano pvc, conexões e cola para tubo; caso contrário, o professor deverá rever a dinâmica de aquisição desse material, pelo menos para a construção de duas bases.

Ao iniciar os trabalhos, sugere-se ao professor aplicador mostrar algumas fotos das bases utilizadas em outras escolas. Figura 7.

FIGURA 7 – Bases de lançamento dos foguetes utilizadas em outras escolas no passado



Fonte: Acervo do autor

A oficina de construção de bases deverá explorar mais o caráter técnico, com explicações detalhadas sobre os elementos estruturais e medidas destes, do que a formulação de hipóteses. Contudo, é possível realizar a explorar teórica da atividade,

cabendo ao professor aplicador tal decisão, de acordo com o número de aulas utilizados na SD. A figura 8 ilustra alguns momentos de construção das bases durante a aplicação da SD.

FIGURA 8 – Construção das bases de lançamento



Fonte: acervo do autor

É importante que o professor aplicador realize uma discussão sobre o modelo mais eficiente, levando em conta aspectos como robustez, quantidade de material utilizado, segurança e facilidade de operação. Nesta discussão, caso não apareça o fator ângulo de inclinação, o professor deverá colocar esse ponto em discussão para que os alunos percebam a influência do ângulo de lançamento no alcance máximo do projétil lançado. A figura 9 ilustra a medida do ângulo ideal para o lançamento.

FIGURA 9 – ângulo de alcance máximo teórico



Fonte: adptado de oba.org.br

A Figura 10 ilustra algumas bases construídas durante a oficina.

FIGURA 10 – Alguns modelos bases de lançamento dos foguetes construídos na oficina



(a)

(b)

Fonte: Acervo do autor

Materiais e ferramentas necessárias por grupo

- 6 conexões pvc tipo “T” de 20 mm
- 2 m de tupo pvc 20 mm
- 4 joelhos de pvc 20 mm
- 2 registro tipo bola de 20 mm
- 1 tubo de cola pequeno para cano pvc
- 1 abraçadeira de metal com rosca sem fim
- 4 abraçadeiras plásticas
- 5 cm de cano para esgoto 40 mm
- 2 ferros para a fixação no solo (opcional)
- 1 prego 2 polegadas (pode ser utilizado um palito para churrasco - não recomendável)
- 1 pedaço de borracha ou cortiça para vedar o cano
- 3 m de barbante
- 1 serra para tubos(pode ser utilizada por mais de um grupo)
- 1 folha de lixa(pode ser utilizada por mais de um grupo)

Os materiais relacionados correspondem às necessidades da base representada na figura 10(b), exceto o manômetro.

As informações das medidas, dos cortes e a montagem estão disponíveis no Apêndice 3.

2.3 Lançamento de Foguetes

Esta é a etapa experimental. Antes de se realizar os lançamentos, é fundamental que se converse com as turmas sobre a segurança envolvida neste tipo de procedimento, os riscos químicos e físicos que se corre ao manipular os reagentes e que a reação produzida gerará uma grande quantidade de pressão, sendo necessário seriedade na hora dos lançamentos e proteção dos olhos por óculos de segurança.

Objetivos da Atividade

Realizar o lançamento dos protótipos construídos, evidenciando:

- * os conceitos físicos e multidisciplinares relacionados ao lançamento;
- * a busca pelo maior alcance possível;

Material utilizado

- * foguetes
- * base de lançamento
- * um balão de látex
- * 700 ml de vinagre

* 100 gramas de bicarbonato de sódio.

* uma trena (10 metros pelo menos)

De posse dos reagentes (Bicarbonato e vinagre), os grupos deverão lançar os foguetes e, para isso, deverão colocar os reagentes no interior da garrafa (corpo do foguete). Neste momento, o professor deverá levantar o questionamento sobre a reatividade do “combustível”, e como os alunos farão para solucionar esse aparente problema técnico. Neste momento, caso os alunos não lembrem, o professor deverá retornar às suas memórias o experimento 1 da SD.

Resolvidas as particularidades, abastecidos os foguetes com os reagentes e posicionados em suas respectivas bases, os lançamentos deverão ser realizados.

A fase de lançamento deverá ser realizada na área livre e aberta, disponível na escola, ou em local apropriado como parques ou campo de futebol de alguma agremiação.

Após cada lançamento, o alcance (máxima distância horizontal percorrida durante o voo) de cada foguete deverá ser medido por intermédio da trena e anotado pelos grupos para uso futuro. A figura 11 ilustra alunos em preparação para o lançamento.

FIGURA 11 – Equipes no campo de lançamento



Fonte: Acervo do autor

Como medida de segurança, os grupos deverão adicionar na base de lançamento, uma válvula de aborto do experimento, pois, em situações de falha no lançamento, o grupo poderá ejetar, sem risco de acidente, a reação e analisar o que pode ter acontecido para o não disparo, recarregar o foguete e repetir o procedimento de lançamento. A figura 12 ilustra uma sequência de lançamentos de um grupo durante a aplicação da SD.

FIGURA 12 – Anotações dos lançamentos de um dos grupos

Quantidade e Alcance			
Bicarbonato de Sódio	Vinagre (ml)	Pressão (psi)	Alcance (cm)
80 g	630	82	153
56 g	750	50	—
90 g	800	80	117
80 g	700 + 200 ml H ₂ O	50	102

Fonte: Anotações dos grupos

2.4 Determinando Resultados

objetivos relacionados

relacionar o movimento do foguete, com outros movimento conhecidos no dia a dia dos alunos;

desenvolver o conceito físico relacionado ao movimento balístico;

modelar matematicamente o movimento balístico.

Esta etapa dará uma visão quantitativa, ainda que simplificada, do estudo do movimento bidimensional tratado no ensino médio, comumente chamado nos livros didáticos pelos termos: lançamentos horizontal e oblíquo.

Antes de mostrar aos alunos as equações que lhes permitirão determinar teoricamente a velocidade de saída do foguete, o tempo de voo e a altura que este atingiu, devem ser feitos alguns questionamentos aos grupos:

1. Vocês sabem como é o nome dado ao movimento que os foguetes realizaram durante o voo?

2. Esse movimento se parece com outros movimentos de objetos no dia a dia? Cite exemplos.

NOTA: O professor deve aproveitar o momento de reflexão e propor um experimento mental: **Um jovem encontra-se dentro de um ônibus em velocidade constante sentado e arremessando verticalmente para cima uma pequena bola.**

3. As trajetória observadas, se assemelham a alguma forma geométrica conhecida por você? Qual?

4. Comparando os momentos de subida e descida da bola arremessada pelo jovem e do foguete, o que você pode descrever a respeito das forças que agem sobre eles?

A partir da análise qualitativa a respeito do voo dos projéteis, o professor abre espaço para falar do principio da independência dos movimentos, e, a partir disso,

representa o movimento no plano como equações independentes e em função do tempo de voo (as chamadas funções horárias) ou em função da velocidade (chamadas de equações independentes de “t”).

Utilizando as equações adequadas e fazendo alguns ajustes, a partir o valor do Alcance, os alunos deverão calcular de forma simplificada: Velocidade de Lançamento, Altura Máxima atingida e Tempo de Voo.

Deve-se observar aos alunos que os valores a serem encontrados, são apenas estimativas, pois a realização dos cálculos não levará em consideração a força resistiva que o ar exerce durante o movimento de voo dos foguetes. Deverá ser enfatizado que, na prática, esse procedimento só poderia ser verificado se a atmosfera deixasse de existir, ou ele fosse realizado no vácuo.

A tabela 2 ilustra os resultados obtidos pelos 7 grupos que participaram da SD a partir dos valores calculados nas folhas de avaliação da SD. Apêndice 3.

TABELA 2 – Tabulação dos valores calculados por grupo a partir do melhor lançamento

Grupo	Melhor alcance(m)	Velocidade de Lançamento (m/s)	Altura Máxima(m)	Tempo de Voo(s)
1	120	34,31	30,00	4,95
2	80	28,01	20,00	4,04
3	38	19,31	9,50	2,78
4	29	16,87	7,25	2,43
5	101	31,48	25,25	4,54
6	50	22,15	12,50	3,19
7	153	38,74	38,25	5,59

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

2.5 Avaliação das Atividades da Sequência Didática

Ao término da atividade, cada grupo deverá receber uma folha de cálculo, Apêndice 3, na qual, a partir dos dados a serem obtidos no lançamento, poderão determinar os demais parâmetros necessários para se obter as equações da velocidade em função do tempo, da altura em função do tempo, da velocidade em função da distância e a equação parabólica associada ao movimento livre da resistência do ar.

A folha de avaliação, chamada de folha de resposta da atividade construção e lançamento de foguetes, apresenta os objetivos da atividade, a descrição das etapas e os materiais necessários para executá-la.

Qualitativamente, a avaliação aborda questões sobre a estrutura de estabilidade e sustentação do foguete, a qual o aluno deverá responder a partir das discussões e hipóteses a serem levantadas em sala de aula durante a aplicação da SD.

Lembrando que até antes da fase de avaliação da SD, o aluno tem a possibilidade de pesquisar sobre o tema e a relação do mesmo com a Física.

Para responder as questões que envolvem cálculos, deverão ser utilizadas as equações desenvolvidas pelo professor durante a fase **Determinando Resultados**. Ao término da fase mencionada, sugere-se ao professor a aplicação de uma pequena lista de exercícios para fixação das principais ideias trabalhadas. As questões precisam ser atuais, preferencialmente de vestibulares ou Enem.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades desta SD podem oferecer uma proposta inovadora, considerando o fato de ser realizada por meio de atividades práticas e experimentais: oficinas de construção de foguetes e bases, durante as quais os alunos, independentes das turmas que fazem parte na instituição, podem formar equipes para competirem.

Além da ludicidade e interatividade, a sequência pode apresentar um caráter integrador, possibilitando uma maior interação entre os alunos, troca de informações, e mais interesse por alguns tópicos da disciplina.

Outra característica que pode ser atrelada a esta SD, é a competição olímpica, dado que as atividades foram pensadas para a promoção da física, levando-se em conta a participação da escola numa olimpíada de conhecimento.

As reflexões e discussões que podem surgir a partir das atividades iniciais, dependerá da capacidade de argumentação dos alunos e da condução na construção dos organizadores prévios por parte do professor aplicador.

No desenvolvimento das oficinas é necessário não perder o foco em relação ao tema em estudo: o movimento balístico. A construção de foguetes e bases deverá ter, além da finalidade do lançamento bem sucedido, a aplicação dos conceitos relativos ao movimento, à resistência do ar e a outros conceitos multidisciplinares advindos da química e da matemática presente na SD.

Nas fases de determinação de resultados e avaliação da SD, deve-se perceber que o aluno foi capaz de construir o conhecimento a respeito do movimento balístico, partindo dos seus conhecimentos prévios, e, pelo desdobramento das atividades, observar a organização desses conhecimentos, possibilitando a construção dos novos conceitos.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. [S.l.]: Lisboa(Portugal): Plátano Edições Técnicas, 2003.

KAHNEMAN, D. **Rápido e devagar: duas formas de pensar**. [S.l.]: Objetiva, 2012.

MOREIRA, M. A. **A Teoria de Ausubel. In: Aprendizagem Significativa**. [S.l.]: Brasília: Editora UnB, 1999.

MOREIRA, M. A.; SOUSA, C. M. de; SILVEIRA, F. L. da. Organizadores prévios como estratégia para facilitar a aprendizagem significativa. **Cadernos de pesquisa**, n. 40, p. 41–53, 1982.

SOUSA, C. **Pseudo-organizadores prévios como recursos instrucionais no ensino de Física**. Tese (Doutorado) — Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto . . . , 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A - FOLHA DE RESPOSTAS DA ATIVIDADE CONSTRUÇÃO E LANÇAMENTO DE FOGUETES

Professor. _____

Grupo nº: _____

CONSTRUÇÃO E LANÇAMENTO DE FOGUETE POR REAÇÃO QUÍMICA

OBJETIVO

Utilizar os princípios da dinâmica e as equações cinemáticas para relacionar a altura atingida por um projétil com o alcance (distância medida horizontalmente durante o voo balístico do projétil) do mesmo, conhecendo o ângulo de lançamento.

DESENVOLVIMENTO

CONSTRUÇÃO DOS PROTÓTIPOS

1. Os grupos serão formados por no máximo 3 alunos;
2. Os grupos em reunião em sala de aula dividirão as tarefas sobre quem traz qual material para a confecção do foguete;
3. Na data combinada entre os alunos e os professores do projeto, será realizada uma fala pelos professores do projeto e colaboradores a respeito dos foguetes reais, propulsão e sobre o MOBFog, a partir dessa fala iniciam-se os trabalhos para a confecção dos foguetes;
4. Após confecção será realizado os lançamentos dos protótipos dos grupos no local disponível para o lançamento na escola(a ser confirmado).

Observação: sugere-se que aos alunos que registrem todos os momentos filmando ou fotografando o evento.

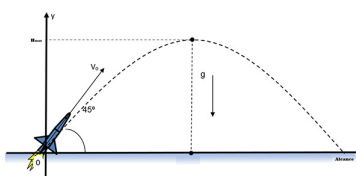
MATERIAL NECESSÁRIO

- 2 garrafas pet 2,0 l ou 1,5 l (sugere-se aos grupos discutirem qual a melhor garrafa para um voo mais longo?);

- 100 g de areia devidamente acondicionada;
- Fita isolante (preferencialmente) ou fita adesiva;
- 2 pacotes de bicarbonato de sódio (100 g cada)
- 1 ou 2 frascos de vinagre de 750 ml (qualquer cor)

PREENCHIMENTO DOS DADOS, CÁLCULO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Equações Associadas ao movimento do foguete nas condições ideais



Após realização do lançamento, os grupos serão responsáveis em anotar os resultados e limpar o local do lançamento;

No encontro seguinte ao evento, os grupos deverão trazer a ficha de avaliação dos lançamentos, com os devidos cálculos, resultados obtidos e considerações.

Questões propostas a partir do alcance do foguete

1. O alcance é dado pela expressão $d = \frac{V_0^2 \cdot \text{sen}2\theta}{g}$, para $\theta = 45$ a equação fica reduzida a
- $$d = \frac{V_0^2}{g}. \quad (1)$$

Reescreva a equação 1 para determinar a velocidade de lançamento V_0 em função do alcance.

a) calcule, com aproximação de duas casas decimais, a velocidade de lançamento.

2. A expressão que relaciona o tempo de voo (t) com a velocidade de lançamento (V_0) é dada por

$$d = V_0 \cdot \cos(\theta) \cdot t, \quad (2)$$

reescreva a equação 2 para determinar o tempo de voo.

b) calcule, com aproximação de duas casas decimais, o tempo de voo.

3. A altura do projétil é dada pela equação

$$h(t) = V_0 \text{sen}\theta t - \frac{gt^2}{2}. \quad (3)$$

A altura máxima ocorre quando o projétil atinge metade do tempo de voo, relacione a expressão encontrada no **item b)** com a equação da altura 3 para determinar a altura máxima independente de t .

c) calcule, com aproximação de duas casas decimais, a altura máxima atingida.

Onde necessitar utilizar $g = 9,8m/s^2$ e $\text{sen}45 = \text{cos}45 \approx 0,7$

SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO FOGUETE COMENTE

1. A respeito das aletas (elementos estabilizadores), buscou-se responder as seguintes questões:

a) O que faz um foguete ter melhor desempenho que outro? (Não esquecendo a análise do peso de cada foguete)

b) Quão pequenas as aletas podem ser e ainda estabilizar o foguete?

c) Quantas aletas um foguete precisa estabilizá-lo?

d) O que aconteceria se você colocasse o aletas de foguete perto do nariz do foguete?

e) O que acontecerá com o foguete se você dobrasse as pontas inferiores das aletas assemelhando-o a um catavento?

f) As aletas de foguete são necessárias no espaço sideral?

2. Sobre o nariz(ponta do foguete)

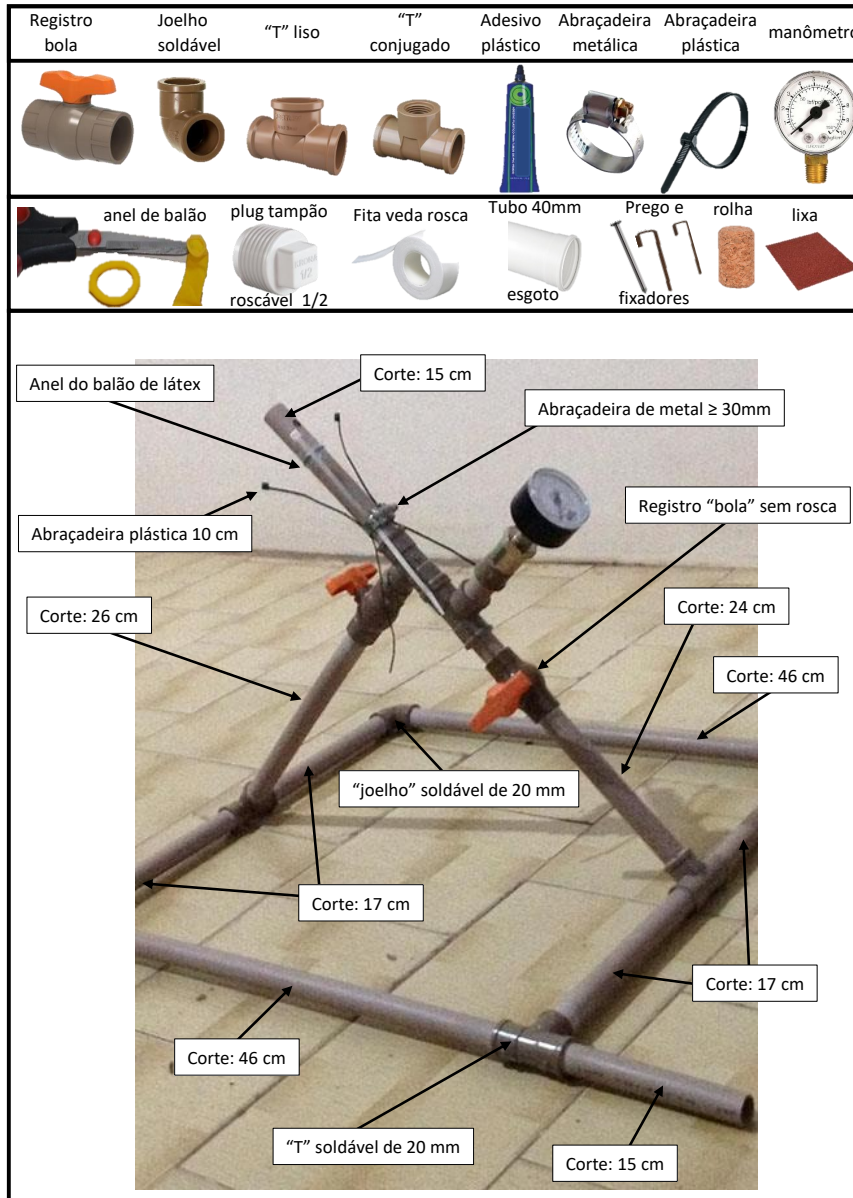
a) comente como o formato pode melhorar o desempenho do voo do foguete?

b) Considerando os formatos cônico e ogival o que faz um foguete ter melhor desempenho que outro?

3. Sobre a garrafa escolhida (corpo do foguete), comente como o formato pode melhorar o desempenho durante o voo do foguete?

APÊNDICE B - Informações para a construção do foguete e base de lançamento

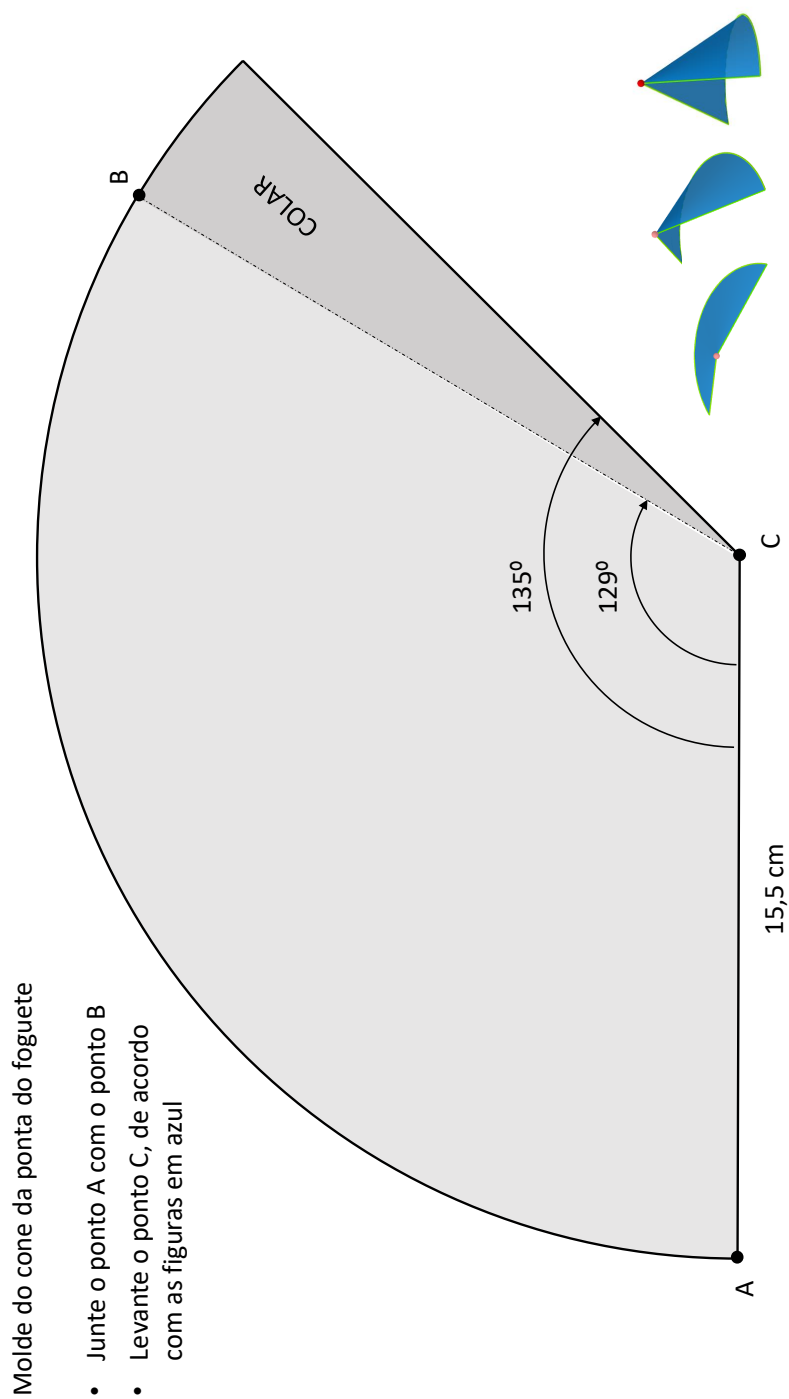
FIGURA 13 – Informações de materiais, corte e montagem da base de lançamento



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

APÊNDICE C - Informações para a construção do cone da ponta do foguete

FIGURA 14 – Molde do cone da ponta do foguete



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

ANEXOS

ANEXO A - LISTA DE ALUNOS PARTICIPANTES DA MOBfog/OBA 2019 - ESCOLA C

Figura 25 – Lista de alunos cadastrados em 2019 MobFog/OBA

Representante:

Rua Universitário - Maria Magdalena
68183300 - Itaituba - PA
Tel.: (93) 91561867 / Fax: / E-mail:

Listagem de Alunos: (17)

Cod.	Nome	Sexo	Nascimento	Nível	Alcance
25415	Alana de Andrade Sales andrades.alana29@gmail.com	F	29/11/02	4	120,00
25554	Clara Janaysa Alves Silva clarajanaysa2017@gmail.com	F	11/09/01	4	80,00
25394	Cristina Oliveira Pereira crsthina@gmail.com	F	28/11/01	4	120,00
25543	Elian Wallace Dias dos Santos elianwallace@gmail.com	M	22/01/02	4	38,00
25581	Erick Luan dos Santos Oliveira erick.luanoliver@gmail.com	M	03/10/01	4	29,00
25372	Gabriel Biesek	M	09/01/03	4	120,00
25644	Gabriel Félix gf95275@gmail.com	M	09/06/95	4	101,00
25329	João Victor Bilby Moraes jhonbilby@gmail.com	M	15/08/00	4	120,00
25531	João Vitor Alves de Sousa joãoallow@gmail.com	M	27/03/02	4	38,00
25407	Kahaandra Camile Trindade Alves kaandra11@gmail.com	F	11/04/02	4	120,00
25464	Lara Cássen de Souza Santos laracaasen21@gmail.com	F	17/07/03	4	50,00
25499	Larissa Valentim Nunes larivalentim123@gmail.com	F	09/01/01	4	29,00
34463	Lucas Raynere Soares Pereira lcalgas@gmail.com	M	25/05/02	4	29,00
25612	Luís Guilherme Souza Faustino	M	06/04/01	4	53,00
25360	Moyses Leonel Soares moysesleonel@gmail.com	M	18/07/03	4	120,00
25481	Natália Suellen Alberto Ribeiro ribeiron889@gmail.com	F	13/10/95	4	80,00
25565	Thiago Vieira da Silva thiagoromca.itb@gmail.com	M	28/10/02	4	50,00

ANEXO B - RESPOSTA DA FOLHA DE AVALIAÇÃO DE UM GRUPO

4. Após confecção será realizado os lançamentos dos protótipos dos grupos no local disponível para o lançamento na escola(a ser confirmado).

Observação: sugere-se que aos alunos que registrem todos os momentos filmando ou fotografando o evento.

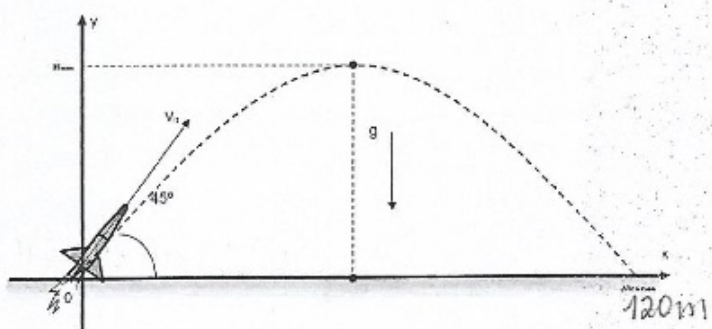
MATERIAL NECESSÁRIO

- 2 garrafas pet 2,0 ℓ ou 1,5 ℓ (sugere-se aos grupos discutirem qual a melhor garrafa para um voo mais longo?);
- 100 g de areia devidamente acondicionada;
- Fita isolante (preferencialmente) ou fita adesiva;
- 2 pacotes de bicarbonato de sódio (100 g cada)
- 1 ou 2 frascos de vinagre de 750 $m\ell$ (qualquer cor)

PREENCHIMENTO DOS DADOS, CÁLCULO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Equações Associadas ao movimento do foguete nas condições ideais

G1



Após realização do lançamento, os grupos serão responsáveis em anotar os resultados e limpar o local do lançamento;

No encontro seguinte ao evento, os grupos deverão trazer a ficha de avaliação dos

Questões propostas a partir do alcance do foguete

1. O alcance é dado pela expressão $d = \frac{V_0^2 \cdot \text{sen}2\theta}{g}$, para $\theta = 45^\circ$ a equação fica reduzida a

$$d = \frac{V_0^2}{g} \quad (\text{A.1})$$

Reescreva a equação A.1 para determinar a velocidade de lançamento V_0 em função do alcance.

$$V_0 = \sqrt{d \cdot g}$$

- a) calcule, com aproximação de duas casas decimais, a velocidade de lançamento.

$$V_0 = \sqrt{120 \cdot 9,8} \Rightarrow V_0 = \sqrt{1176} \Rightarrow V_0 = \sqrt{2^3 \cdot 3 \cdot 7^2} = 2,7\sqrt{6}$$

$$V_0 = 14\sqrt{6} = 14 \cdot 2,45 = 34,3 \text{ m/s}$$

2. A expressão que relaciona o tempo de voo (t) com a velocidade de lançamento (V_0) é dada por

$$d = V_0 \cdot \cos(\theta) \cdot t \quad (\text{A.2})$$

reescreva a equação A.2 para determinar o tempo de voo.

$$t = \frac{d}{V_0 \cdot \cos(\theta)} \Rightarrow t = \frac{d}{V_0 \cdot \cos(45^\circ)}$$

- b) calcule, com aproximação de duas casas decimais, o tempo de voo.

$$t = \frac{120}{34,3 \cdot 0,7} = \frac{120}{24,01} \Rightarrow t = 4,99 \text{ s} \approx 5 \text{ s}$$

3. A altura do projétil é dada pela equação

$$h(t) = V_0 \text{sen}\theta t - \frac{gt^2}{2} \quad (\text{A.3})$$

A altura máxima ocorre quando o projétil atinge metade do tempo de voo, relacione a expressão encontrada no item b) com a equação da altura A.3 para determinar a altura

máxima independente de t .

$$h(t) = \frac{V_0 \sin \theta \cdot t}{2} - \frac{g \left(\frac{t}{2}\right)^2}{2} \rightarrow h_1(t) = \frac{V_0 \sin \theta t}{2} - \frac{g t^2}{4 \cdot 2}$$

$$h_1(t) = \frac{V_0 \cdot \sin \theta \cdot d}{2 \cdot V_0 \cdot \cos \theta} - \frac{g \left(\frac{d}{V_0 \cdot \cos \theta}\right)^2}{2} \Rightarrow h = \frac{d}{2} - \frac{g \cdot d^2}{8 V_0^2 \cdot \cos^2 \theta} = \frac{d}{2} \left(1 - \frac{g \cdot d}{4 \cdot V_0^2 \cdot \cos^2 \theta}\right)$$

c) calcule, com aproximação de duas casas decimais, a altura máxima atingida.

$$h_1 = \frac{120}{2} - \frac{9,8 \cdot 120^2}{8 \cdot 34,3^2 \cdot 0,7^2} \Rightarrow h_1 = 60 - \frac{141120}{1611,84} = 60 - 30,6 = 29,4 \text{ m}$$

Onde necessitar utilizar $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ e $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ \approx 0,7$

SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO FOGUETE COMENTE

1. A respeito das aletas (elementos estabilizadores), buscou-se responder as seguintes questões:

a) O que faz um foguete ter melhor desempenho que outro? (Não esquecendo a análise do peso de cada foguete)

O peso no centro de massa, as aletas igualmente espaçadas e respeitando uma proporção em relação ao tamanho do foguete, uma ganha mais reta para o corpo, uma ponta alinhada ao meio do foguete.

b) Quão pequenas as aletas podem ser e ainda estabilizar o foguete?

Depende do tamanho do foguete

c) Quantas aletas um foguete precisa estabilizá-lo?

No mínimo 3 aletas

d) O que aconteceria se você colocasse o aletas de foguete perto do nariz do foguete?

Ele não ficaria estável, provavelmente a trajetória ficaria comprometida, ele rodopiaria no ar e cairia

e) O que acontecerá com o foguete se você dobrasse as pontas inferiores das aletas assemelhando-o a um catavento?

A velocidade dele diminuiria, pois as aletas dobradas sofreriam com a resistência do vento e impediriam seu desempenho máximo

f) As aletas de foguete são necessárias no espaço sideral?

Não, pois as aletas servem para estabilizar o foguete devido a resistência do ar. Como no espaço só há vácuo, as aletas não seriam funcionais.

2. Sobre o nariz (ponta do foguete), a) comente como o formato pode melhorar o desempenho do voo do foguete?

O formato da ponta do foguete auxilia ele a "quebrar" a resistência do ar.

b) Considerando os formatos cônico e ogival o que faz um foguete ter melhor desempenho que outro?

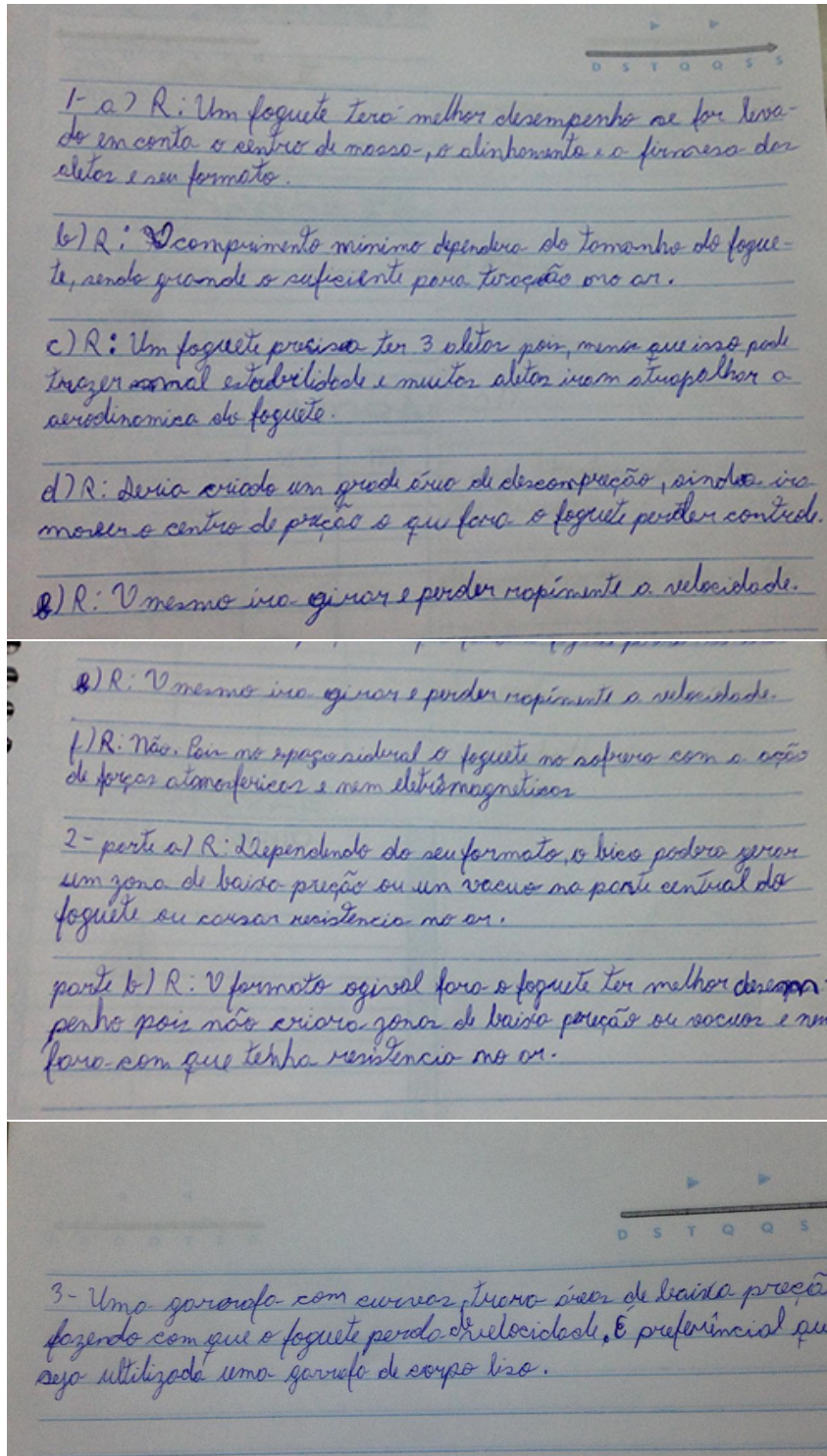
O nariz do foguete ogival tem melhor desempenho que o cônico pois ele não só quebra a resistência do ar como também a distribui pelo corpo do foguete e melhora seu desempenho no voo.

3. Sobre a garrafa escolhida (corpo do foguete), comente como o formato pode melhorar o desempenho durante o voo do foguete?

Dependendo do formato da garrafa, o foguete pode ficar mais estável e ter um desempenho melhor.

ANEXO C - RESPOSTAS DOS ALUNOS DE UM GRUPO TRANSCRITA NO TEXTO

Figura 26 – Respostas de um grupo para as questões sobre aerodinâmica do foguete



Fonte: Resposta do aluno