



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

LUAN CICERO DA SILVA ANGELO

**APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE CONCEITOS DE FÍSICA INTEGRADO A
PARTICIPAÇÃO NA MOSTRA BRASILEIRA DE FOGUETES**

FORTALEZA
2021

LUAN CICERO DA SILVA ANGELO

APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE CONCEITOS DE FÍSICA INTEGRADO A
PARTICIPAÇÃO NA MOSTRA BRASILEIRA DE FOGUETES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Ceará 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. Nildo Loiola Dias.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A593a Angelo, Luan Cicero da Silva.

Aprendizagem significativa de conceitos de física integrado a participação na Mostra Brasileira de Foguetes / Luan Cicero da Silva Angelo. – 2021.

114 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias .

1. Foguetes. 2. MOBFOG. 3. Astronomia. 4. Ensino de Física. 5. Astronáutica. I. Título.

CDD 530.07

LUAN CICERO DA SILVA ANGELO

APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE CONCEITOS DE FÍSICA INTEGRADO A
PARTICIPAÇÃO NA MOSTRA BRASILEIRA DE FOGUETES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Ceará 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.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Nildo Loiola Dias (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Alberto Almeida
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Cláudia Adriana de Sousa Melo
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

À Jeová Deus.

Aos meus pais, Braz Francisco Angelo,
Luisa Alves da Silva e a minha esposa
Mary Albuquerque Angelo.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Dr. Nildo Loiola Dias, pela excelente orientação.

Aos alunos participantes, pelo envolvimento e interesse nas atividades.

Aos colegas da turma de mestrado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

“Meu objetivo é expor uma ciência muito nova que trata de um tema muito antigo. Talvez nada na natureza seja mais antigo que o movimento...”

Galileu Galilei

RESUMO

Este trabalho é resultado da experiência que tivemos em nossa participação na Mostra Brasileira de Lançamento de Foguetes (MOBFOG) e da Jornada Cearense de Foguetes (JCF), utilizando como estratégia de ensino de conteúdos como mecânica, oficinas de construção de foguetes de garrafa PET e bases de lançamentos. O trabalho foi realizado com alunos do Ensino Fundamental II e Médio buscando aproximá-los das competências e habilidades estabelecidas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o eixo de Terra e Universo. Foram discutidos e abordados os conteúdos relacionados as Leis de Newton, centro de massa, centro de pressão, estados físicos da matéria e suas propriedades. Para coletar dados que nos ajudassem a saber se a estratégia resultou em aprendizado fizemos uso de atividades do tipo qualitativas por meio de formulários, questionários, entrevistas e apontamentos. A execução dos roteiros das sequências didáticas possibilitou um aprendizado por meio de atividades investigativas que favoreceram a interdisciplinaridade e a contextualização dos conteúdos.

Palavras-chave: Foguetes. MOBFOG. Astronomia. Ensino de Física. Astronáutica.

ABSTRACT

This work is the result of the experience we had in participating in the Brazilian Rocket Launch Exhibition (MOBFOG) and the Jornada Cearense de Rocket (JCF), using as a teaching strategy for some content, workshops for building PET bottle rockets and bases launches. The work was carried out with elementary and high school students seeking to bring them closer to the competences and skills established by the National Common Curricular Base (BNCC) for the Earth and Universe axis. The contents related to Newton's Laws, center of mass, center of pressure, physical states of matter and their properties were discussed and addressed. In order to collect data that would help us to know if the strategy resulted in learning, we used qualitative activities through forms, questionnaires, interviews and other notes. The execution of the scripts of the didactic sequences allowed a differentiated learning through investigative activities that favored the interdisciplinarity and the contextualization of the contents.

Keywords: Rockets. MOBFOG. Astronomy. Physics teaching. Astronautics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Fachada do Colégio Ateneu de Messejana	24
Figura 2	– Alunos construindo foguetes de garrafa PET.....	28
Figura 3	– Determinando o centro de pressão.....	30
Figura 4	– Equipes arrumando os materiais para construir a Base de Lançamento.....	32
Figura 5	– Alunos com a ajuda do professor montando a estrutura de madeira e PVC da Base de Lançamento do nível 4.....	32
Figura 6	– Parte final da montagem da base de lançamento do nível 4.....	33
Figura 7	– Momento de teste de lançamento de uma das equipes.....	34
Figura 8	– Parte das equipes segurando seus foguetes e mostrando suas bases de lançamento antes da saída no Colégio para o evento.....	35
Figura 9	– Equipe da 1ª Série medalhista no evento e que se classificou para a Mostra Brasileira de Foguetes no Rio de Janeiro.....	36
Figura 10	– Pais ajudando equipe a preparar o foguete para o lançamento.....	36
Figura 11	– Equipe e professor no evento.....	37
Figura 12	– Alunos recebendo premiação pela participação no projeto.....	38
Figura 13	– Medalhas ganhas no evento da JCF e medalhas confeccionadas pela escola.....	38
Figura 14	– Representação das forças que atuam no foguete.....	40
Figura 15	– Grandezas envolvidas nos foguetes.....	42
Figura 16	– Trajetória parabólica.....	45
Figura 17	– Correntes de ar numa esfera e num foguete de garrafa PET.....	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultado das respostas relacionadas a pergunta 3. Gráfico gerado pelo Google Formulário referente ao questionário 1	54
Gráfico 2 – Resultado das respostas relacionadas a pergunta 4. Gráfico gerado pelo Google Formulário referente ao questionário 1.....	54
Gráfico 3 – Resultado das respostas relacionadas a pergunta 5. Gráfico gerado pelo Google Formulário referente ao questionário 1.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de estudantes por turma	25
Tabela 2 – Itens Likert – Turma Nível 3	56
Tabela 3 – Itens Likert – Turma Nível 4.....	56
Tabela 4 – Grau de concordância da proposição.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC Base Nacional Comum Curricular

MOBFOG Mostra Brasileira de Foguetes

JCF Jornada Cearense de Foguetes

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
£	Libra
¥	Iene
€	Euro
§	Seção
©	Copyright
®	Marca Registrada

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
2	O ENSINO DE FÍSICA E A IMPORTÂNCIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	16
2.1	BNCC e o Ensino de Física no Fundamental	16
2.2	BNCC e o Ensino de Física no Ensino Médio	19
2.3	Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel	21
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E APLICAÇÃO	25
3.1	Contexto de desenvolvimento e investigação da Sequência Didática	25
3.2	Perfil dos alunos envolvidos	26
3.3	Etapas da aplicação da Sequência Didática	27
3.4	Desenvolvimento da metodologia	29
4	A FÍSICA DO FOGUETE DE GARRAFA PET	41
4.1	Velocidade máxima do foguete durante o voo	41
4.2	Ângulo de lançamento do foguete	47
4.3	Resistência do ar e os foguetes de garrafa PET	51
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
5.1	Coleta de dados	54
5.2	Análise do questionário 1	54
5.3	Análise do questionário 2	58
5.4	Análise do questionário 3	67
6	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS	66
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO 1: CONHECIMENTOS PRÉVIOS	67
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 2: COM ITENS NA ESCALA LIKERT	72
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO 3: DISSERTATIVO	74
	APÊNDICE D – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS PARA PARTICIPAÇÃO EM AULA DE CAMPO	76
	ANEXO A – PRODUTO EDUCACIONAL	77

1 INTRODUÇÃO

Com a normatização da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) o ensino de física tem passado e ainda precisará passar por muitas mudanças. Entretanto, a realidade mostra que não são poucos os alunos que apresentam dificuldades na aprendizagem dos conceitos de física. Ainda existe um grande abismo entre o que se ensina e a realidade fora de sala de aula. A utilização de métodos tradicionais de ensino e a ausência de metodologias que envolva outros meios de ensino constituem-se em muitos casos a razão deste problema. Para Veit e Teodoro (2002):

“Na prática, física representa para o estudante, na maior parte das vezes, uma disciplina muito difícil, em que é preciso decorar fórmulas cuja origem e finalidade são desconhecidas. Um ensino de Física baseado na exposição de conceitos transmite uma ideia incompleta e pouco motivadora do que é a ciência e de como ela se constrói”. (p.88)

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para a área de Ciências da Natureza estabelece as competências e habilidades a serem desenvolvidas no ensino de física. Para tanto, de acordo com o documento Oficial da BNCC, é necessário que os alunos sejam progressivamente estimulados e apoiados no planejamento e na realização cooperativa de atividades investigativas. É preciso organizar situações de aprendizagem que estimulem o interesse e a curiosidade científica dos alunos e possibilitem definir problemas, levantar, analisar e representar resultados; comunicar conclusões e propor intervenções.

Para atender aos pressupostos estabelecidos na BNCC e assim, desenvolver as competências e habilidades na área de ciências é necessário rever a proposta pedagógica da escola. O excesso de aulas expositivas, geralmente descontextualizadas, nas quais o professor é o protagonista, apenas reforçam a ideia dos alunos de que a Física é difícil e sem sentido. Segundo (ALMEIDA, 1992) essa mudança só é possível ser alcançada se o professor for capaz de analisar situações e propor intervenções que possibilitem alinhar a aula teórica com a experimentação. Também, que possam criar situações que possam concretizar a contextualização dos conteúdos com o mundo a sua volta.

O presente trabalho de atividade experimental aliado a participação na

Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG) surge nesse cenário como proposta de atender a BNCC promovendo situações nas quais os alunos possam realizar atividades de campo e/ou experimentais, contribuindo para o aprendizado significativo dos conceitos de Física relacionados. Também, por promover a interdisciplinaridade principalmente com a Matemática e a Química, permite que os alunos percebam a física como parte de um todo científico, ou seja, uma forma de entender a natureza por meio das diversas relações entre as disciplinas do conhecimento (SILVA, 2015).

Nesse trabalho serão apresentados os resultados de uma pesquisa na qual exploramos conceitos de física por meio de oficinas de construção de foguetes de garrafa PET e de construção de uma base de lançamento com estrutura de PVC e madeira, tudo, aliado a participação na Jornada Cearense de Foguetes (JCF) e na Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG). Como produto do trabalho, elaboramos um manual na forma de sequência didática para que os professores possam utilizar caso desejem realizar as oficinas, as atividades experimentais e/ou até participar nesses eventos. Nele, os professores encontrarão os roteiros das aulas, bem como, as orientações para a oficina de foguetes com garrafa PET, orientações para a oficina de construção de uma base de lançamento de foguetes para o nível 3 (alunos do fundamental II) e nível 4 (alunos do médio), regras de segurança e sugestões, que se fizeram necessárias durante a aplicação, Espera-se com a oferta desse material que os professores possam aprimorar o material e ir além do que fizemos aqui.

Para a consecução de nossos objetivos, este trabalho está dividido da seguinte forma: no primeiro tópico abordaremos a situação do ensino de física no Brasil e o embasamento teórico que apoia o uso da experimentação como forma de aprendizagem significativa. No segundo tópico serão apresentados os conceitos e os procedimentos metodológicos para a aplicação do produto educacional, bem como sua aplicação ao ensino de Física; no terceiro tópico, abordaremos a física do foguete de garrafa PET, no tópico quatro, são apresentados os resultados e a análise dos dados colhidos e por fim, no quinto tópico, apresenta-se as considerações finais e as perspectivas para os próximos anos em relação aos resultados do trabalho como um todo. Finalmente, no apêndice encontra-se o produto educacional gerado a partir desse trabalho em forma de material instrucional a fim de que seja aplicado em sala de aula pelo professor.

2 O ENSINO DE FÍSICA E A IMPORTÂNCIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Como dito anteriormente, o Ensino de Física tem passado e ainda passará por grandes mudanças com a implantação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). De acordo com o Ministério da Educação e Cultura (MEC), a BNCC é um documento normativo que define o conjunto de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica. Seu principal objetivo é sustentar a qualidade da educação no país por meio de um patamar de aprendizagem e desenvolvimento a que todos os alunos têm direito.

2.1 BNCC e o Ensino de Física no Fundamental

Os documentos da BNCC referentes às etapas da Educação Infantil e do Ensino Fundamental foram homologados em 2017. O processo de implementação se deu nos dois anos após a sua homologação. No momento em que esse trabalho está sendo feito, 2020, a BNCC já é obrigatória. No entanto, ainda há muitas dúvidas tanto por parte das escolas como por parte dos professores sobre como o Ensino de Física se encaixa na BNCC especialmente no Ensino Fundamental.

De acordo com a BNCC, o Ensino Fundamental está organizado em cinco áreas do conhecimento: Linguagens; Matemática; Ciências da Natureza; Ciências Humanas; e Ensino Religioso. A Física junto com a Química e a Biologia foram agrupadas na Área de Ciências da Natureza já que partilham do mesmo caráter empirista e/ou indutivista, visão de Ciência do século XVII, defendida por Francis Bacon.

Convém destacar, de acordo com Zanatta 2019, que na BNCC, os conhecimentos de Física, Química e Biologia estão igualmente distribuídos no Ensino Fundamental. Essa alteração vem corrigir um problema histórico, no qual sempre se priorizou os conhecimentos de Biologia, em detrimento dos conhecimentos de Física e Química, que receberam alguma atenção devido a I Revolução Industrial.

A BNCC leva em conta que a sociedade contemporânea está fortemente organizada com base no desenvolvimento científico e tecnológico. A área de Ciências da Natureza deve assumir o compromisso com a formação integral dos alunos. Para tanto, precisam desenvolver competências e habilidades para debater e tomar posição sobre temas tais como alimentos, medicamentos, combustíveis, transportes,

comunicações, contracepção, saneamento e manutenção de vida na Terra, dentre outros.

A versão final da BNCC justifica o ensino de Ciências, como meio necessário para:

[...] o desenvolvimento do **letramento científico**, que envolva a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais das ciências (BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR, 2017, p. 321).

Em outras palavras, de acordo com A BNCC (2017, p. 321)

Aprender ciências não é a finalidade última do letramento, mas, sim, o desenvolvimento da capacidade de atuação no e sobre o mundo, importante ao exercício pleno da cidadania.

Destaca-se, ainda, que para trabalhar o letramento científico é necessário incluir mais investigação no processo de aprendizagem. A área de Ciências, de acordo com a BNCC, precisa aproximar os alunos do Ensino Fundamental aos principais processos, práticas e procedimentos da investigação científica. Para isso é necessário:

“[...] organizar situações de aprendizagem partindo de questões que sejam desafiadoras e, reconhecendo a diversidade cultural, estimulem o interesse e a curiosidade científica dos alunos e possibilitem definir problemas, levantar, analisar e representar resultados; comunicar conclusões e propor intervenções” (BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR, 2017, p. 322).

Nessa perspectiva podemos dizer que a participação na Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG) está alinhada a BNCC. A MOBFOG organiza situações de aprendizagem que parte de questões desafiadoras: o que são e como funcionam os foguetes. Essas questões, somadas ao trabalho em equipe e ao exercício do protagonismo em fazer seus próprios foguetes e bases de lançamentos estimulam o interesse e a curiosidade científica dos alunos e possibilita uma aprendizagem significativa de conceitos de física, que também, estão de acordo com o que propões a Base Nacional Comum Curricular.

Ainda de acordo com a BNCC, a área de Ciências – e, por consequência, o seu componente curricular -, deve garantir aos alunos do Ensino Fundamental o desenvolvimento de oito competências específicas que estão articuladas com as competências gerais da Educação Básica. Destas, podemos dizer que este trabalho desenvolve bem a competência 3, que diz que os alunos precisam:

“Analisar, compreender e explicar características, fenômenos e processos relativos ao mundo natural, social e tecnológico (incluindo o digital), como também as relações que se estabelecem entre eles, exercitando a curiosidade para fazer perguntas, buscar respostas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das Ciências da Natureza”. (BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR, 2017, p. 324).

Também percebemos que o ensino de ciências alinhado à Base é feito em torno de três unidades temáticas que se repetem ao longo de todo o Ensino Fundamental, em forma de espiral, com uma progressão da aprendizagem no conjunto das habilidades propostas. As Unidades Temáticas são: Matéria e energia, Vida e evolução e Terra e Universo. Além disso, cada unidade temática é acompanhada de seus objetos de aprendizagem e do conjunto de habilidades a serem desenvolvidas.

Fica claro que a unidade temática que se encaixa bem com esse trabalho é a unidade Terra e Universo. De acordo com a BNCC, nessa unidade:

“busca-se a compreensão de características da Terra, do Sol, da Lua e de outros corpos celestes – suas dimensões, composição, localização, movimentos e forças que atuam entre eles. Amplia-se a experiência de observação do céu, do planeta Terra, particularmente das zonas habitadas pelo ser humano e demais seres vivos, bem como de observação dos principais fenômenos celestes. Além disso, ao salientar que a construção dos conhecimentos sobre a Terra e o céu se deu de diferentes formas em distintas culturas ao longo da história da humanidade, explora-se a riqueza envolvida nesses conhecimentos, o que permite, entre outras coisas, maior valorizar de outras formas de conceber o mundo, como os conhecimentos próprios dos povos indígenas originários”. (BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR, 2017, p. 328).

Portanto, não restam dúvidas que a participação na Mostra Brasileira de Foguetes que, organiza situações nas quais os alunos se envolvem em atividades experimentais de construir e lançar foguetes, está alinhado a BNCC para o Ensino Fundamental e contribui para o desenvolvimento do letramento científico. Essa atividade ajuda no desenvolvimento da terceira competências específica para a área de ciências e pode ser encaixada na unidade temática Terra e Universo. Agora, vamos analisar a Base Nacional Comum Curricular no Ensino Médio e a viabilidade de realizar esse trabalho nesse seguimento.

2.2 BNCC e o Ensino de Física no Ensino Médio

O documento da BNCC da Etapa do Ensino Médio foi reformulado ao longo do ano de 2018, recebeu mais de 44 mil contribuições e foi aprovado pelo Conselho Nacional de Educação (CNE) em 4 de dezembro do mesmo ano. O documento será obrigatório e irá nortear os currículos das escolas de Ensino Médio. O processo de implementação iniciará a partir do segundo ano letivo após sua publicação. De acordo com o Ministério da Educação e Cultura (MEC) o principal objetivo da BNCC para a Etapa do Ensino Médio é:

“Promover a elevação da qualidade do ensino no país, por meio de uma referência comum obrigatória para todas as escolas da educação básica, respeitando a autonomia assegurada pela Constituição aos entes federados e às escolas. No caso do Ensino Médio, o ensino não vinha atendendo aos anseios e necessidades da juventude. A BNCC – Etapa Ensino Médio é um instrumento que contribuirá na inserção dos jovens no mundo do trabalho e para que se tornem cidadãos plenos, preparados para os desafios do Século 21” (MEC, 2020).

Para tanto, de acordo com a BNCC, é necessário repensar a organização curricular para essa etapa da Educação Básica aproximando os alunos do mundo do trabalho e das dinâmicas e questões sociais e contemporâneas. Nesse sentido, para substituir o modelo único de currículo do Ensino Médio por um modelo diversificado e flexível, A Lei nº 13.415/2017 alterou a LDB, estabelecendo que:

O currículo do Ensino Médio será composto pela **Base Nacional Comum Curricular e por itinerários formativos**, que deverão ser organizados por meio da oferta de diferentes arranjos curriculares, conforme a relevância para o contexto local e a possibilidade dos sistemas de ensino, a saber:

- I – linguagens e suas tecnologias;
- II – matemática e suas tecnologias;
- III – ciências da natureza e suas tecnologias;
- IV – ciências humanas e sociais aplicadas;
- V – formação técnica e profissional (LDB, Art.36; ênfase adicionada)

Dessa forma, percebemos que assim como no Ensino Fundamental, a BNCC do Ensino Médio também está organizada por áreas do conhecimento. Essas áreas têm por finalidade integrar dois ou mais componentes do currículo. Também, para cada área do conhecimento, são definidas competências específicas, articuladas às respectivas competências das áreas do Ensino Fundamental, com as adequações necessárias as especificidades dos Estudantes do Ensino Médio.

Assim como no Ensino Fundamental, no Ensino Médio a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias se compromete com o letramento científico dos seus alunos. Nessa perspectiva:

“[...] a BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias – por meio de um olhar articulado da Biologia, da Física e da Química – define competências e habilidades que permitem a ampliação e a sistematização das aprendizagens essenciais desenvolvidas no Ensino Fundamental no que se refere: aos **conhecimentos conceituais** da área; **contextualização** social, cultural, ambiental e histórica desses conhecimentos; aos **processos e práticas de investigação** e às **linguagens** das ciências da Natureza” (MEC, 2020).

Isso significa que a BNCC, Etapa Médio, se propõe a aprofundar os conhecimentos conceituais, sistematizados em leis, teorias e modelos, das temáticas: Matéria e Energia, Vida e Evolução e Terra e Universo. Quando se fala em processos e práticas de investigação podemos destacar a necessidade de planejar e realizar atividades experimentais e pesquisas de campo. Nessa abordagem investigativa o professor deve promover o protagonismo dos estudantes na aprendizagem e na aplicação de processos, práticas e procedimentos levando os alunos a relatar, avaliar e comunicar suas conclusões (MEC, 2020).

Nesse sentido, podemos fundamentar esse trabalho e dizer que, também está alinhado à Base Nacional Comum Curricular para o Ensino Médio. Ao participar na Mostra Brasileira de Foguetes os estudantes se envolvem em atividades experimentais que partem de questões desafiadoras e contextualizadas que estimula a curiosidade e a criatividade na elaboração de procedimentos e na busca de soluções de natureza teórica e/ou experimental. Além disso, vale a pena ressaltar que a aprendizagem ocorre de forma significativa, sobretudo, de conhecimentos científicos indispensáveis relacionado as propriedades dos materiais e a mecânica newtoniana como as Leis de Newton.

Convém destacar que ao participar de atividades experimentais de construir e lançar foguetes os alunos irão desenvolver a competência específica 3 da área de Ciências da Natureza e sus Tecnologias. Segunda a versão final da BNCC Etapa Ensino Médio, página 558, essa competência dentre outras coisas se propõe a investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprias das Ciências da Natureza.

Destacamos ainda que no exercício dessa competência os alunos são levados a desenvolver a habilidade 1 relacionada a essa competência, que diz respeito a

“Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou **resultados experimentais** para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica” (BNCC, Versão final, p. 559, ênfase adicionada).

Portanto, não resta dúvidas que esse trabalho voltado a atividade experimental integrado a participação na Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG) também está alinhado à BNCC, versão final para o Ensino Médio e, promove a aprendizagem significativa de conceitos de física corroborada pela Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

2.3 Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel

David Ausubel (1918-2008) em 1963, propôs A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) em sua obra *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*. Nascido em Nova York, nos Estados Unidos, Ausubel era filho de imigrantes judeus. Segundo Rosália Maria Ribeiro de Aragão, professora aposentada da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), “seu interesse pela forma como ocorre a aprendizagem é resultado do sofrimento que ele passou nas escolas norte-americanas”. Mais afinal, o que é aprendizagem significativa? Segundo Marcos Antônio Moreira:

é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Caracteriza-se pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva (MOREIRA, 2010).

De acordo com Moreira, substantiva significa não literal, não ao pé-da-letra. O que o aluno incorpora é a substância do novo conhecimento e não as palavras precisas usadas para expressá-las. E não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do aluno ao qual Ausubel chamava de

subsunçor ou idéia-âncora. Podemos dizer que substantivada e não-arbitrariedade são características básicas da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

Assim, na perspectiva ausubeliana, aprender significativamente é ampliar e reorganizar ideias já existentes na estrutura cognitiva e com isso ser capaz de relacionar e acessar novos conhecimentos. Quanto maior o número de “links” feitos, mais consolidado estará o conhecimento. Fica, então, claro que:

“O conhecimento prévio é, na visão de Ausubel, a variável isolada mais importante para a aprendizagem significativa de novos conhecimentos. Isto é, se fosse possível isolar uma única variável como sendo a que mais influencia novas aprendizagens, esta variável seria o conhecimento prévio, os subsunçores já existentes na estrutura cognitiva do sujeito” (MOREIRA, 2010).

Vale a pena ressaltar que o conhecimento prévio nem sempre é uma variável facilitadora, ou seja, não é sinônimo de aprendizagem “correta”, de acordo com Moreira. Mesmo que um aluno consiga atribuir significados a um novo conhecimento, ancorando-o interativamente em conhecimentos prévios, a aprendizagem é significativa, independente de se estes são os aceitos ou não no contexto de alguma matéria de ensino.

No entanto, o que vai ser fundamental para caracterizar a atividade ou a técnica proposta pelo professor são as condições em que a aprendizagem ocorre. Essas condições devem contemplar os pré-requisitos para a aprendizagem significativa:

“Essencialmente, são duas as condições para uma aprendizagem significativa: 1) o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e 2) o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender” (MOREIRA, 2010).

A primeira condição implica que o material de aprendizagem, ou seja, livros, aulas, aplicativos, atividade experimental dentre outras, tenha significado lógico, isto é, se relacione de maneira não-arbitraria e não literal a um conhecimento significativamente relevante. Assim, de acordo com Moreira (2010), o material só pode ser potencialmente significativo, não significativo: não existe livro significativo, nem aula significativa, nem aplicativo e/ou atividade experimental significativa, pois o significado está nas pessoas, não nos materiais. Como exemplo, considero que as

atividades experimentais de construir e lançar foguetes são potencialmente significativas – e isto é importante neste trabalho – uma vez que existe uma probabilidade considerável que este relacione de forma substantiva e não arbitrária as informações novas, abordadas através da atividade experimental, com os conhecimentos que ele já tem e que já observou no seu cotidiano.

A segunda condição, para Marcos Antônio Moreira, é talvez mais difícil de ser satisfeita do que a primeira. De nada adianta preparar a melhor aula, escolher o melhor aplicativo ou a melhor atividade experimental se o aluno não quiser relacionar os novos conhecimentos, a seus conhecimentos prévios. É isso que significa predisposição para aprender. Nesse sentido, não poderia deixar de destacar que as atividades experimentais relacionadas a participação na MOBFOG despertam naturalmente nos alunos o desejo de aprender mais. Isso facilita que o novo conceito se modifique, se enriqueça e se transforme em novos significados.

Fica claro, então, que quando se leva em conta o que o aluno já sabe e, se usa um material potencialmente significativo contando, também, com a predisposição do aluno em aprender, é grande a probabilidade de o processo de ensino ocorrer de forma significativa. No entanto, a aprendizagem que mais ocorre na escola, segundo Moreira (2010), é

“a aprendizagem mecânica, aquela praticamente sem significado, puramente memorística, que serve para as provas e é esquecida, apagada, logo após. Em linguagem coloquial, a aprendizagem mecânica é a conhecida decoreba, tão utilizada pelos alunos e tão incentivada nas escolas” (MOREIRA, 2010).

Cabe, no entanto, destacar que aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica não constituem uma oposição entre si. Ambas podem aparecer durante o mesmo processo de ensino e de aprendizagem em situações que se aproximem mais de uma ou de outra.

A partir da ideia central de interação entre os subsunçores e o novo conhecimento, Ausubel distingue três tipos de aprendizagem significativa: *representacional*, *conceitual* e *proposicional*. A aprendizagem significativa de conceitos e a proposicional podem ainda ser do tipo *subordinada*, *superordenada* ou *combinatória*. De maneira geral, a diferença entre os tipos citados está no processo de subsunção que Ausubel define como o processo de aquisição de significado que a nova informação adquire quando interage com o conhecimento prévio (subsunçor)

existente na estrutura cognitiva. Se o subsunçor é um conceito ou proposição geral existente na estrutura cognitiva e ocorre a assimilação do novo conceito ou proposição particular, tem-se a aprendizagem do tipo subordinada. Mas, quando o novo conceito ou proposição geral é assimilado através da relação entre significados de ideias específicas preexistentes, tem-se o tipo de aprendizagem superordenada. Por sua vez a aprendizagem do tipo combinatória ocorre quando a nova informação é relacionada a um “conteúdo amplo relevante, existente na estrutura cognitiva”, portanto, difere dos tipos anteriores por não haver a relação com ideias subordinadas ou superordenadas (MOREIRA, 2006, p.25).

No processo de ensino os conhecimentos prévios dos alunos, as representações que fazem da realidade em que estão inseridos, sempre devem ser levados em consideração. Isso é, coerente com as correntes cognitivas da aprendizagem incluindo a Teoria da Aprendizagem Significativa e a própria BNCC. O aluno passa a ser o protagonista no processo de aprendizagem, deixa de ser um mero receptor de informações e é considerado como um sujeito capaz de perceber e representar o mundo ao seu redor.

Portanto, ficou claro com esses fundamentos que a aprendizagem significativa é adequada para a formação de um cidadão capaz de transformar o meio em que vive de forma consciente.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E APLICAÇÃO

Este capítulo tem por objetivo descrever o método utilizado e a aplicação em sala de aula. Como muitos procedimentos são descritos no momento da aplicação optei por deixar tanto a metodologia como a aplicação no mesmo capítulo. Assim, a intenção é facilitar a leitura e o entendimento das etapas de realização deste trabalho.

Foi escolhido uma abordagem qualitativa para o desenvolvimento deste trabalho. Para analisar os aspectos qualitativos aplicamos, ao final do processo, uma pesquisa baseada na escala Likert (Apêndice B) e, também, um questionário com questões dissertativas (Apêndice C) para avaliarmos os efeitos da Sequência Didática proposta nesse trabalho.

3.1 Contexto de desenvolvimento e investigação da Sequência Didática

O estudo foi realizado no Colégio Ateneu de Messejana situado na cidade de Fortaleza – Ceará. A escola faz parte da rede privada de ensino e funciona em regime de tempo parcial. O Colégio Ateneu de Messejana tem turmas do Ensino Fundamental II e Médio com uma carga horária de seis aulas exclusivamente no turno da manhã.

O Colégio não dispõe de laboratório de ciências para a realização de experimentos de Física, Química, Biologia e/ou Matemática. A escola dispõe de um laboratório de informática no qual o professor da disciplina é o responsável pelo seu uso e não tem um cronograma para a ocorrência de aulas. Cada professor marca com antecedência o dia em que deseja usar o laboratório. Geralmente é utilizado para experimentos virtuais com uso de softwares de simulações.

As figuras a seguir mostram parte da estrutura física da escola utilizados para realizar nossas pesquisas. A figura 1 mostra mostram uma visão externa do Colégio Ateneu de Messejana; a escola também dispõe de amplo espaço interno com salas de laboratório de informática que fizemos uso para nossa pesquisa.



Figura 1- Fachada do Colégio Ateneu de Messejana

Fonte: o autor

Organizamos as aulas e oficinas de modo a acontecer no contraturno, período da tarde, visto não haver aulas neste turno. Utilizamos uma sala de aula e usamos as mesas dos professores, de outras salas para servir de apoio para os alunos durante as oficinas de construção dos foguetes.

Dessa forma conseguimos realizar o trabalho e fazer a transposição didática, por meio de um experimento produzido com materiais de baixo custo buscando sempre fazer um paralelo dos conteúdos envolvidos no lançamento de foguetes de garrafa PET.

3.2 Perfil dos alunos envolvidos

A escola possui 5 turmas de Ensino Fundamental II, sendo: 1 turma de 6º ano, 1 turma de 7º ano, 1 turma de 8º ano e 2 turmas de 9º ano. Também, possui 3 turmas de Ensino Médio, sendo: 1 turma da 1ª série, 1 turma da 2ª série e 1 turma da 3ª série.

É importante ressaltar que a proposta pedagógica da escola inclui aulas para olimpíadas científicas, o que facilitou bastante a aplicação do nosso trabalho. Foi durante as aulas para a OBA – olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica e MOBFOG – Mostra Brasileira de Foguetes que realizamos a aplicação do trabalho. Nestas aulas participaram alunos do 6º ano à 2ª Série do Ensino Médio, visto que a

OBA e a MOBFOG são divididas por níveis: nível 3 (alunos do 6° ao 9° ano) e nível 4 (alunos do Ensino Médio).

Assim, formamos duas turmas nas quais as aulas e oficinas ocorreram de forma separada e de acordo com o nível dos alunos: turma 1 – alunos do nível 3 (Ensino Fundamental) e na turma 2 – alunos do nível 4 (Ensino Médio). O quadro abaixo mostra como as turmas foram formadas.

Tabela 1- Número de estudantes por turma

Turma	Série	Alunos por Turma	Total de Alunos	Total de Alunos Frequentes
Nível 3	6° Ano	2	9	8
	7° Ano	1		
	8° Ano	4		
	9° Ano	2		
Nível 4	1ª Série	9	15	12
	2ª Série	6		

3.3 Etapas da aplicação da Sequência Didática

O trabalho teve a duração de cinco meses sendo estendido por mais um mês devido ao resultado obtido com uma das equipes. Iniciamos em fevereiro de 2019, com a aplicação do questionário para análise de conhecimento prévio e finalizamos em junho de 2019 com aplicação do questionário com itens na escala Likert e o questionário dissertativo. Como uma das equipes se classificou para representar o colégio na MOBFOG em Barra do Pirai, Rio de Janeiro, retomamos as aulas na segunda quinzena de outubro de 2019, finalizando com a viagem e participação no evento em novembro de 2019.

Portanto, nosso trabalho foi realizado nas seguintes etapas:

1. Apresentação do projeto e conhecimento das turmas.
2. Aplicação do questionário para análise do conhecimento prévio dos alunos.

3. Período de aulas com aplicação da sequência didática.
4. Oficina de construção das bases de lançamento e de foguetes de garrafa PET.
5. Testes de lançamento dos foguetes.
6. Participação na Jornada Cearense de Foguetes (JCF) e na Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG).
7. Aplicação do questionário com itens na escala Likert e do questionário com itens dissertativos nas duas turmas.
8. Participação da equipe que representou o colégio na MOBFOG em Barra do Piraí, Rio de Janeiro.
9. Análise de dados.

As duas primeiras aulas foram reservadas para a apresentação do projeto, conhecimento das turmas e aplicação, no final da segunda aula, do questionário para análise dos conhecimentos prévios dos alunos. A aplicação do questionário para análise de conhecimento prévio, bem como, do questionário com itens na escala Likert e do questionário dissertativo para a avaliação do ensino foram feitos com uso do Google Formulários.

O questionário para avaliação dos conhecimentos prévios dos alunos foi formulado com 9 questões, sendo duas questões sobre a temática de foguetes, três referente ao estado físico da matéria e suas propriedades, três relacionadas aos conceitos de centro de gravidade e centro de pressão e duas envolvendo as Leis de Newton. A aplicação do questionário foi realizada no laboratório de informática da escola sob a supervisão do professor. Os alunos foram orientados a não realizarem nenhum tipo de consulta em outras páginas nem entre si. Também, foi informado que o questionário não seria avaliativo e que, portanto, não seria atribuída nenhuma nota do desempenho e nem seria feito nenhum tipo de classificação.

É importante destacar que a temática de foguetes, bem como, a participação na Jornada Cearense de Foguetes e na Mostra Brasileira de Foguetes gerou muitos debates, nos quais os alunos ficaram empolgados e animados em poderem participar nestes eventos. Foi muito bom ver que os estudantes estavam dispostos a seguir todas as instruções e cumprir todas as etapas do projeto.

3.4 Desenvolvimento da metodologia

Para auxiliar na melhor compreensão de como se desenvolveu o trabalho, abaixo, foi estruturado em tópicos a sequência desenvolvida nas duas turmas.

- 1) A primeira aula foi de introdução e apresentação do projeto, com exposição do cronograma e plano de trabalho e a explanação das etapas a serem realizadas nas aulas teóricas, nas oficinas de construção das bases de lançamento, oficinas de construção dos foguetes de garrafa PET, dos testes de lançamentos, da participação na Jornada Cearense de Foguetes (JFC), na Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG), bem como a importância do trabalho colaborativo em equipe e o compromisso de todos nas atividades a serem realizadas.
- 2) Na segunda aula aplicamos o questionário para analisar os conhecimentos prévios dos alunos (Apêndice A) sobre os conteúdos que foram trabalhados nas aulas seguintes. Após a aplicação do questionário, que foi realizado em sala no primeiro momento de aula, dividimos os alunos em equipes. A Turma do Nível 3, composta por alunos do 6° ao 9° ano, formaram equipes de no máximo 3 alunos, podendo, na mesma equipe, estar alunos de anos diferentes. A Turma do Nível 4, composta por alunos do Médio, também formaram equipes de no máximo 3 alunos. No último momento da aula apresentamos a relação dos materiais (Apêndice E – Item 1.1) que cada equipe iria precisar trazer na aula 3 para a realização da primeira oficina de construção dos foguetes de garrafa PET.
- 3) Iniciamos a terceira aula retomando a temática dos foguetes, relacionada as duas primeiras questões do questionário para conhecimento prévio dos alunos, aplicado na aula anterior. Seguimos o roteiro da sequência didática descrito no tópico 1 do Produto Educacional (Apêndice E). Escutamos atentamente as respostas para ter uma boa ideia dos conhecimentos prévios dos alunos e em seguida apresentamos as respostas conforme descrito no mesmo tópico. Após isso, iniciamos a oficina de construção dos foguetes seguindo a sequência didática descrito no tópico 1.2 do Produto Educacional (Apêndice E). Com os

materiais trazidos pelos alunos cada equipe construiu pelo menos um foguete de garrafa PET. As figuras abaixo mostram o momento em que ocorreu a oficina.



Figura 2 – Alunos construindo os foguetes de garrafa PET

Fonte: o autor

4) Iniciamos a quarta aula apresentando o conteúdo sobre as Leis de Newton. Primeiramente, buscamos saber os conhecimentos prévios dos alunos sobre o assunto por meio de perguntas e debates. Alguns alunos do 6º e 7º ano nunca tinham ouvido falar sobre as Leis de Newton. Já os alunos do Médio estavam mais familiarizados. Após a exposição dos conceitos sobre as três Leis de Newton, e de posse de alguns foguetes construídos na aula anterior, perguntamos aos alunos:

1. Quais os princípios físicos envolvidos no lançamento de foguetes de garrafa PET?
2. Qual a relação entre os foguetes de garrafa PET e os foguetes espaciais?

3. É possível compreender as leis físicas no lançamento dos foguetes espaciais por meio de um foguete de garrafa PET?
4. O que é diferente nos dois lançamentos?

Dando continuidade ao debate e principalmente em resposta a última pergunta passamos a explicar porque utilizamos água e ar comprimido no lançamento dos foguetes de garrafa PET. Primeiramente discutimos os estados físicos da matéria lançando a pergunta:

5. Quais são os estados físicos da matéria?

Vale destacar que todos os estudantes, de ambas as turmas, responderam apenas 3 estados: sólido, líquido e gasoso. Mencionamos assim o quarto estado: o plasma e explicamos que é o estado que faz parte da composição das estrelas e dos combustíveis (propelente) dos foguetes durante a sua queima. Passamos então a tratar as propriedades dos gases e dos líquidos destacando a incompressibilidade dos líquidos e a elasticidade do ar. Neste momento, relembramos algumas perguntas (perguntas 3, 4 e 5) que foram feitas no questionário aplicado na segunda aula (Apêndice A).

No segundo momento da quarta aula passamos a discutir sobre os conceitos de centro de massa e do centro de pressão. Para o centro de massa, pegamos um cabo de vassoura da escola e começamos a tentar equilibrá-lo com o dedo. Pedimos que os alunos fizessem o mesmo com uma régua. Em seguida fizemos as seguintes perguntas:

6. Em que ponto da régua você segurou para que ela ficasse em equilíbrio?
7. Se colocarmos uma borracha em uma das pontas da régua, onde deveríamos segurar agora para que ela fique em equilíbrio?

Repetimos esse procedimento colocando a borracha em cima da régua várias vezes, sempre variando a posição para descobrir o ponto de equilíbrio. Passamos a tratar da densidade uniforme e perguntamos:

8. Em torno de que ponto a régua gira?
9. Se a régua fosse feita com metade plástico e a outra metade ferro, o ponto de equilíbrio estaria no centro?

Com base nestes questionamentos falamos da densidade não uniforme e sua relação com o centro de massa, daí, destacamos que devido a simetria da garrafa PET, a coordenada horizontal do centro de massa estaria exatamente no meio da garrafa (SOUZA, 2007).

Para o centro de pressão, utilizamos uma aproximação desenhando a silhueta do foguete em um papelão e depois encontramos o centro de massa do papelão (Figura 3). Neste caso, Segundo Souza (2007), devido a simetria, a posição de centro de pressão do foguete coincide com a posição do centro de massa do papelão. Para encontrar o centro de pressão pela figura, utilizamos as instruções a seguir:

- (a) Projete a silhueta do foguete em um papel e divida suas partes em regiões retangulares para facilitar a obtenção do CP.
- (b) Projete a silhueta do foguete em um pedaço de papelão e encontre seu CM; isso fornecerá uma ideia da posição do CP do foguete, que neste caso coincide com o CM do papelão. (SOUZA, 2007)

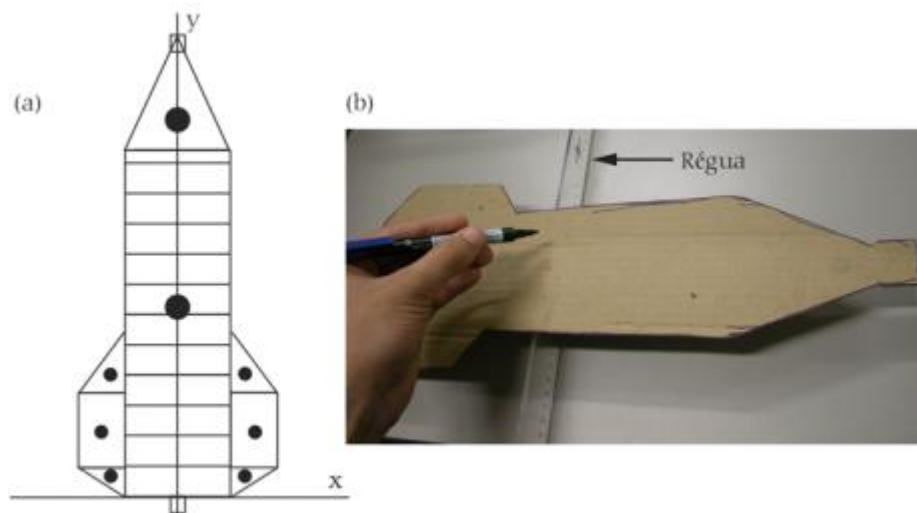


Figura 3 - Determinando o Centro de Pressão

Fonte: Souza 2007

Com a determinação do centro de massa e do centro de pressão, foi possível explicar a relação desses com a estabilidade do voo do foguete.

Segundo Souza (2007), em um foguete de garrafa PET, o centro de massa deve estar a 1,5 cm acima do centro de pressão para que a estabilidade do foguete seja garantida. Foi explicado que a necessidade dessa separação é devido a natureza das forças que atuam em cada um desses pontos. O foguete tende a girar em torno do centro de massa onde atua a resultante das forças gravitacionais, portanto, deve estar o mais próximo possível do bico (coifa) do foguete. Explicamos ainda que se o foguete girasse em torno de si mesmo após ser lançado, isso mostraria que seu centro de massa estaria muito próximo ao centro de pressão. Enfatizamos que essa observação seria feita em um dos testes de lançamento.

No último momento da aula apresentamos aos alunos a lista dos materiais que seria necessário que cada equipe providenciasse para a próxima aula, conforme descrito no produto no produto educacional (Apêndice E – item 2.1 para a Turma do nível 3 e item 2.2 para alunos da Turma do nível 4).

- 5) Na aula cinco iniciamos a segunda oficina, a construção das bases de lançamento. Aqui, vale ressaltar, existem diversos modelos de bases, tanto para o nível 3 que utiliza como propelente água e ar comprimido como para os alunos do nível 4 do ensino médio que utilizam como propelente uma mistura de ácido acético (vinagre) com bicarbonato de sódio. As bases, assim como os foguetes são fundamentais para o êxito das equipes nas competições. Devido aos custos dos materiais, embora sejam de baixo custo, e da realidade dos estudantes envolvidos, decidimos construir 4 bases: 2 bases para as equipes da turma do nível 3 e 2 bases para as equipes da turma do nível 4. Assim, todos os alunos, de todas as equipes de cada turma, se juntaram e dividiram os custos relacionado aos materiais para a construção de suas bases. Tanto nos testes de lançamento como durante a participação nos eventos eles compartilharam das mesmas bases de acordo com seus níveis. A construção das bases seguiu o roteiro da segunda sequência didática descrito no Produto Educacional (Apêndice E). A Figura abaixo mostra momentos da oficina de construção das bases de lançamento.



Figura 4 - Equipe arrumando os materiais para construir a Base de Lançamento

Fonte: o autor



Figura 5 - Alunos com a ajuda do professor montando a estrutura de madeira e PVC da Base de Lançamento do nível 4

Fonte: o autor



Figura 6 - Parte final da montagem da Base de Lançamento do nível 4

Fonte: o autor

- 6) É importante ressaltar que a oficina de construção das bases de lançamento demanda mais tempo. Desta forma levamos duas aulas para finalizar a construção das bases, ou seja, terminamos na aula seis.

- 7) Iniciamos a aula sete explicando aos alunos que na aula seguinte os levaríamos para uma aula de campo para os testes de lançamento, contudo, as equipes só poderiam participar desta aula se cumprisse as normas de segurança para o lançamento de foguetes de garrafa PET. Explicamos a importância e a seriedade de cada membro da equipe seguir à risca estas normas e explicamos o que pode acontecer quando elas são ignoradas. Estas normas estão descritas no Produto Educacional (Apêndice A). Na parte final da aula combinamos antecipadamente com os alunos o que seria necessário levar para a aula de campo. Vale ressaltar que a escola providenciou o transporte para esta aula e falamos isso para os alunos. Também, enviamos aos responsáveis um termo de autorização (Apêndice D) para o aluno participar em aula de campo o qual os estudantes deveriam trazer assinado no dia.

- 8) Nesta aula 8 realizamos os testes de lançamentos. É importante destacar que

contamos com a presença de muitos pais, responsáveis e outros parentes curiosos em saber como seriam lançados esses foguetes. Foi, de fato, bem animador ver o envolvimento dos familiares e os alunos estavam bem empolgados. Todas as equipes conseguiram lançar pelo menos um de seus foguetes, algumas bem mais de um. Todos os resultados foram registrados. Vale ressaltar que foi possível observar alguns foguetes girando e caindo bem próximos a base, confirmando, assim, o que havíamos falado na aula 4, de oficina de construção dos foguetes, que aconteceria caso o centro de pressão não estivesse a pelo menos 1,5 cm abaixo do centro de massa para garantir a sua estabilidade durante o voo. A figura abaixo mostra o teste de lançamento de uma equipe na aula em campo.



Figura 7 - Momento do teste de lançamento de uma das equipes

Fonte: o autor

No momento final da aula e, ainda no local do teste, discutimos as melhorias que poderiam ser feitas nas bases de lançamento com base nas observações ao longo dos lançamentos. Indicamos, ainda, como as equipes poderiam construir foguetes ainda melhores, mais aerodinâmicos que pudessem atingir maiores alcances. Mais uma vez gostaria de destacar, como foi interessante ver os responsáveis atentos e interessados, até mesmo realizando anotações e, se colocando a disposição para ajudar as equipes a

fazer as melhorias. Explicamos que na aula nove, a próxima aula, participaríamos do evento estadual JCF – Jornada Cearense de Foguetes que ocorreu na Base Aérea de Fortaleza no dia 11 de maio de 2019. Avisamos que o evento seria o dia todo e que seria aberto aos familiares dos estudantes.

- 9) Na nona aula do nosso trabalho, fomos novamente a campo para participar da JCF. A Jornada Cearense de Foguetes (JCF) é um evento realizado pelo Seara da Ciência da Universidade Federal do Ceará (UFC) em parceria com a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA) e Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG). O evento tem como objetivo divulgar as áreas de Astronomia, Engenharia Aeroespacial, Física e Astronáutica para a comunidade estudantil cearense de maneira descontraída, envolvendo professores, alunos, pais e escolas.

Contamos com a participação de todos os alunos envolvidos no projeto bem como tivemos a presença de pais, responsáveis e alguns parentes de todos os alunos. Nas figuras 8, 9, 10 e 11 estão registrados alguns momentos deste evento.



Figura 8 - Parte das equipes segurando seus foguetes e mostrando suas bases de lançamento antes da saída no Colégio para o evento

Fonte: o autor



Figura 9 - Equipe da 1ª série medalhista no evento e que se classificou para a Mostra Brasileira de Foguetes no Rio de Janeiro

Fonte: o autor



Figura 10 - Pais ajudando equipe a preparar o foguete para o lançamento

Fonte: o autor



Figura 11 - Equipe e professor no evento

Fonte: o autor

10) Na aula dez todos os alunos foram reunidos e convidados a responder o questionário 2, com itens na escala Likert (Apêndice B) e o questionário 3, com questões dissertativas (Apêndice C). Os questionários foram respondidos em sala pelos estudantes de forma individual e sem consulta a material e/ou colegas. Enfatizamos a colaboração e sinceridade dos alunos ao responderem às questões aplicadas. Após terem respondido levamos todos os estudantes para a quadra da escola onde, junto com toda a comunidade escolar, bem como os responsáveis convidados, realizamos o fechamento do trabalho com uma solenidade de entrega das medalhas (algumas que foram ganhas no evento e outras entregues pela escola) e certificados de participação, ver figura abaixo.



Figura 12 - Alunos recebendo premiação pela participação no projeto

Fonte: o autor



Figura 13 - medalhas ganhas no evento da JCF e medalhas confeccionadas pela escola

Esta solenidade encerrou nosso trabalho, e, em seguida, iniciamos a análise das respostas dos questionários. No entanto, como uma de nossas equipes foi classificada para representar a escola na Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG) no Rio de Janeiro, continuamos, posteriormente, a preparação desta equipe até a data do evento que ocorreu em novembro de 2019.

4 A FÍSICA DO FOGUETE DE GARRAFA PET

Este capítulo tem por objetivo descrever alguns dos conceitos físicos que podem ser trabalhados com os estudantes e que justificam alguns procedimentos que adotamos no lançamento dos foguetes de garrafa PET. Vale ressaltar que alguns destes conceitos podem necessitar de uma abordagem física e/ou matemática a nível superior com uso de equações diferenciais e integrais, mas que, através da atividade proposta como a construção e lançamento de foguetes de garrafa PET o processo de aprendizagem se torna mais fácil.

4.1 Velocidade máxima do foguete durante o voo

O lançamento de foguetes reais ocorre pela queima de combustível. Os gases provenientes da combustão são ejetados em sentido contrário ao do movimento do foguete impulsionando-o para a frente. Algo semelhante ocorre nos lançamentos de foguete com garrafa PET. Para a turma do nível 3 (Ensino Fundamental II) o lançamento se dá com água e ar sendo comprimido dentro da garrafa através de uma bomba de encher pneu de bicicleta. Quando o gatilho (dispositivo que prende a garrafa à base de lançamento impedindo a saída da água) é acionado, o ar comprimido, que faz o papel da explosão empurra a água no sentido contrário ao movimento do foguete que é impulsionado para frente.

No caso dos alunos da turma do nível 4 (Ensino Médio) a única diferença é que no lugar de água e ar comprimido usa-se ácido acético (vinagre) e bicarbonato de sódio que ao serem misturados dentro da garrafa liberam-se gases (gás carbônico) proveniente da reação química e que faz pressão dentro da garrafa empurrando a água no sentido contrário ao do movimento do foguete que por sua vez é impulsionado para a frente.

Em outras palavras, o que temos é uma aplicação direta da conhecida lei da ação e reação ou Terceira Lei de Newton. Para encontrar a velocidade máxima que o foguete pode atingir durante todo o seu voo vamos aplicar a Segunda Lei de Newton dada pela Eq. (1) abaixo.

$$\sum F = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (3.1.1)$$

Nesta descrição vamos desconsiderar a força de resistência do ar sobre o foguete e consideraremos a força gravitacional como a única força externa atuante, logo $\sum F = -Mg$, onde M é a massa inicial do foguete. Outra consideração que faremos é imaginar o foguete em movimento inicial uniforme, embora sua velocidade seja zero já que ele está parado em relação a base de lançamento. No entanto, de acordo com Souza (2007), isso nos ajudará a fazer manipulações matemáticas mais simples.

Com estas considerações, temos que o momento linear inicial do foguete é $p_i = Mv$, onde M é sua massa inicial dada por $M = m_f + m_{H_2O}$, isto é, a massa do foguete vazio (m_f) mais a massa de água contida em seu interior (m_{H_2O}) como mostra a Fig. 14a. No momento que ocorre a ejeção de uma pequena quantidade de água Δm_{H_2O} a uma velocidade v_f , a velocidade do foguete é alterada Δv (Fig. 14b). (SOUZA, 2007)

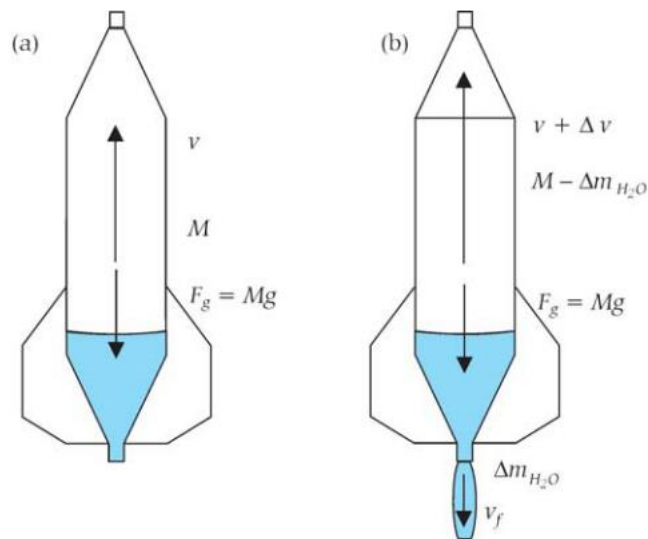


Figura 14 - (a) Configuração do foguete no momento em que não é ejetada nenhuma quantidade de água; sua massa é M e sua velocidade é v . A única força atuante é a força gravitacional, F_g . (b) Configuração do foguete após a ejeção de uma pequena quantidade de água com massa m_{H_2O} e velocidade v_f . A massa do foguete muda para $M - \Delta m_{H_2O}$ e sua velocidade para $v + \Delta v$.

Fonte: (SOUZA, 2007)

Levando em conta todas estas considerações e fazendo as devidas substituições na Eq. (1), obtemos:

$$-Mg = \frac{(M - \Delta m_{H_2O})(v + \Delta v) - \Delta m_{H_2O}v_f - Mv}{\Delta t} \quad (3.1.2)$$

Manipulando esta equação e desprezando o termo $\Delta m_{H_2O}v_f$ já que m_{H_2O} é muito pequeno, obtemos para a velocidade do foguete Δv (Souza 2007),

$$\Delta v = -g\Delta t + \frac{\Delta m_{H_2O}}{M}u, \quad (3.1.3)$$

Onde u é a velocidade de escape da água relativa ao foguete, $u = v + v_f$. Utilizando as quantidades $\Delta m_{H_2O} = \rho\Delta V$ e $M = \rho\Delta V_{H_2O} + m_f$, onde ρ é a densidade da água, ΔV a mudança do volume de ar dentro do foguete, V_{H_2O} o volume de água dentro do foguete e m_f a massa do foguete vazio, temos (Souza 2007)

$$\Delta v = -g\Delta t + \left(\frac{\rho\Delta V}{\rho\Delta V_{H_2O} + m_f} \right)u \quad (3.1.4)$$

A Eq. (4) nos mostra que podemos conhecer a velocidade do foguete durante o tempo Δt de ejeção da água conhecendo-se a velocidade de escape da água u em relação ao foguete. Para determinar o tempo Δt ,

“Uma maneira de determinar Δt é lançar o foguete em frente a um anteparo como um muro ou pilastra, de modo que possamos estabelecer uma escala e utilizar uma câmera digital qualquer para filmar o momento do lançamento. Em seguida é só separar o filme em quadros (frames), utilizando algum programa de edição de vídeo desde o momento em que o foguete deixa a base até o momento em que ocorre toda ejeção de água.”. (SOUZA, 2007).

Para encontrar a velocidade de escape u , segundo Souza (2007), podemos considerar a água como um fluido perfeito e incompressível e seu escoamento pelo tubo (foguete) estacionário. Utilizando a equação de Bernoulli (NUSSENZVEIG, 2002), temos

$$\frac{1}{2}\rho V_L^2 + P = \frac{1}{2}\rho u^2 + P_{atm} \quad (3.1.5)$$

Onde as quantidades apontadas no primeiro membro da Eq. (5) estão

relacionadas à quantidade de água no interior do foguete, ou seja, sua densidade ρ e sua velocidade V_L , a pressão P em sua superfície. No segundo membro estão as quantidades relacionadas à porção de água que é ejetada do foguete, que são sua velocidade relativa u , a qual queremos encontrar, e a pressão atmosférica P_{atm} em sua superfície. Perceba que está sendo desprezado a energia potencial gravitacional da equação de Bernoulli, pois sua magnitude é desprezível comparada com as outras grandezas envolvidas. (SOUZA, 2007)

Ainda, segundo Souza (2007), ambas as velocidades u e V_L estão relacionadas com a taxa com que a água é ejetada, ou, equivalentemente, a taxa com que o volume de ar V dentro da câmara (garrafa PET) aumenta. Esta relação é dada pela equação de continuidade (BUCHHOLTZ, 2002, e RESNICK)

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{1}{4} u \pi D_B^2 = \frac{1}{4} V_L \pi D_F^2 \quad (3.1.6)$$

Sendo D_B e D_F os diâmetros do bocal e do corpo da garrafa, respectivamente. A Fig. 15 ilustra as grandezas representadas nas Eq. (5) e (6).

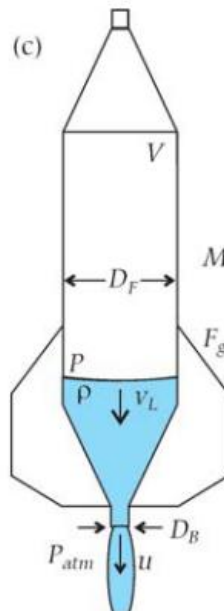


Figura 15 – Mostra-se o volume V de ar dentro do foguete; P , a pressão sobre a superfície da água; D_F , o diâmetro do foguete; D_B , o diâmetro do bocal; ρ , a densidade da água; V_L , a velocidade da água dentro do foguete; u , a velocidade de escape da água em relação ao foguete e P_{atm} , a pressão atmosférica.

Da Eq. (6) observamos que V_L é proporcional à razão D_B/D_F , que por sua vez é muito menor que 1, tornando-se menor ainda quando elevado a quarta potência na Eq. (5). Logo, podemos desprezar o primeiro termo da Eq. (5), o que nos permite obter a expressão para a velocidade de escape da água, que é dada por (SOUZA, 2007),

$$u = \sqrt{\frac{2(P - P_{atm})}{\rho}} \quad (3.1.7)$$

Segundo Souza (2007), Quando a garrafa retorna ao solo observa-se que há vapor de água dentro dela, e isso implica que houve resfriamento do ar dentro da garrafa no momento de sua expansão. Como Δt é muito pequeno, significa que este processo de expansão pode ter ocorrido sem trocas de calor entre o sistema, câmara de compressão e a vizinhança. Portanto, podemos supor que houve uma expansão adiabática. Admitindo que o ar seja um gás ideal, temos

$$P = P_0 \left(\frac{V_0}{V}\right)^\gamma \quad (3.1.8)$$

Onde, ainda segundo Souza (2007), P_0 é a pressão absoluta dentro do foguete, V_0 o volume inicial de ar dentro do mesmo e V seu volume final, que é o volume da garrafa. Como o ar pode ser considerado um gás diatômico, temos que $\gamma = 1,4$, (NUSSENZVEIG, 2002). Substituindo a Eq. (8) na Eq. (7), encontramos finalmente, para a velocidade de escape da água

$$u = u_c \sqrt{\left(\frac{V_0}{V}\right)^\gamma - \left(\frac{P_{atm}}{P_0}\right)} \quad (3.1.9)$$

Onde, u_c é a velocidade característica dada por (SOUZA, 2007),

$$u_c = \sqrt{\frac{2P_0}{\rho}} \quad (3.1.10)$$

Agora basta calcular u pela Eq. (9) e substituir na Eq. (3) que conseguimos obter a velocidade do foguete no momento em que ocorre toda ejeção de água (Eq. (11)), que é a velocidade máxima que o foguete atinge durante todo o processo de voo. Segundo Souza (2007), a partir do momento em que a água é totalmente ejetada, o foguete fica sujeito às forças da gravidade e atrito do ar. Daí, podemos estimar sua aceleração que, dependendo da pressão imposta, pode ser da ordem de dezenas de vezes a aceleração da gravidade; um resultado realmente incrível, utilizando apenas garrafas PET, água, ar comprimido ou uma mistura de vinagre e bicarbonato de sódio.

$$\Delta v = -g\Delta t + u_c \left[\left(\frac{\rho\Delta V}{\rho\Delta V_{H_2O} + m_f} \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{V_0}{V} \right)^{\gamma} - \left(\frac{P_{atm}}{P_0} \right)} \right] \quad (3.1.11)$$

Esse estudo da velocidade máxima do foguete durante o voo, baseado no artigo de Souza (2007), na revista Física na Escola, embora não tenhamos feito testes suficientes para usarmos a Eq. (11), ajudou-nos a entender que alguns parâmetros como, P_0 (pressão absoluta inicial dentro do foguete), V_{H_2O} (volume de água) e V (volume total da câmara de compressão do foguete) que pode variar de garrafa PET de 1,0 L a 2,0 L, fariam toda a diferença no lançamento já que nos eventos que participamos lançamos os foguetes obliquamente para obter alcance máximo.

Fica aqui a proposta e incentivo para em trabalhos posteriores utilizarmos este modelo a fim de encontrar os melhores parâmetros de P_0 , V_{H_2O} e V , e assim conseguir obter alcance máximo.

4.2 Ângulo de lançamento do foguete

Nesta parte, faremos uma revisão do assunto de movimento dos projéteis na vizinhança da superfície da Terra. Isso justificará o motivo de construirmos as bases de lançamento de modo a lançarmos os foguetes com um ângulo de 45° . Segundo Nussenzveig (2002), na balística usual, podemos considerar a Terra como plana e a aceleração da gravidade como constante (isto não seria verdade para foguetes intercontinentais).

Tomaremos o eixo Oy (Fig. 16) segundo a vertical. Ele será orientado para cima, de forma que, $a = -g$:

$$\vec{a} = -g\mathbf{j} \quad (3.2.1)$$

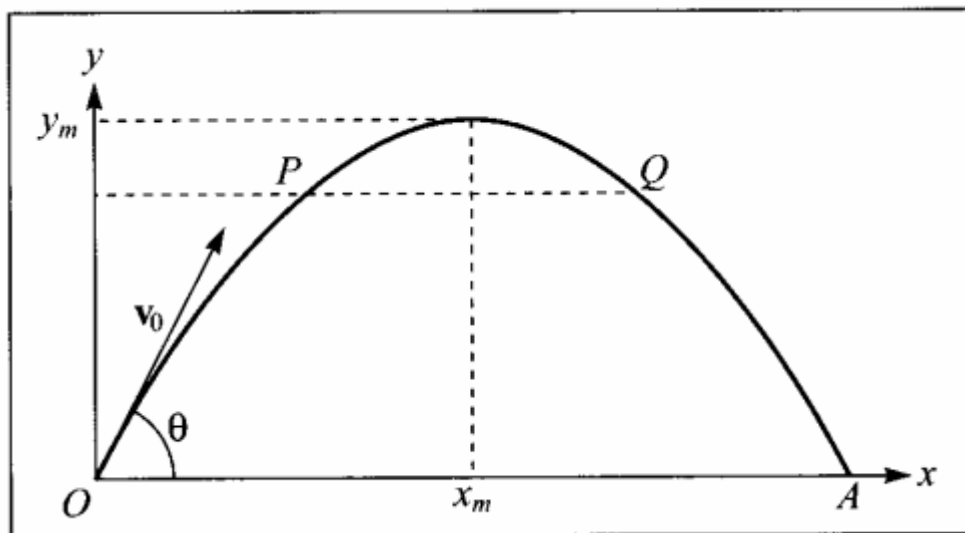


Figura 16 - Trajetória parabólica

Fonte: (NUSSENZVEIG, 2002)

Admitiremos também que $X_0 = Y_0 = 0$, tomando a posição inicial como origem, e vamos tomar $t_0 = 0$. Também, seja θ o ângulo entre V_0 e Ox (Fig. 16), de modo que

$$V_{0x} = V_0 \cos\theta \quad V_{0y} = V_0 \sin\theta \quad (3.2.2)$$

Considerando as equações Eq. (3.2.3) e Eq. (3.2.4) para as velocidades e

posições nas direções vertical e horizontal (Nussenzveig 2002)

$$V_x(t) = V_{0x} \quad V_y(t) = V_{0y} + a(t - t_0) \quad (3.2.3)$$

$$X(t) = X_0 + V_{0x}(t - t_0) \quad Y(t) = Y_0 + V_{0y}(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2 \quad (3.2.4)$$

Substituindo as equações Eq. (3.2.2), em Eq. (3.2.3) e Eq. (3.2.4) obtemos

$$V_x = V_0 \cos \theta \quad V_y = V_0 \cos \theta - gt \quad (3.2.5)$$

$$X = V_0 \cos \theta t \quad Y = V_0 \sin \theta t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (3.2.6)$$

Considere agora a Eq. (3.2.7), (Nussenzveig 2002), que é a equação da trajetória (parábola) de eixo vertical, que passa por (X_0, Y_0) , e cuja tangente neste ponto tem a direção de V_0 (por construção). Note que as Eq. (3.5.4) mostram que o movimento ao longo da parábola pode ser considerado como resultante da composição de um movimento uniforme na direção horizontal com um movimento uniformemente acelerado na direção vertical.

$$Y - Y_0 = \left(\frac{V_{0y}}{V_{0x}} \right) (X - X_0) + \frac{1}{2} \frac{a}{V_{0x}^2} (X - X_0)^2 \quad (3.2.7)$$

Substituindo as equações Eq. (3.2.2) em Eq. (3.2.7), obtemos

$$Y = tg\theta \cdot X - \frac{gX^2}{2V_0^2 \cos^2 \theta} \quad (3.2.8)$$

Conforme mostra a Fig. 16, a altura máxima Y_m atingida pelo projétil corresponde ao instante t_m em que V_m se anula, ou seja, pela Eq. (3.2.3)

$$t_m = \frac{V_0 \sin \theta}{g} \quad (3.2.9)$$

E o valor correspondente de Y é dado pela Eq. (3.2.6):

$$Y_m = V_0 \sin \theta \cdot \frac{V_0 \sin \theta}{g} - \frac{1}{2} g \cdot \frac{V_0^2 \sin^2 \theta}{g^2} \quad (3.2.10)$$

Ou seja,

$$Y_m = \frac{V_0^2 \sin^2 \theta}{2g} \quad (3.2.11)$$

Quanto tempo o projétil leva para atingir o solo no ponto $X = A$ (Fig. 16)? Fazendo $Y = 0$ na segunda das Eq. (3.2.6), obtemos uma equação do segundo grau em t , em que uma das raízes é $t = 0$, correspondendo ao ponto de lançamento, e a outra é

$$t = t_A = \frac{2V_0 \sin \theta}{g} = 2t_m \quad (3.2.12)$$

Ou seja, é o dobro do tempo que leva para atingir a altura máxima, o que poderíamos ter inferido pela simetria da trajetória com respeito a $X = X_m$.

Com que velocidade o projétil atinge o solo? Basta fazer $t = t_A$ na Eq. (3.2.5), obtendo

$$|\mathbf{V}(t_A)| = |\mathbf{V}_0| \quad (3.2.13)$$

Logo, segundo Nussenzveig (2002), ao atingir o solo, a velocidade do

projétil só difere da velocidade inicial V_0 , pela inversão da componente vertical ($V_y \rightarrow -V_y$), e tem o mesmo módulo. Como $Y = 0$ é um plano arbitrário, o mesmo vale em qualquer plano horizontal ($y = \text{constante}$), ou seja, também se aplica às velocidades nos dois pontos P e Q em que a parábola corta um dado plano horizontal (Fig. 16).

Considere a equação de Torricelli abaixo,

$$V^2 = V_0^2 + 2a(X - X_0) \quad (3.2.14)$$

Com o auxílio da equação de Torricelli Eq. (3.2.14) podemos exprimir as componentes da velocidade diretamente em função da altura Y ,

$$V_y = \pm \sqrt{V_0^2 \text{sen}^2 \theta - 2gy}, \quad V_x = V_0 \text{cos} \theta \quad (3.2.15)$$

onde o sinal é + ou – conforme o projétil esteja subindo ou descendo.

A distância $X = A$ entre o ponto de lançamento O e o ponto em que o projétil volta a passar pelo plano $Y = 0$ chama-se alcance do projétil, e se obtém substituindo a Eq. (3.2.12) na primeira da Eq. (3.2.6):

$$A = V_0 \text{cos} \theta \cdot \frac{2V_0 \text{sen} \theta}{g} = \frac{V_0^2}{g} \text{sen}(2\theta) \quad (3.2.16)$$

onde usamos a bem conhecida relação trigonométrica: $\text{sen}(2\theta) = 2\text{sen}\theta\text{cos}\theta$. Uma consequência imediata da Eq. (3.2.16) é que o alcance é máximo quando o ângulo de elevação da base θ , para o lançamento do foguete, vale 45° .

Para facilitar essa observação, utilizamos a simulação movimento de projétil da *PHET Interactive Simulations*, conforme o Produto Educacional gerado. Simulamos lançamentos com ângulos menores e maiores que 45° deixando claro que para obter alcance máximo o ângulo de lançamento do foguete deve ser 45° .

4.3 Resistência do ar e os foguetes de garrafa PET

Nesta sessão vamos entender a influência que o ar exerce no foguete durante seu voo. Isso justificará o formato com que construímos os foguetes e alguns procedimentos tomados durante a oficina de construção.

Segundo Oliveira (2008), quando um corpo se desloca com velocidade v em um fluido, ele sofre a ação de uma força que se opõe ao seu movimento. Esta força é denominada força de resistência fluida F_{rf} representada pela equação geral abaixo:

$$F_{rf} = K_n V^n, \quad \text{com } n = 1 \text{ ou } n = 2 \quad (3.3.1)$$

sendo K_n uma constante que depende da forma do corpo e também de propriedades físicas do fluido. O ar será o fluido de referência para a aplicação dos modelos que aplicaremos (OLIVEIRA, 2008).

Ainda segundo Oliveira 2008, para $n = 1$ a força de resistência do ar é considerada viscosa. A equação para a resistência viscosa do ar é:

$$F_{ar} = K_1 V \quad \text{para } n = 1 \quad (3.3.2)$$

Esta equação vale para corpos com velocidade da ordem de 2 m/s. Um exemplo é o movimento das gotículas de neblina do ar. Millikan utilizou esta equação em seu experimento para a determinação da carga elétrica elementar.

Para $n = 2$ a força de resistência do ar é considerada como uma força de resistência dinâmica, ou seja, a resistência do ar deixa de ser viscosa. A equação para a resistência dinâmica do ar é:

$$F_{ar} = K_2 V^2 \quad \text{para } n = 2 \quad (3.3.3)$$

Esta equação vale para corpos com velocidade entre 24 m/s e 330 m/s (OLIVEIRA, 2008). Nossos foguetes estão dentro deste intervalo de velocidade e, portanto, podemos usar esta equação. Para este intervalo de velocidade a constante K_2 é igual a:

$$K_2 = \frac{1}{2} C_x \rho_{ar} A \quad (3.3.4)$$

Logo, a equação para a resistência dinâmica do ar assume a seguinte forma:

$$F_{ar} = \frac{1}{2} C_x \rho_{ar} A V^2 \quad (3.3.5)$$

sendo, C_x o coeficiente de arraste do corpo; ρ_{ar} a densidade do ar; A a área voltada para o movimento e V a velocidade relativa do corpo. Segundo Oliveira (2008), cada um dos termos descritos anteriormente, influencia de forma significativa o movimento de um corpo que se desloca no ar.

Percebemos, da Eq. (3.3.5) que a forma de um corpo se deslocando no ar é caracterizada pelo coeficiente de arraste C_x . Logo, quanto menor C_x , melhor o deslocamento do foguete no ar. Fica claro que, a resistência do ar muda conforme a forma dos corpos. Isso justifica o procedimento de construirmos uma aleta e coifas, a fim de ajustar os contornos do foguete de garrafa PET para que o ar escoe de forma mais suave sobre ele (Fig. 17).

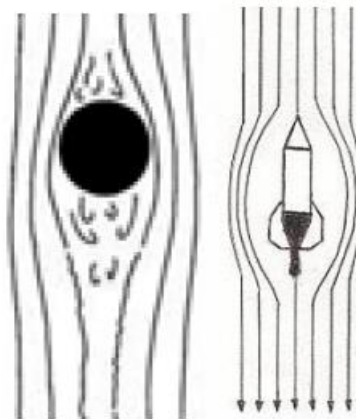


Figura 17 – Correntes de ar numa esfera e no foguete de garrafa PET

Autor: OLIVEIRA 2008

Perceba a quantidade de fenômenos físicos que é possível abordar neste trabalho de construção de bases de lançamento e foguetes de garrafa PET. Ainda

poderíamos falar sobre a aceleração da gravidade nas proximidades da Terra, sistemas físicos de massa variável, velocidade de descarga do combustível de um foguete, equação geral do foguete, reação química e muito mais. Deixamos para trabalhos posteriores o incentivo para explorar estes assuntos.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Coleta de dados

Os dados foram colhidos por meio do questionário 1: conhecimentos prévios (Apêndice A); contendo nove questões para saber o que o alunos já sabiam sobre as temáticas e conceitos que seriam abordados; por meio do questionário 2: com itens na escala Likert (Apêndice B) e, também, pelo questionário 3 – dissertativo (Apêndice C) contendo 6 questões discursivas.

Todos os questionários foram realizados por meio de formulários Google. Antes da primeira aula os alunos ingressaram em um grupo de Google Sala de Aula, assim, nos momentos da realização dos questionários em sala, os estudantes foram levados ao laboratório de informática onde podiam acessar os links através do Google Classroom.

É importante ressaltar que todos os estudantes que participaram do projeto responderam aos questionários. Também, além dos questionários aplicados, tomamos nota de outros questionamentos que foram surgindo e eram feitos espontaneamente pelos alunos no decorrer das atividades.

5.2 Análise do questionário 1

O questionário 1 continha nove perguntas das quais: as duas primeiras eram discursivas e as outras sete eram de múltipla escolha contendo apenas uma resposta correta. As questões foram escolhidas pensando na sequência de conceitos que seriam desenvolvido ao longo das atividades, de forma que, as duas primeiras questões discursivas tratavam sobre a temática de foguetes, as três próximas abordavam os estados físicos da matéria, as três seguintes estavam relacionadas ao centro de massa e ao centro de pressão e, a última questão versava sobre as Leis de Newton.

Vale destacar que no primeiro encontro foi comunicado aos alunos que eles responderiam a estes questionários e, que embora fossem corrigidos, não seria atribuída nenhuma nota, visto que o objetivo era apenas verificar o nível de compreensão dos conteúdos abordados.

Após a análise das respostas do questionário 1 a respeito dos conhecimentos prévios dos alunos sobre algumas temáticas e conceitos de física que seriam trabalhados ao longo do trabalho, destacamos os seguintes pontos:

- 1) Na pergunta 1 que versava sobre o que é um foguete, alguns alunos, tanto da turma 3 como da turma 4 responderam o que está transcrito abaixo. Os outros deram respostas bem parecidas.

- *“É uma nave, com turbinas de grande pressão, que tem o objetivo de chegar a um determinado ponto no espaço.”*

- *“Um dispositivo que se desloca em alta velocidade.”*

- *“São objetos voadores lançado por algum tipo de combustível.”*

Isso mostrou a pouca compreensão dos alunos sobre o que são e, para que são usados os foguetes. Percebemos que foi útil a sugestão de resposta descrita no roteiro e aplicação da 1ª sequência didática do Produto Educacional (Apêndice E).

- 2) Na pergunta 2 que tratava a respeito do papel da coifa, do motor foguete e das empenas também percebemos pouco entendimento dos estudantes a respeito dessas partes do foguete. Alguns não tinham familiaridade com estas palavras e, portanto, embora estivesse ilustrado na pergunta, não sabiam para que serviam. Também, se mostrou eficaz utilizar as sugestões de respostas descrita no produto Educacional (Apêndice E).

- 3) As perguntas 3 a 5 abordavam os conceitos relacionados aos estados físicos da matéria. A pergunta 3 referia-se a propriedade de compressibilidade do ar, a pergunta 4 estava relacionada a propriedade de expansibilidade do ar e a pergunta 5 tratava da incompressibilidade dos líquidos. Vale lembrar que essas questões foram escolhidas com o objetivo de introduzir a explicação de como usaríamos água e ar comprimido no lançamento dos foguetes, o que fizemos no segundo momento da aula 3. Os gráficos abaixo mostram o resultado das respostas dos alunos a estas questões.

O ar tem a propriedade de ocupar todo o volume de um recipiente adquirindo o seu formato, já que não possui uma forma própria. Assim podemos...a externa. A essa propriedade dar-se o nome de:

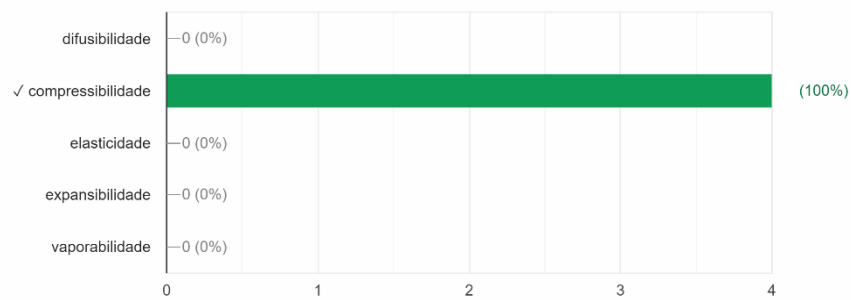


Gráfico 1 - Resultado das respostas relacionadas a pergunta 3. Gráfico gerado pelo Google Formulário referente ao questionário 1

Fonte: o autor

O ar tem a propriedade de aumentar seu volume e adquirir o formato do recipiente que o contem. Essa propriedade é denominada de:

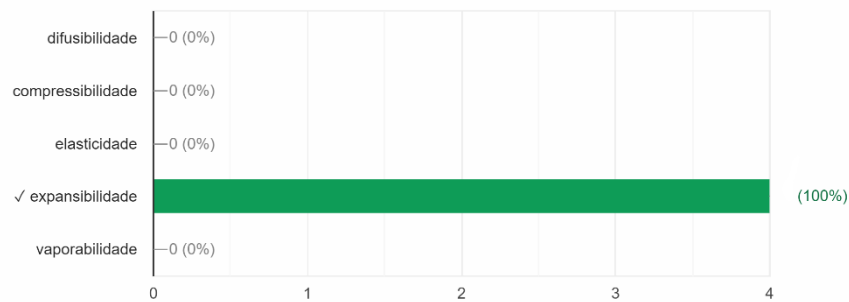


Gráfico 2 - Resultado das respostas relacionadas a pergunta 4. Gráfico gerado pelo Google Formulário referente ao questionário 1

Fonte: o autor

Uma das propriedades dos líquidos que tem mais aplicações tecnológicas é a sua propriedade de não diminuir de volume, em condições normais de ...a força externa. Essa propriedade é chamada de:

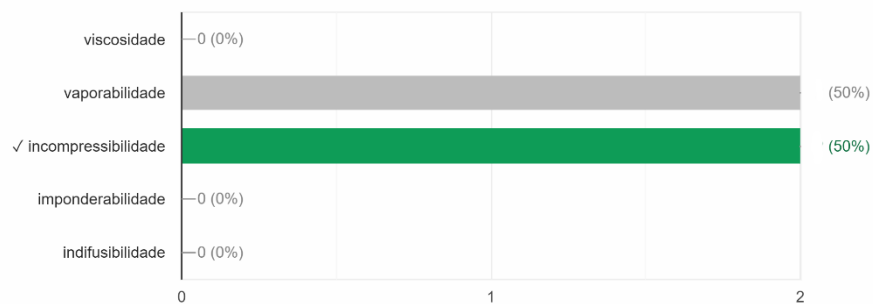


Gráfico 3 - Resultado das respostas relacionadas a pergunta 5. Gráfico gerado pelo Google Formulário referente ao questionário 1

Fonte: o autor

Os gráficos mostram que os alunos tinham uma boa compreensão das propriedades físicas do ar e dos líquidos. Dessa forma, ficou fácil introduzir esses conceitos e explicar como usaríamos água e ar comprimido como propelente no lançamento dos foguetes do nível 3.

- 4) As perguntas 6 a 8 envolviam os conceitos de centro de massa e centro de pressão, respectivamente. Na questão 6 o aluno precisa localizar o centro de massa de um corpo em repouso, na questão 7 foi pedido ao aluno que marcasse a alternativa relacionada ao conceito de centro de pressão e na questão 8 os estudantes tinham que relacionar os dois conceitos. Metade dos alunos acertou cada uma das três questões, tanto da turma 3 como da turma 4. O resultado nos ajudou a perceber que cerca de 50% dos alunos, a maioria do Ensino Fundamental, tinham dúvidas ou não sabiam nada sobre centro de massa e centro de pressão.

Vale ressaltar que retomamos esse conteúdo sobre o centro de massa e o centro de pressão na quarta aula. Foi o momento apropriado para introduzir esses conceitos e explicar aos alunos quão importante estes eram para assegurar que os foguetes tivessem um voo estável e atingisse o maior alcance possível.

- 5) Por fim, a pergunta 9 tratava da Terceira Lei de Newton. O estudante precisava relacionar o voo dos foguetes com o conceito de ação e reação. Foi interessante observar que todos os alunos acertaram essa questão. Esse resultado indicou que tinham alguma familiaridade com este conceito.

Percebemos que poderíamos ter inserido mais questões principalmente sobre as Leis de Newton, até mesmo, ter trazido mais discursões sobre elas, relacionando-as ao movimento dos foguetes. Pretendemos, posteriormente, incrementar os questionários e trazer mais discussões sobre as Leis de Newton.

5.3 Análise do questionário 2

Para tratar os dados do questionário 2 utilizamos a proposta de Silva (2015), em que, a partir das respostas do questionário 2: com itens na escala Likert foi possível gerar as Tabelas abaixo, para cada turma, que mostram as quantidades de marcações para cada um dos itens na Likert.

TURMA NÍVEL 3	DT	DPA	IN	C	CT	TOTAL	MEDIANA	DP	CP	GCP
Item 1	0	0	0	2	4	6	CT	0,0	6,0	100,0
Item 2	0	0	0	4	2	6	C	0,0	6,0	100,0
Item 3	0	0	0	4	2	6	C	0,0	6,0	100,0
Item 4	0	1	0	2	3	6	CT	1,0	5,0	83,3
Item 5	0	0	0	1	5	6	CT	0,0	6,0	100,0
Item 6	0	2	2	1	1	6	IN	3,0	3,0	50,0
Item 7	0	0	0	1	5	6	CT	0,0	6,0	100,0
Soma	0	3	2	16	21	42	-	-	-	-

Tabela 2 - Itens Likert - Turma Nível 3

Fonte: o autor

TURMA NÍVEL 4	DT	DPA	IN	C	CT	TOTAL	MEDIANA	DP	CP	GCP
Item 1	0	0	0	7	5	12	C	0,0	12,0	100,0
Item 2	0	0	0	9	3	12	C	0,0	12,0	100,0
Item 3	1	0	1	8	2	12	C	1,5	10,5	87,5
Item 4	0	0	0	2	10	12	CT	0,0	12,0	100,0
Item 5	0	0	0	0	12	12	CT	0,0	12,0	100,0
Item 6	0	1	4	4	3	12	C	3,0	9,0	25,0
Item 7	0	0	0	1	11	12	CT	0,0	12,0	100,0
Soma	1	1	5	31	46	84	-	-	-	-

Tabela 3 - Itens Likert - Turma Nível 4

Fonte: o autor

Nas duas Tabelas anteriores, “Itens” refere-se a sete proposições para avaliar a aprendizagem dos conceitos de Física nas oficinas de construção das bases de lançamento e dos foguetes de garrafa PET. Coluna DT – discordo totalmente, DPA – discordo parcialmente, IN – indiferente ou neutro, C – concordo, CT – concordo Totalmente, TOTAL – quantidade total de respondentes, MEDIANA – coluna dentro do referencial semântico na qual se encontra o respondente, DP – discordantes da proposição, CP – concordantes da proposição e GCP – grau de concordância da proposição.

O objetivo deste questionário era avaliar os efeitos e o êxito na execução das sequências didáticas e como elas foram vistas pelos alunos. Assim, para o cálculo dos concordantes e discordantes de cada proposição (CP, DP, respectivamente) utilizamos a proposta de Macnaughton (1996, SANCHES, MEIRELES; SORDI, 2011. p. 6) por meio das equações (I) e (II).

$$DP = DT + DPA + IN / 2 \quad (I) \qquad CP = CT + C + IN / 2 \quad (II)$$

Para o cálculo do grau de concordância da proposição (GCP), utilizamos o oscilador estocástico de Wilder Jr. (1981, apud SANCHES; MEIRELES; SORDI, 2011. P. 7) dado pela equação (III).

$$GCP = 100 - \left(\frac{100}{\frac{CPro}{DPro} + 1} \right) \quad (III)$$

Segundo Sanches, Meireles e Sordi (2011), no cálculo do grau de concordância da preposição (GCP) devemos evitar divisão por zero, inserindo 0,000001 aos valores de CP e DP e, quando o valor esperado de uma resposta na escala Likert for o inverso, invertamos a fração CP/DP na equação (III).

Como parâmetro para analisarmos os resultados da escala Likert, utilizamos uma proposta adaptada de Davis (1979, apud SANCHES; MEIRELES; SORDI, 2011, p. 6) que pode ser resumida na tabela abaixo.

Valor do GCP	Interpretação do GCP
90 ou mais	Forte concordância
80 a 89,99	Concordância substancial
70 a 79,99	Concordância moderada
60 a 69,99	Concordância baixa
50 a 59,99	Concordância desprezível
40 a 49,99	Discordância desprezível
30 a 39,99	Discordância baixa
20 a 29,99	Discordância Moderada
10 a 19,99	Discordância substancial
9,99 ou menos	Discordância muito forte

Tabela 4 - Grau de concordância da proposição

Fonte: Sanches; Meireles; Sordi, 2011, p. 6

Após tomarmos como base esses parâmetros, foi possível analisar o grau de concordância de cada proposição (item) do questionário 2 com itens na escala Likert de acordo com a Tabela acima. É importante ressaltar e dar crédito a *Silva (2015)*, pela ideia dos questionários, bem como, da forma de tratar os dados coletados. A seguir descrevemos a análise dos resultados.

- 1) Item 1: *A estratégia utilizada pelo professor em sala de aula me ajudou a entender o conceito de foguetes.*

Nas duas turmas tivemos uma forte concordância. O fato de explicarmos o mecanismo de voo dos foguetes várias vezes em sala, antes da oficina de construção de foguetes de garrafa PET e, antes dos testes de lançamento, talvez, explique as duas turmas atingirem o total grau de concordância. Vale destacar que embora as duas turmas tenham o mesmo grau de concordância, a posição da mediana é diferente, a turma 3 ficou localizada em CT (concordo totalmente) e a turma 4 C (Concordo parcialmente). Isso mostra que as duas turmas diferem um pouco entre si, no entanto, a aplicação da sequência didática com auxílio das oficinas e participação na MOBFOG tiveram bons efeitos.

- 2) Item 2: *A estratégia utilizada pelo professor em sala de aula me ajudou a*

relacionar o movimento dos foguetes à Leis de Newton.

Nesse item analisamos como a estratégia de usar as oficinas bem como de participar na MOBFOG facilitou o aprendizado e colaborou para uma melhor compressão dos estudantes em relação as Leis de Newton. Observamos que nas duas turmas tivemos uma forte concordância. É possível que o fato de sempre relacionarmos o voo dos foguetes às Leis de Newton tenha contribuído e explica as duas turmas atingirem o mesmo grau de concordância.

- 3) *Entendo que o uso da água melhora o desempenho do foguete, pois, quando liberamos o gatilho, o ar expande-se e expulsa a água num jato contínuo.*

Usamos este item para analisar o grau de compreensão dos alunos quanto as propriedades dos gases e dos líquidos estudados em sala. Na turma 3 tivemos forte concordância, enquanto que, na turma 4 tivemos concordância moderada. Esta diferença entre as turmas pode ser explicada pelo fato que o propelente usado no foguete da turma 3 ser água e ar comprimido e ter sido dado bastante ênfase nestes conceito, enquanto que, na turma 4 o propelente é a reação de acetato de sódio e vinagre, por isso, os estudantes da turma 4 não estavam muito familiarizados com água e ar comprimido. Percebemos assim, a necessidade de, numa próxima vez, ajustarmos a sequência e item do questionário para melhor se adequar ao conteúdo da turma 4.

- 4) *A estratégia utilizada pelo professor me ajudou a compreender os estados físicos da matéria.*

Na turma 3 obtivemos concordância substancial e na turma 4 forte concordância. Uma leve diferença entre as turmas, mas, ainda assim, percebemos que as discursões, debates, e explicações antes dos testes dos foguetes foram decisivos para tornar a aplicação da sequência didática, oficinas e participação na MOBFOG bem sucedida no que tange a contribuir que os alunos atingissem uma melhor compreensão dos conceitos físicos relacionados.

- 5) *A estratégia utilizada pelo professor me ajudou a relacionar teoria e prática.*

Em ambas as turmas tivemos forte concordância neste item. Isso indica fortemente que a estratégia de usar as oficinas de construção de foguetes de garrafa PET, construção de bases de lançamento e, participar em eventos

como a JCF e MOBFOG contribuem e muito para que os alunos relacionem os conteúdos teóricos vistos em sala de aula com o movimento dos foguetes de garrafa PET durante os lançamentos.

- 6) *Por meio do esquema de montagem do foguete, quando preenchido por um terço de água e pressurizado, foi possível entender que os gases e os líquidos possuem as mesmas propriedades.*

Neste item esperávamos que a resposta fosse discordância total da proposição e, assim como enfatizamos anteriormente, quando a posição na escala Likert é invertida devemos inverter os termos para calcular o grau de concordância interpretando seu valor máximo como sendo de total desacordo da proposição. Assim, obtivemos na turma 3 concordância desprezível e na turma 4, concordância moderada. Logo, esse resultado é satisfatório levando em conta que os estudantes foram sensíveis à inversão quando responderam o questionário.

- 7) *A estratégia utilizada pelo professor me ajudou a entender como se dá o lançamento de foguetes espaciais (reais).*

Para este item tivemos em ambas as turmas forte concordância. Isso por si só, mostra-nos que a estratégia do uso de oficinas experimentais e a participação em eventos como a JCF e MOBFOG é eficaz e facilita que o estudante perceba a relação entre o que é ensinado em sala e o mundo a sua volta.

5.4 Análise do questionário 3

O questionário 3 – dissertativo (Apêndice C) continha seis questões discursivas. O objetivo era avaliar, através das respostas dos estudantes, se houve aprendizagem significativa dos conceitos físicos apresentados. Para realizar a análise agrupamos as respostas consideradas mais relevantes e calculamos seu percentual.

- 1) Na pergunta 1 os alunos tinham que relacionar o procedimento de colocar o balão com água na ponta do foguete com o deslocamento do centro de massa para ficar acima do centro de pressão de modo que o foguete corrigisse sua trajetória. Cerca de 92% dos alunos conseguiram descrever corretamente.

- 2) Na pergunta 2 os alunos tinham que relacionar o papel das aletas com a estabilidade de voo dos foguetes. 100% das duas turmas conseguiram fazer esta associação. O fato de nos testes de lançamento eles terem associado o mal voo de alguns foguetes com a perda das aletas certamente contribuiu para que lembrassem deste conceito.
- 3) Na pergunta 3 os alunos precisavam falar sobre o desempenho do foguete quando lançado apenas com ar pressurizado sem acrescentarmos água. Vale lembrar que executamos essa experiência nos testes de lançamento para que os alunos percebessem a diferença. Tivemos cerca de 70% dos alunos que deram respostas satisfatórias.
- 4) A pergunta 4 também atendeu nossas expectativas com quase 100% de respostas satisfatórias a respeito do princípio físico que explica o voo dos foguetes. Vale destacar que a análise das respostas feitas até aqui, tanto do questionário 3 como dos outros dois questionários, oferecem-nos base para afirmar que a estratégia utilizada aliada a participação nos eventos JCF e MOBFOG possibilitou a obtenção de um maior índice de respostas satisfatórias.
- 5) A pergunta 5 a respeito do lançamento de foguetes no vácuo nos mostrou a necessidade de melhorarmos a abordagem e/ou até abordamos mais este assunto em sala de aula. Poucos alunos, apenas 28%, deram respostas que faziam algum sentido, enquanto que a maioria não soube o que dizer ou deram respostas sem sentido.
- 6) Na pergunta 6 foi pedido aos alunos que escrevessem a respeito do trabalho que foi desenvolvido. A seguir foi transcrito alguns dos depoimentos:
 - a. – *“Eu achei uma experiência única, me diverti e aprendi coisas novas. Foi incrível!”.*
 - b. – *“Foi uma experiência incrível que trouxe muito conhecimento junto.”*
 - c. – *“Foi uma experiência maravilhosa, pude aprender mais sobre Química e física e também me divertir com meus colegas na construção e no lançamento. Sempre é bom o método de tentativas e falhas que nos faz querer ser mais curiosos e querer desenvolver mais.”*
 - d. – *“Achei extremamente interessante e consegui adquirir vários conhecimentos ao decorrer do trabalho.”*

É importante destacar que, nesta pergunta, esperávamos apenas que os alunos falassem a respeito do trabalho que foi desenvolvido. No entanto, nos deparamos com muitas respostas em que os alunos falaram, entre outros aspectos, do conteúdo, tópicos e conceitos físicos aprendidos ao longo das atividades. Também, relataram a respeito da forma divertida e atraente que facilitou o processo de aprendizagem. Foi muito gratificante ler os depoimentos dos estudantes.

6 CONCLUSÃO

A análise dos dados coletados durante este trabalho mostra que atividades experimentais como a de construção de foguetes de garrafa PET e bases de lançamento, aliado a participação em eventos como a Jornada Cearense de Foguetes (JCF) e Mostra Brasileira de Lançamento de Foguetes (MOBFOG), contribuíram para a aprendizagem significativa dos conceitos de física facilitando o desenvolvimento de habilidades e competências exigidas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para a área de Ciências da Natureza e suas tecnologias.

Durante a aplicação deste trabalho percebemos o interesse, a curiosidade e o crescente entusiasmo dos alunos diante das situações que organizamos para que ele, se tornasse o protagonista do próprio processo de aprendizagem. Vale destacar que, nos eventos que participamos como a JCF e a MOBFOG, percebemos o interesse, a participação e o envolvimento das famílias e responsáveis. Alguns familiares até ajudaram durante os eventos e se colocaram a disposição para trabalhos posteriores. Também, não podemos deixar de falar da vibração e da alegria das famílias ao contemplar a equipe dos seus filhos realizando os lançamentos de foguetes de garrafa PET. Tanto a escola como o professor envolvido receberam, através de depoimentos verbais e declarações em redes sociais, muitos elogios e expressões de gratidão pelo trabalho desenvolvido. Sem dúvida, tudo isso nos mostrou que esta proposta foi bem além das expectativas de facilitar a aprendizagem significativas dos conceitos de física, aproximando e fortalecendo toda a comunidade escola.

Entendemos também, que o papel do professor é fundamental no sentido de facilitar, organizar e mediar situações que promovam ao estudantes atividades investigativas de campo e/ou experimentais, que permita a interdisciplinaridade e que ajude os alunos a perceber a física como parte de um todo científico, ou seja, uma forma de entender e interpretar a natureza por meio das diversas relações entre as disciplinas do conhecimento (SILVA, 2015).

Portanto, concluímos que esse trabalho foi bem sucedido e acreditamos no desenvolvimento dos temas desenvolvidos na pesquisa. Como sugestão poderíamos estudar a trajetória dos foguetes de garrafa PET, as Leis de conservação da energia e ou a resistência do ar nos foguetes por meio de modelos matemáticos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. J. P. M. Uma Concepção Curricular para a Formação do Professor de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Vol. 14, nº 3, 1992.
- D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física – **Mecânica (Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro)**, v. 1, 4ª ed.
- D. Kagan, L. Buchholtz and L. Klein, **The Physics Teacher** 33, 159 (1995).
- D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, **Fundamentos de Física - Gravitação, Ondas e Termodinâmica (Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro)**, v. 2, 4ª ed.
- DAVIS, J. A. **Levantamento de Dados em Sociologia: uma análise estatística elementar**. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.
- H. Moysés Nussenzveig, **Curso de Física Básica - Mecânica (Editora Edgard Blücher LTDA, 2002)**, v. 1, 4ª ed.
- H. Moysés Nussenzveig, **Curso de Física Básica - Fluidos, Oscilações, Ondas e Calor (Editora Edgard Blücher LTDA, 2002)**, v. 2, 4ª ed.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA (MEC). **O que é a BNCC**. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/a-base>. Acesso em 04 Abr. 2020.
- SANCHES, C.; MEIRELES, M.; DE SORDI, J. O. Análise Qualitativa por meio da Lógica Paraconsistente: Método de Interpretação e Síntese de Informação obtida Por Escalas Likert. **3º Encontro de ensino e pesquisa em Administração e Contabilidade (EnEPQ)**. João Pessoa, 2011.
- SILVA, M. A. Conceitos de física por meio de foguetes de garrafa PET: uma proposta de transposição didática no Ensino Médio. Universidade de Brasília, 2015.
- SOUZA, J. A. Um foguete de garrafa PET. **Física na Escola**, v. 8, n. 2, p. 4-11, 2007.
- VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Vol. 24, n. 2, Junho, 2002.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO 1: CONHECIMENTOS PRÉVIOS

O presente questionário foi feito de forma online utilizando a ferramenta do Google formulário. Capturando o código QR ou o link abaixo é possível visualizá-lo. O professor poderá fazer uma cópia do formulário para seu drive para utilizar com seus alunos.

<https://forms.gle/MuRCA867NVrAf7Ti6>



QUESTIONÁRIO

Este questionário não é de caráter avaliativo e, portanto, não será atribuído nota nem servirá para fazer classificações dos alunos. Seu objetivo é obter os conhecimentos prévios dos alunos e a partir deles traçar a melhor estratégia para uma aprendizagem significativa.

Nome: _____

Pergunta 1

Essa pergunta é aberta e tem por objetivo saber seus conhecimentos prévios sobre o assunto.

O que são foguetes?

Pergunta 2

Observe a figura abaixo e depois responda o que se pede.

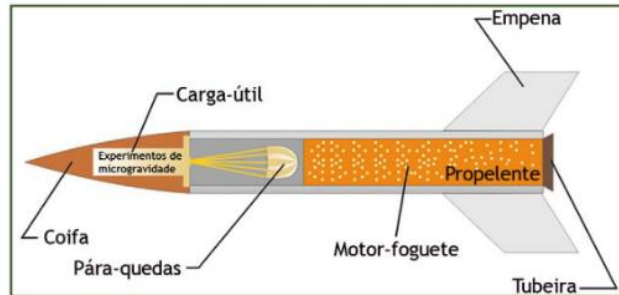


Figura 18 - Representação esquemática de um foguete e os seus principais constituintes (partes)

Qual o papel da coifa, do motor foguete e das empenas?

Pergunta 3

Essa pergunta só tem um item correto.

O ar tem a propriedade de ocupar todo o volume de um recipiente adquirindo o seu formato, já que não possui uma forma própria. Assim podemos fechá-lo em um recipiente com volume determinado e posteriormente provocar-lhe uma redução de volume usando uma força externa. A essa propriedade dar-se o nome de:

- a) Difusibilidade
- b) Compressibilidade
- c) Elasticidade
- d) Expansibilidade
- e) Vaporabilidade

Pergunta 4

Essa pergunta só tem um item correto.

O ar tem a propriedade de aumentar seu volume e adquirir o formato do recipiente que o contém. Essa propriedade é denominada de:

- a) Difusibilidade
- b) Compressibilidade
- c) Elasticidade
- d) Expansibilidade
- e) Vaporabilidade

Pergunta 5

Essa pergunta só tem um item correto.

Uma das propriedades dos líquidos que tem mais aplicações tecnológicas é a sua propriedade de não diminuir de volume, em condições normais de temperatura e pressão, quando submetido a uma força externa. Essa propriedade é chamada de:

- a) Viscosidade
- b) Vaporabilidade
- c) Incompressibilidade
- d) Imponderabilidade
- e) Indifusibilidade

Pergunta 6

Essa pergunta só tem um item correto. Observe a figura abaixo e responda o que se pede.

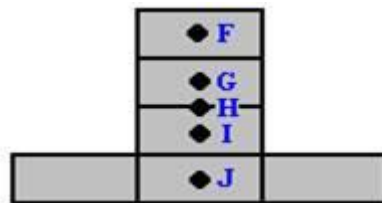


Figura 19 - Seis peças de um jogo de dominó estão dispostas como na figura

Dos pontos indicados (F, G, H, I, J) o que melhor localiza o centro de massa (CM) desse conjunto é: Dica: o centro de massa (CM) é o ponto de equilíbrio das forças gravitacionais que agem sobre o objeto e está relacionado com a massa de cada parte que o compõe. Em outras palavras é como se o objeto inteiro pudesse ser equilibrado nesse ponto.

- a) F
- b) G
- c) H
- d) I
- e) J

Pergunta 7

Essa questão também só tem uma resposta correta.

O centro de pressão (CP) é o ponto de equilíbrio de forças exercidas sobre as partes de um foguete, e é importante para a correção de sua trajetória. Esse ponto está

relacionado à:

- a) Força peso
- b) Força gravitacional
- c) Forças aerodinâmicas
- d) Força de resistência do ar
- e) Força nuclear

Pergunta 8

Veja a figura abaixo e responda o que se pede

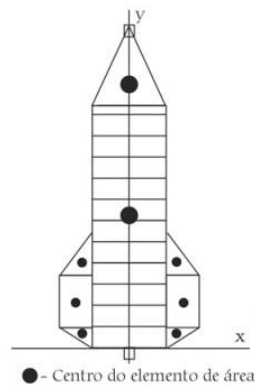


Figura 20 - Projeção das partes de um foguete com os pontos que representam o centro do elemento de área

A figura destaca dois pontos pretos grandes ao longo do eixo y . Esses pontos estão relacionados ao centro de massa (CM) e ao centro de pressão (CP). Para que tenhamos um voo estável, sem turbulência, é necessário que:

- a) O centro de massa esteja acima do centro de pressão
- b) O centro de massa esteja abaixo do centro de pressão
- c) O centro de massa e o centro de pressão estejam no mesmo ponto
- d) A estabilidade do voo não depende da posição relativa entre o centro de massa e o centro de pressão

Pergunta 9

A questão só tem uma resposta correta

Qual o princípio físico que explica o voo dos foguetes?

- a) Primeira Lei de Newton - Inércia que diz: "Todo corpo tende a ficar em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme a menos que uma força externa atue sobre ele".

- b) Segunda Lei de Newton - Princípio Fundamental da Dinâmica que diz: "A Força é igual a massa vezes a aceleração".
- c) Terceira Lei de Newton - Ação e Reação que diz: "Para toda ação existe uma reação de mesmo módulo, mesma direção e sentido oposto".
- d) Lei da Gravitação Universal que diz: "A força gravitacional entre dois corpos é proporcional ao produto das massa e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles".

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 2: COM ITENS NA ESCALA LIKERT

O presente questionário foi feito de forma online utilizando a ferramenta do Google formulário. Capturando o código QR ou o link abaixo é possível visualizar o formulário. O professor poderá fazer uma cópia do formulário para seu drive para utilizar com seus alunos.

<https://forms.gle/Bpuxn8P6xbi3hVhPA>



QUESTIONÁRIO – AVALIAÇÃO DO ENSINO

Esse questionário pretende avaliar a estratégia de ensino usada pelo professor. Portanto, não haverá questões certas ou erradas, classificação dos alunos e não serão atribuídos nenhuma pontuação aos alunos que responderem a esse questionário. Pedimos apenas a honestidade e sinceridade nas respostas.

Nome: _____

Pergunta 1

A estratégia utilizada pelo professor em sala de aula me ajudou a entender o conceito de foguetes

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Indiferente (ou neutro)	Concordo	Concordo totalmente
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Pergunta 2

A estratégia utilizada pelo professor em sala de aula me ajudou a relacionar o movimento dos foguetes às Leis de Newton

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Indiferente (ou neutro)	Concordo	Concordo totalmente
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Pergunta 3

Entendo que o uso da água melhora o desempenho do foguete, pois, quando liberamos o gatilho, o ar expande-se e expulsa a água num jato contínuo.

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Indiferente (ou neutro)	Concordo	Concordo totalmente
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Pergunta 4

A estratégia utilizada pelo professor me ajudou a compreender os estados físicos da matéria.

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Indiferente (ou neutro)	Concordo	Concordo totalmente
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Pergunta 5

A estratégia utilizada pelo professor me ajudou a relacionar teoria e prática.

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Indiferente (ou neutro)	Concordo	Concordo totalmente
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Pergunta 6

Por meio do esquema de montagem do foguete, quando preenchido por um terço de água e pressurizado, foi possível entender que os gases e os líquidos possuem as mesmas propriedades.

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Indiferente (ou neutro)	Concordo	Concordo totalmente
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Pergunta 7

A estratégia utilizada pelo professor me ajudou a entender como se dá o lançamento de foguetes espaciais (reais)

Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Indiferente (ou neutro)	Concordo	Concordo totalmente
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO 3: DISSERTATIVO

O presente questionário foi feito de forma online utilizando a ferramenta do Google formulário. Capturando o código QR ou o link abaixo é possível visualizá-lo. O professor poderá fazer uma cópia do formulário para seu drive para utilizar com seus alunos.

<https://forms.gle/DLLFStS8L9FwzHHV6>



QUESTIONÁRIO

O objetivo desse questionário é saber se houve aprendizagem significativa dos conceitos de física aliado à participação na Mostra Brasileira de Foguete (MOBFOG). Portanto, responda as questões abaixo de acordo com o que você aprendeu.

Nome: _____

Pergunta 1

Escreva o que aprendeu sobre a pergunta abaixo

Qual a finalidade de colocarmos um pequeno balão com água na ponta do foguete?

Pergunta 2

Escreva o que aprendeu sobre a pergunta abaixo

Qual é a importância das empenas (aletas) para o lançamento dos foguetes?

Pergunta 3

Escreva o que aprendeu sobre a pergunta abaixo

Nos nossos lançamentos, em alguns casos, soltamos o foguete apenas quando

estava pressurizado. Descreva o que acontece com o foguete durante o voo.

Pergunta 4

Escreva o que aprendeu sobre a pergunta abaixo

Qual o princípio físico que explica o voo do foguete?

Pergunta 5

Escreva o que aprendeu sobre a pergunta abaixo

É possível lançar o foguete no vácuo? Explique sua resposta.

Pergunta 6

Escreva o que aprendeu sobre a pergunta abaixo

Escreva o que você achou de todo o trabalho desenvolvido.

**APÊNDICE D – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS PARA
PARTICIPAÇÃO EM AULA DE CAMPO**

Eu, inscrito no CPF sob o nº, residente e domiciliado(a) à, na qualidade de Pai (mãe e/ou responsável) do(a) menor, inscrito(a) no CPF sob o nº, autorizo sua participação na aula de campo **para testes de lançamento de foguetes**, organizado pela Escola Ateneu de Messejana, sob a orientação e supervisão do Prof. Luan Angelo, a ser realizado no dia **6 de Maio**, no Campus da UECE – Universidade Estadual do Ceará, localizada na **Av. Dr. Silas Munguba, 1700 – Itaperi, Fortaleza – CE.**

Fortaleza – CE, de de 20.....

.....
Assinatura

.....
Nome

ANEXO A – PRODUTO EDUCACIONAL



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**MANUAL DE CONSTRUÇÃO DE FOGUETES DE GARRAFA PET E BASES DE
LANÇAMENTO E SUA UTILIZAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA**

LUAN CICERO DA SILVA ANGELO

FORTALEZA
2021

Sumário

1 INTRODUÇÃO	80
2 OFICINA 1 - CONSTRUÇÃO DE FOGUETES DE GARRAFA PET	81
2.1 Materiais utilizados.....	84
2.2 Montagem.....	85
3 OFICINA 2 – CONSTRUÇÃO DA BASE DE LANÇAMENTO	88
3.1 Materiais utilizados.....	89
3.2 Montagem.....	90
4 SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS	99
4.1 Apresentação do projeto e conhecimento da turma	99
4.2 Retomando a temática dos foguetes e Oficina 1	100
4.3 Oficina 2 – Construção das bases de lançamento	103
4.4 Normas de segurança	104
4.5 Testes de lançamento.....	104
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
REFERÊNCIAS.....	106
APÊNDICE A – NORMAS DE SEGURANÇA.....	107
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 1: CONHECIMENTOS PRÉVIOS.....	108

1 INTRODUÇÃO

Prezado(a) professor(a),

Este material é resultado da experiência que tivemos em participar da Mostra Brasileira de Lançamento de Foguetes (MOBFOG) e da Jornada Cearense de Foguetes (JCF), utilizando como estratégia de ensino de alguns conteúdos, oficinas de construção de foguetes de garrafa PET e bases de lançamentos. Este trabalho foi realizado com alunos do Ensino Fundamental II e Médio buscando aproximá-los das competências e habilidades estabelecidas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o eixo de Terra e Universo. Foram discutidos e abordados os conteúdos relacionados as Leis de Newton, centro de massa, centro de pressão, estados físicos da matéria e suas propriedades.

O objetivo foi proporcionar aos alunos atividades experimentais como forma de incentivá-los nas atividades investigativas de modo que pudessem despertar o interesse e a curiosidade pela Física. Também, nesta perspectiva, visamos as atividades que favorecessem a interdisciplinaridade e a contextualização dos conteúdos.

Acreditamos que esta proposta possa atender a professores que trabalham em escolas com poucos recursos e carentes de infraestrutura como laboratórios, salas de vídeos, bibliotecas, etc. Foram utilizados materiais de baixo custo e muitos deles podem ser adaptados e trocados por outros mais acessíveis. Logo, esta proposta pode e deve ser usada em sala de aula ou em qualquer outro espaço da escola.

Portanto, espero que este material seja usado para despertar o interesse dos alunos e motivá-los aos estudos, sendo uma ferramenta facilitadora no processo de aprendizagem dos conteúdos de Física relacionados com lançamento de foguetes.

Aos colegas professores, espero que gostem do material e apliquem-no!

Luan Cicero da Silva Angelo

2 OFICINA 1 - CONSTRUÇÃO DE FOGUETES DE GARRAFA PET

Chegamos no momento da primeira oficina de construção de foguetes no qual teremos uma excelente alternativa para o ensino dos conteúdos relacionados as Leis de Newton, centro de massa, centro de pressão, estados físicos da matéria e suas propriedades. O processo de ensino-aprendizagem acontecerá de forma lúdica e, ao mesmo tempo, dinâmica. Enquanto os alunos constroem seus foguetes, também participam na construção dos conceitos, levantam hipóteses, dão explicações e, posteriormente, após os testes, vão conferir os resultados e pensar nos porquês deles.

Para iniciar a oficina, é proveitoso que o professor faça uma breve sondagem dos conhecimentos prévios dos alunos. Isso pode ser feito indagando algumas questões relevantes para que os alunos entendam o que são foguetes e quais forças atuam durante o seu lançamento. Comece perguntando, por exemplo:

- a) O que são foguetes?
- b) Quais os seus principais constituintes?
- c) Qual o papel de cada um de seus constituintes?

Deve-se escutar atentamente as respostas dadas, dessa forma, o professor terá uma boa ideia do nível de conhecimento prévio dos alunos. Após isso o professor deve apresentar as respostas. Talvez, ache útil utilizas as sugestões de respostas abaixo.

Resposta à pergunta a) O que são foguetes?

Foguetes são veículos destinados ao transporte de cargas e pessoas ao espaço. Podem ser classificados quanto ao tipo (foguetes de sondagem e veículos lançadores de satélites), propelente (sólido, líquido, híbrido), número de estágios (mono, bi e multe estágios) e aplicação (tripulado e não tripulado) (NOGUEIRA, 2009, p.299)

Resposta à pergunta b) Quais os seus principais constituintes?

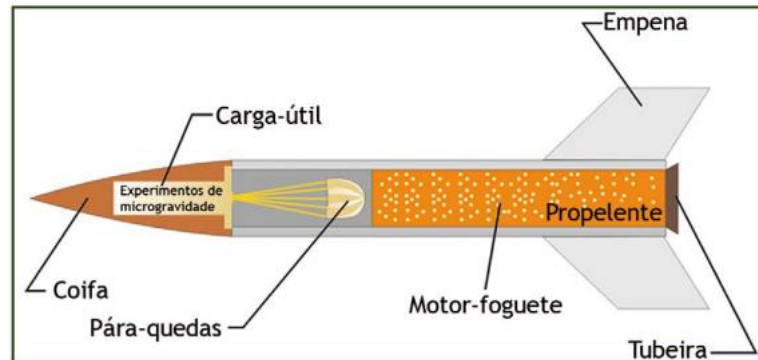


Figura 21 - Representação esquemática de um foguete e os seus principais constituintes

Fonte: (NOGUEIRA, 2009, P.299)

Usando a Figura 1, NOGUEIRA (2009, p.299) mostra que os principais constituintes de um foguete mono estágio são: coifa, carga-útil, sistema de recuperação (paraquedas), motor-foguete, empenas e tubeira.

Resposta a pergunta c) Qual o papel de cada um de seus constituintes?

Coifa:

A coifa serve para proteger a carga-útil, que pode ser um satélite, um astronauta ou experimentos de microgravidade. A sua forma visa diminuir o atrito do foguete com a atmosfera terrestre. Em algumas situações é de interesse recuperar a carga-útil. Nesses casos, é necessário a utilização de um sistema de recuperação do tipo paraquedas para, quando do voo descendente do foguete, diminuir a velocidade de impacto com o solo ou com a água (NOGUEIRA, 2009, p.299)

Nosso foguete não terá carga-útil visto que nosso objetivo é lançá-lo, obliquamente, o mais distante possível. Assim, quanto menos peso melhor. No entanto, nossa coifa deve ser feita para diminuir o máximo possível o atrito do foguete com a atmosfera local. Nesse ponto podemos discutir com os alunos os conceitos de força de atrito.

Motor-foguete:

O motor-foguete, ou propulsor, é o principal componente do

foguete. É ele que transporta a energia necessária ao movimento do foguete. Na maioria dos casos, os foguetes fazem uso de energia química transportada na forma de combustíveis (propelentes), que podem ser sólidos ou líquidos. Os propelentes respondem por cerca de 80% da massa total de um foguete. Como resultado de sua combustão são gerados os gases que, expelidos em alta velocidade através da tubeira, causam o movimento do foguete (NOGUEIRA, 2009, p.300)

O combustível que usaremos no nosso foguete é da forma líquida. Para alunos do nível 4 (Ensino Médio) ele será carregado com vinagre e bicarbonato (que também está presente no fermento em pó – Royal de preferência) e, para alunos do nível 3 (Ensino Fundamental II) ele será carregado com água e ar comprimido (usando uma bomba de encher pneu de bicicleta para comprimir o ar, por exemplo). No caso do combustível do nível 4, quando o vinagre e o bicarbonato entram em contato geram instantaneamente um gás que pressurizará o foguete. No caso do nível 3 o ar comprimido pela bomba é que pressurizará o foguete. Mais adiante abordaremos, com base nos testes feitos, qual a melhor combinação das quantidades de vinagre, bicarbonato, água e ar para que o foguete vá o mais longe possível.

Empenas:

As empenas são pequenas asas localizadas na base do foguete. Elas servem para conferir estabilidade durante o voo. Sem elas, o foguete poderia voar de uma maneira instável, girando e dando cambalhotas durante o voo. Tal comportamento é inaceitável ao propósito dos foguetes, uma vez que altera a trajetória previamente programada, colocando em risco o voo, as propriedades sobre os quais o voo ocorre e, mais importante, vidas humanas (NOGUEIRA, 2009, p.300)

Depois da apresentação dos conceitos básicos de foguetes e das forças envolvidas, chegou a hora de organizar os materiais para começar a oficina 1, construção dos foguetes. É importante combinar com os alunos a organização dos materiais, caso a escola não tenha todos para disponibilizar. Também, deve-se dividir os alunos em equipes de no máximo 3 alunos. Isso facilitará o uso dos materiais

disponíveis e já formará as equipes para a participação na MOBFOG.

2.1 Materiais utilizados

Cada aluno construirá seu próprio foguete. Assim, a Tabela 1 a seguir, traz a lista dos materiais necessários para cada aluno. Tenha em mente que os materiais citados na tabela não são os únicos que podem ser usados para a construção do foguete. A imaginação e criatividade dos alunos podem dar lugar a substituições.

	
<p>2 garrafas PET idênticas de, 2 litros, de paredes retas, ou seja, não serve de Coca-Cola, pois estas têm “cinturas”</p>	<p>2 folhas de PVC A4 ou plástico pouco flexível como as de caixa de arquivo ou ainda papelão rígido</p>
	
<p>Acessórios usados na construção do foguete: tesoura, régua, cola, estilete, fita durex, caneta permanente, balão de aniversário N° 5 ou 6 e bicarbonato.</p>	

Tabela 1 - Lista de materiais para a construção do foguete

Fonte: o autor

2.2 Montagem

Assim como a representação esquemática de um foguete mono estágio da Figura 2, nosso foguete tem as seguintes partes:

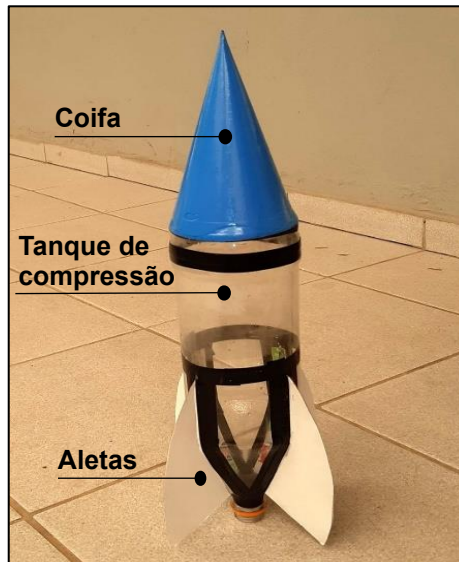


Figura 22 - Partes do foguete de garrafa PET

Fonte: G1.globo.com: Estudantes de Porto Ferreira batem recorde de distância com foguete feito de garrafa pet

Adaptado de <https://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/2020/01/23/estudantes-de-porto-ferreira-batem-recorde-de-distancia-com-foguete-feito-de-garrafa-pet.ghtml> (acesso em 02 de fev. de 2021)

As duas garrafas PET são os principais componentes do foguete, pois serão utilizadas para a construção da sua fuselagem, que é composta pela câmara de combustão (que aqui chamaremos de câmara de compressão) e pela coifa (nariz) que fica na parte frontal do foguete.

- 1) Separe uma das garrafas para ser usada como câmara de compressão.
- 2) Corte a outra garrafa na marca cilíndrica superior de forma a separar a parte cônica que será a nossa coifa (Figura 3a).
- 3) Encha o balão de aniversário com água até que ele atinja uma massa de 100 gramas (Figura 3b). Em seguida fixe essa massa extra, que aqui chamaremos de contrapeso, o mais próximo do bico. Para isso, basta enrolar a ponta do balão no “gargalo” da garrafa e depois tampar (Figura 3c).

O contrapeso, colocado o mais próximo do bico, é necessário para deslocar o centro de massa acima do centro de pressão de modo a evitar que o foguete gire em torno do centro de massa. Isso pode acontecer devido a intensidade da pressão exercida pelo ar na parte inferior do foguete ser maior que na região superior, visto que ele será lançado inclinado.

- 4) Em seguida, usando a fita adesiva, fixe a parte cônica no fundo da outra garrafa que não foi cortada (Figura 3d). Deixe a tampa mais alinhada possível com o eixo maior da garrafa. Isso deixará o foguete mais aerodinâmico e seu voo mais estável.
- 5) Para finalizar a coifa junte dois chapéus de palhaço como a Figura 3e e, com a fita adesiva, fixe na parte superior do foguete como mostra a Figura 3f. Da mesma forma que o passo 4 deixe o bico o mais alinhado possível com o eixo maior da garrafa.

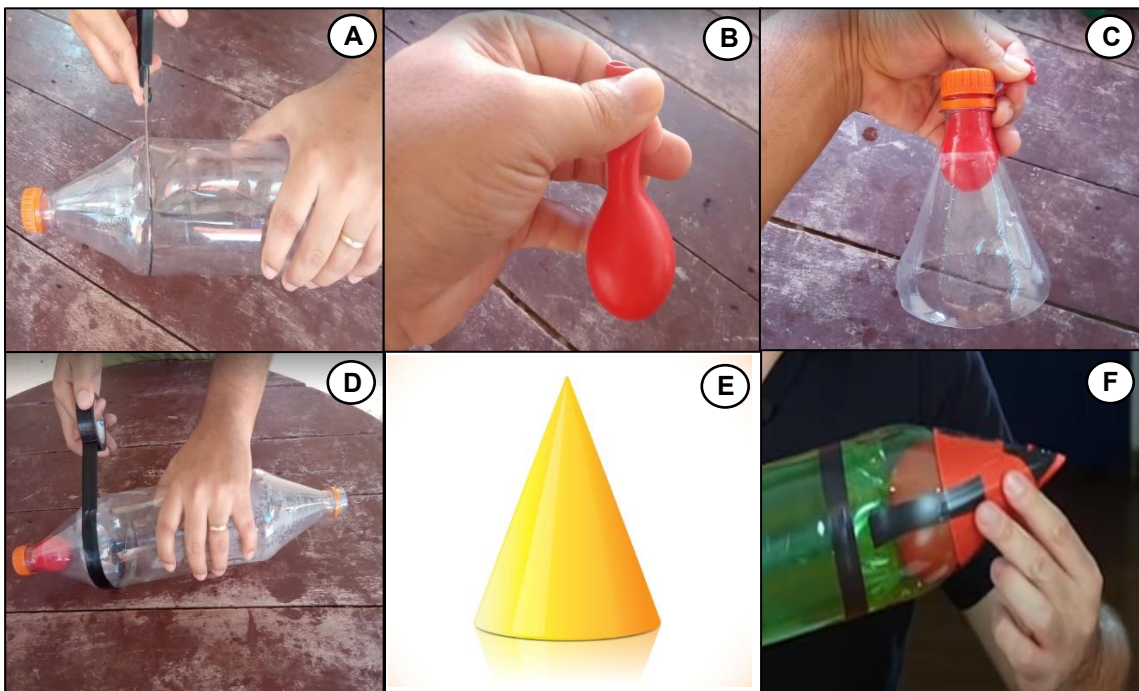


Figura 23 – Construção da câmara de compressão e da coifa

Fonte: o autor

- 6) Corte 12 cm da garrafa que usamos para fazer a coifa para usarmos como a “saia” do foguete (Figura 4a).
- 7) Faça quatro aletas com as dimensões do modelo abaixo (Figura 4b) usando a folha de PVC A4, papelão ou isopor de alta compressão.

Caso não consiga as folhas de PVC poderá usar folha de isopor de alta densidade ou papelão. Tenha em mente que esses dois últimos materiais podem vibrar durante o voo desestabilizando o foguete e fazendo-o tomar direções diferentes da desejada.

- 8) Fixe as aletas na saia, usando a cola, de forma a deixar uma separação de 90° (Figura 4c).
- 9) Use a fita adesiva para fixar a saia já com suas aletas na parte de baixo do foguete de forma que a tampa fique de fora (Figura 4d).

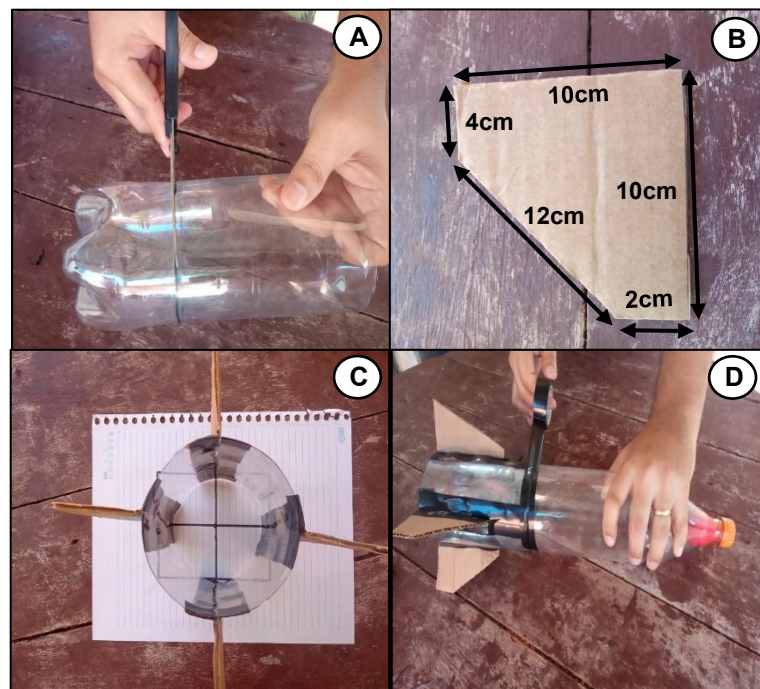


Figura 24 – Preparação da saia e das aletas

Fonte: o autor

Agora seu foguete está pronto para ser lançado! Nada impede que seus alunos deem um toque final. Eles podem usar a imaginação e com um pouco de tinta deixar o foguete a cara da equipe.

3 OFICINA 2 – CONSTRUÇÃO DA BASE DE LANÇAMENTO

Existem muitos modelos de base de lançamento de foguetes com estruturas bem diferentes. Antes de tudo, o professor deve pensar no nível para o qual está desenvolvendo a base. Se a base for ser usada por alunos do nível 3 deve conter uma válvula de pneu de bicicleta que será usada como entrada do ar que será comprimido dentro do foguete. No entanto, se a base for ser usada por alunos do nível 4 deve-se pensar numa estrutura que proporcione a reação ocorrer dentro do foguete e que seja de fácil manipulação pelos alunos.

A seguir será apresentado um modelo de base de lançamento de foguetes para o nível 4 que é resultado de muito estudo, pesquisas e testes. Construimos o modelo inicial em 2018 quando participamos da I Jornada Cearense de Lançamento de Foguetes (JCF) e da Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG). Depois, foram feitos muitos aprimoramentos para participarmos dos mesmos eventos em 2019, onde fomos classificados para a Jornada de Foguetes no Rio de Janeiro. Para o Rio de Janeiro, ainda foram feitas modificações até chegar ao modelo de base que vamos apresentar. A Figura abaixo mostra as partes da base.

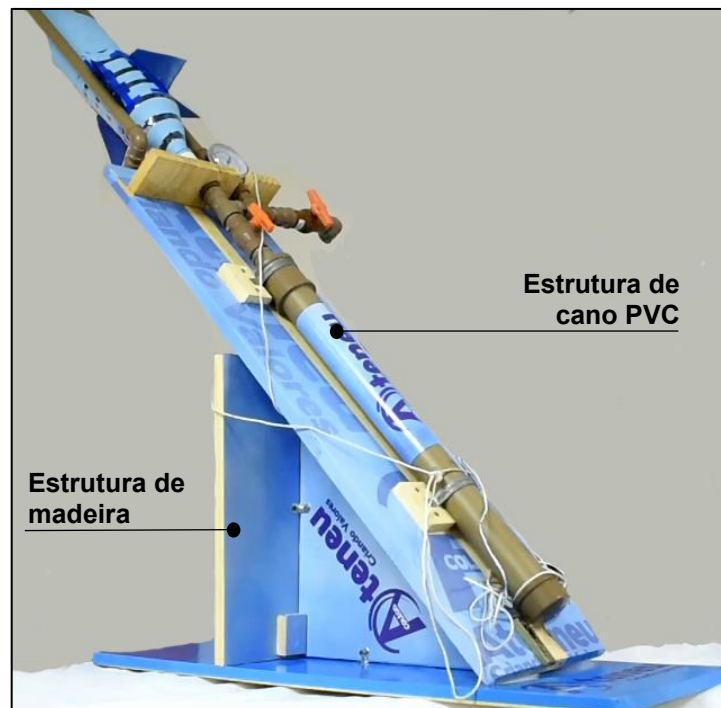


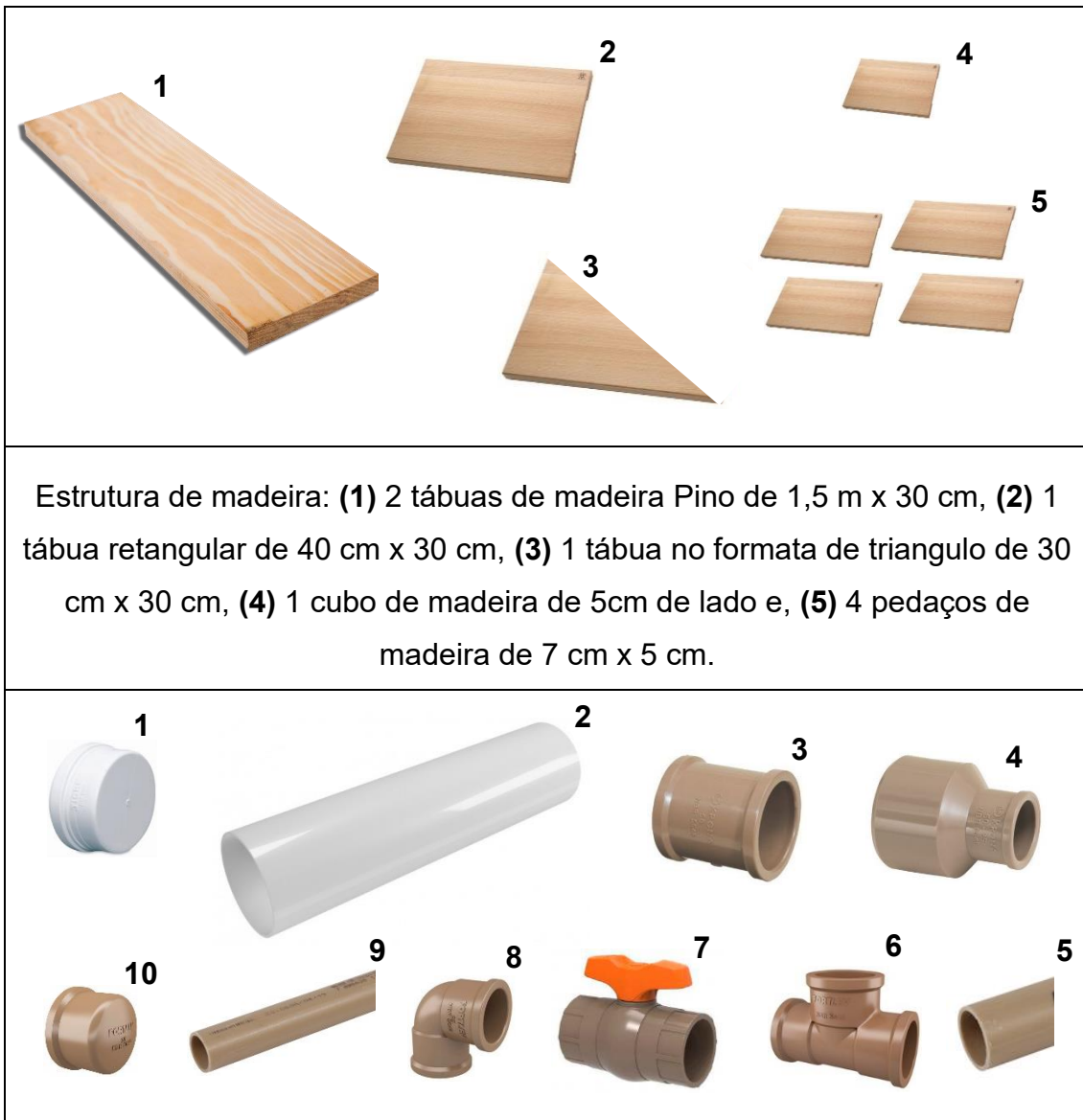
Figura 25 - Base de lançamento de estrutura de madeira e PVC para alunos do nível 4

Fonte: o autor

Antes da montagem vamos organizar os materiais que serão usados. Mais uma vez, é importante combinar com os alunos a organização dos materiais, caso a escola não possa disponibilizar. Também, em virtude de a base ter um custo mais elevado e, caso esteja orientando muitas equipes, sugiro que construa duas ou no máximo três bases em vez de uma para cada equipe.

3.1 Materiais utilizados

A base é composta de duas estruturas: uma de madeira e outra de PVC. Uma parte da estrutura de madeira ficará em contato com o solo e será usada para fixação da base e a outra servirá de suporte para a estrutura de PVC que conterá o foguete e estará inclinada de 45 graus. Vamos aos materiais.



Estrutura de PVC: **(1)** 1 Cap soldável de 50 mm de diâmetro, **(2)** Cano de 50 mm de diâmetro com 60 cm de comprimento, **(3)** Luva de 50 mm de diâmetro, **(4)** 2 Buchas de redução. Uma de 50 mm para 25 mm e outra de 25 mm para 20 mm de diâmetro, **(5)** 6 pedaços de cano de 25 mm de diâmetro com 5 cm de comprimento, **(6)** 2 “T” soldável de 25 mm de diâmetro, **(7)** 2 válvulas de 25 mm de diâmetro, **(8)** 1 curva de 25 mm para 30 mm de diâmetro, **(9)** Cano de 20 mm de diâmetro com 25 cm de comprimento e **(10)** 1 Cap de 25 mm de diâmetro.



Acessórios: **(1)** 2 tubos grandes de cola PVC, **(2)** Serra para cano, **(3)** Chave de fenda e Philips, **(4)** Manômetro de baixa pressão, **(5)** Trena, **(6)** Tesoura com ponta, **(7)** Parafusos, **(8)** 8 Abraçadeiras de nylon, com cabeças de 3,6 mm e 9 cm de comprimento, **(9)** 2 Abraçadeiras de metal que abrem até 1 polegada, **(10)** Esparadrapo impermeável, branco com 5 cm de largura, **(11)** Anel de um bico de balão de aniversário número 6,5” (polegadas), **(12)** Barbante de 6 m e, **(13)** 12 cantoneira.

Tabela 2 - Tabela de materiais para base de lançamento

3.2 Montagem

Caro professor, agora será descrito todos os passos para montar as duas estruturas da base. Também, com a intenção de deixar a descrição mais didática e não deixar nenhuma dúvida, foram colocadas fotos para ilustrar cada passo. Vamos iniciar com a estrutura de PVC.

Reservatório de combustível:

- 1) Conecte o “cap” de 50 cm de diâmetro a um dos lados do cano de mesmo diâmetro (Figura 6). Dica: Sempre lixe as extremidades que serão conectadas e coloque cola na parte interna das conexões e na parte externa na ponta dos canos que entrarão nelas. Isso facilita a entrada dos canos nas conexões além de colá-las firmemente.
- 2) Conecte o redutor de 50 mm para 25 mm na “luva” de 50 mm de diâmetro e, em seguida, conecte o conjunto ao outro lado do cano de mesmo diâmetro em que já está o “cap” (Figura 6).
- 3) Conecte uma das pontas do pedaço de cano de 25 mm de diâmetro com 5 cm de comprimento a uma das válvulas e, a outra ponta, no lado de 25 mm do redutor (Figura 6). Agora o nosso reservatório que será usado para armazenar o vinagre de concentração de 4% (ácido acético) já está pronto.

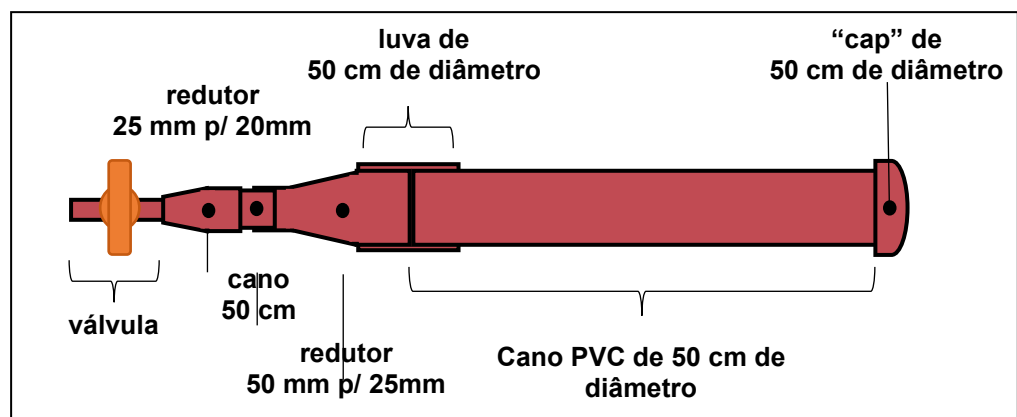


Figura 26 - Reservatório para armazenar o propelente

Fonte: o autor



Figura 27 - Reservatório esquematizado pela figura anterior

Fonte: o autor

Medidor de pressão e válvula de aborto:

- 4) Conecte o segundo pedaço de cano de 25 mm de diâmetro com 5 cm de comprimento a válvula que está conectada ao reservatório de combustível da Fig. 6. (Figura 8).
- 5) Conecte o primeiro “T” ao pedaço de cano que acabou de ser conectado a válvula conforme Figura 8.
- 6) Conecte o terceiro pedaço de cano de 25 mm de diâmetro com 5 cm de comprimento ao “T” do passo anterior conforme Figura 8.
- 7) Conecte o segundo “T” ao pedaço de cano do passo anterior conforme Figura 8. Esse “T” de cor azul, soldável com bucha latão, contém uma rosca e é nela onde será colocado um adaptador para conectar o medidor de pressão (manômetro).
- 8) Conecte o quarto pedaço de cano com 25 mm de diâmetro com 5 cm de comprimento ao “T” do passo anterior conforme Figura 8.
- 9) Conecte o pedaço de cano do passo anterior a segunda válvula de 25 mm de diâmetro e, do outro lado da válvula, conecte o quinto pedaço de cano de 25 mm de diâmetro com 5 cm de comprimento (Figura 8).
- 10) Agora, basta conectar a “curva” de 25 mm para 30 mm de diâmetro ao pedaço de cano do passo anterior. Deixe a saída de 30 mm de diâmetro voltada para a frente conforme Figura 8. Isso facilitará a despressurização do foguete no caso em que precise abortar o lançamento e impedirá que tome um banho com a mistura de bicarbonato e vinagre.

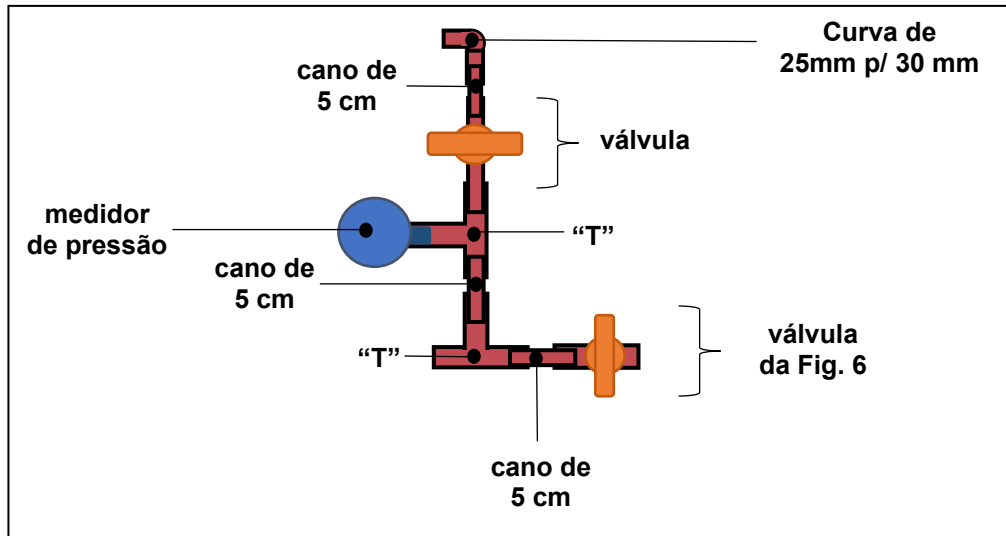


Figura 28 – Medidor de pressão e válvula de aborto

Fonte: o autor



Figura 29 - Medidor de pressão e válvula de aborto representado no esquema da figura anterior

Fonte: o autor

Tubo de lançamento:

- 11) Conecte o sexto pedaço de cano de 25 mm de diâmetro com 5 cm de comprimento ao primeiro "T" do passo 5. (Figura 10)
- 12) Conecte o pedaço de cano do passo anterior ao redutor de 25 mm para 20 mm conforme Figura 10.
- 13) Por fim, para terminar as conexões de PVC, basta conectar o cano de 20 mm de diâmetro com 25 cm ou 30 cm de comprimento ao redutor do

passo anterior conforme Figura 10. É nesse cano, ou tubo de lançamento, que ficará engatilhado (preso) o foguete.

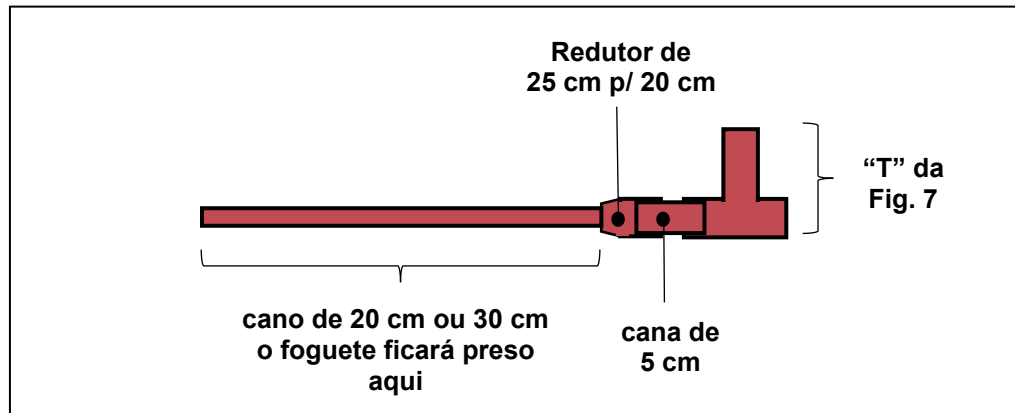


Figura 30 – Tubo de lançamento

Fonte: o autor



Figura 31 - Tubo de lançamento representado no esquema da figura anterior

Fonte: o autor

Agora, vamos ver como eliminar a folga entre o tubo de lançamento e a tubeira (boca) do foguete, visto que o diâmetro do tubo de lançamento (20 mm) é ligeiramente menor do que o diâmetro interno do bocal do foguete. Lembre-se que o foguete estará sob alta pressão e não poderá haver vazamento de ar, por isso sugiro que siga o procedimento a seguir.

Eliminando a folga entre o tubo de lançamento e a tubeira do foguete:

- 14) Faça uma marcação a 8 cm acima do redutor de 25 mm para 20 mm de diâmetro, ao longo do tubo de lançamento de 25 cm de comprimento e

coloque o anel de um bico de aniversário número 6,5” polegadas (Figura 12).



Figura 32 – anel para eliminar folga entre tubo de lançamento e tubeira do foguete

Fonte: o autor

- 15) Sobre o anel do passo anterior coloque uma volta completa de esparadrapo de algodão com 5 cm de algodão, bem preso ao tubo (Fig. 13). Por fim, faremos o gatilho que irá prender o foguete pressurizado, pelo gargalo da garrafa, ao tubo de lançamento. Esse dispositivo permitirá que o foguete saia somente quando desejamos.

Gatilho – parte 1:

- 16) Coloque 8 abraçadeiras de Nylon, de 9 cm de comprimento, com cabeças de 3,6 mm colocadas simetricamente ao redor do tubo de lançamento como mostra a Fig. 13. Note que o “queixo” da cabeça da abraçadeira de Nylon está a 1 cm acima do bico do balão.
- 17) Para fixar as abraçadeiras de Nylon ao tubo de lançamento use uma ou duas abraçadeiras de metal que abre até 1 polegada, conforme mostra a Fig. 13. Aperte-a bem com uma chave de fenda, ou melhor, com uma de boca.



Figura 33 - Representação do gatilho feito com as abraçadeiras de Nylon e a ou as abraçadeiras de metal

Fonte: o autor

Gatilho – parte 2:

- 18) Corte um pedaço de cano branco, usados nos esgotos, de 4 cm de diâmetros com 4 cm de comprimento e faça dois furos diametralmente opostos, próximos de uma de suas extremidades, como mostra a Fig. 14. Amarre um barbante de 20 cm de comprimento entre esses furos e depois amarre outro com cerca de 6 m de comprimento a partir daquele de 20 cm.



Figura 34 – Cano usado para prender as “cabeças” das abraçadeiras de nylon sobre o anel de sustentação da garrafa

Fonte: o autor

O procedimento do passo 18 é necessário pois as 8 “cabeças” das abraçadeiras de Nylon sobre o anel de sustentação da garrafa ainda não prendem o foguete quando pressurizado. É necessário que o cano branco, do passo anterior, esteja sobre as 8 “cabeças” de Nylon, as quais, por sua vez, estão tocando o anel de sustentação da boca da garrafa, isto é, do foguete. Finalmente a estrutura de PVC está pronta. Vamos a estrutura de madeira.

Estrutura de madeira:

- 19) Parafuse as duas dobradiças (ou apenas uma como na figura) na tábua retangular (Figura 15a).
- 20) Fixe a tábua triangular na tábua retangular parafusando 4 cantoneiras conforme a Figura 15b. Na figura mostra duas de um lado. As outras duas estão do outro lado.
- 21) Fixe o conjunto de tábuas da Fig.15b a uma das tábuas grandes usando 8 cantoneiras conforme Fig. 15c. O lado com a tábua triangular deve estar a 14 cm de uma das extremidades deixando 14 cm da outra extremidade.
- 22) Na segunda tábua grande retangular vamos fixar 4 pedaços retangulares de madeira. Os 4 pedaços de madeira de dimensões 7 cm x 5 cm serão colocados conforme Fig. 15d. Eles serviram de apoio ao reservatório de combustível.
- 23) Sobre os 4 pedaços retangulares de madeira será fixado duas abraçadeiras de metal. Essas abraçadeiras prenderão a estrutura de PVC na estrutura de madeira evitando que se desprendam quando o foguete for lançado (Figura 15d).
- 24) Finalmente, conecte a tábua grande de madeira dos dois passos anteriores ao conjunto de madeira do passo 21. Para isso, basta parafusar as duas dobradiças a tábua (Fig. 15a). Certifique-se que esta esteja inclinada de 45°.

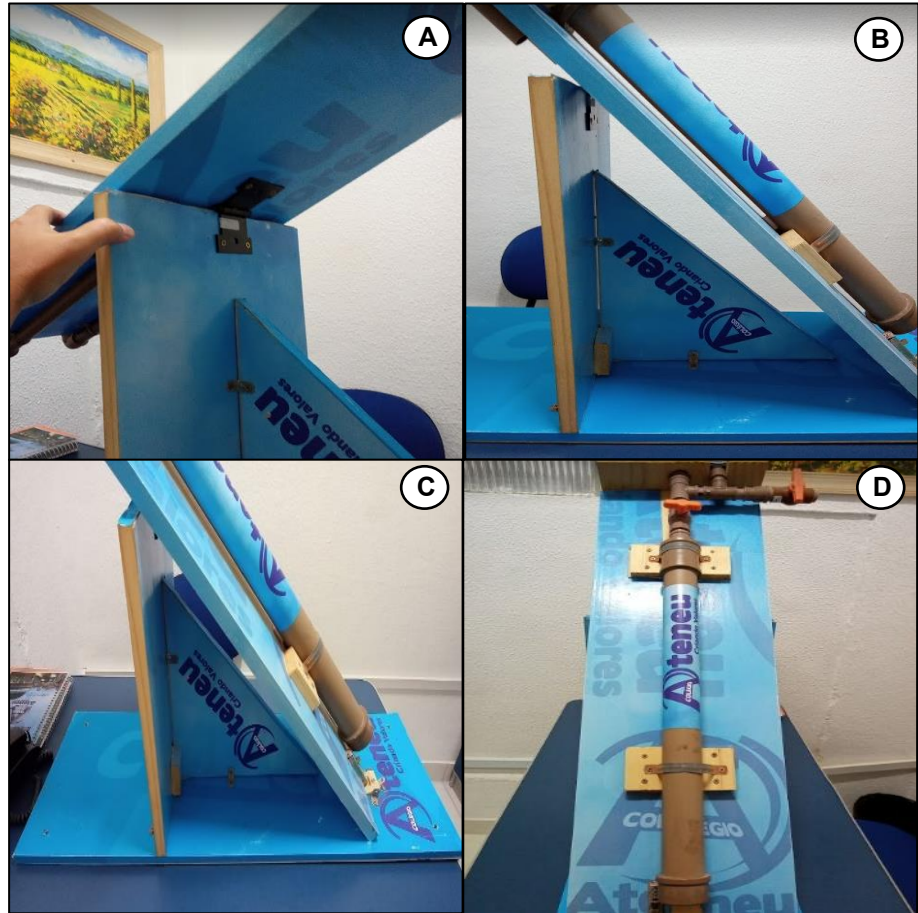


Figura 15 – Montagem da estrutura de madeira

Fonte: o autor

4 SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS

As aulas foram planejadas com o objetivo de facilitar o processo de aprendizagem do aluno contemplando os conteúdos e dando ênfase a experimentação por meio das oficinas de construção dos foguetes de garrafa PET e das bases de lançamento. Também, trabalhamos com o objetivo de participar dos eventos da Jornada Cearense de Foguetes (JCF), da Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG) e da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA). As aulas com ênfase na experimentação aliado a participação nestes eventos facilitou o processo de construção do conhecimento de forma contextualizada e interdisciplinar.

4.1 Apresentação do projeto e conhecimento da turma

Objetivo: apresentar o projeto aos estudantes e identificar os conhecimentos prévios a respeito dos conteúdos que serão abordados.

Desenvolvimento: iniciamos com a apresentação do professor e em seguida apresentamos fotos da participação nos eventos nos anos anteriores. Explicamos aos alunos nosso objetivo em participar dos eventos e classificar uma equipe para representar o colégio no evento nacional no Rio de Janeiro. Em seguida, realizamos a aplicação do questionário 1 (Apêndice B) para a identificação dos conhecimentos prévios dos alunos. O questionário foi formulado com 9 questões, sendo duas questões sobre a temática de foguetes, três referente ao estado físico da matéria e suas propriedades, três relacionadas aos conceitos de centro de gravidade e centro de pressão e duas envolvendo as Leis de Newton. Os alunos foram orientados a não relaxarem nenhum tipo de consulta em outras páginas nem entre si. Também, foi informado que o questionário não seria avaliativo e que, portanto, não seria atribuída nenhuma nota do desempenho e nem seria feita nenhum tipo de classificação.

Duração: 2 aulas.

4.2 Retomando a temática dos foguetes e Oficina 1

Objetivo: construir foguetes de garrafa PET, retomar a temática dos foguetes e apresentar alguns conteúdos de Física relacionados a temática.

Desenvolvimento: retomar a temática dos foguetes, relacionando as duas primeiras questões do questionário para conhecimento prévio dos alunos, aplicado na aula anterior. Seguir o roteiro da oficina 1 no tópico 2 – Construção de foguetes de garrafa PET. Escutar atentamente as respostas para ter uma boa ideia dos conhecimentos prévios dos alunos e em seguida apresentar as respostas conforme descrito no mesmo tópico. Após isso, iniciar a oficina de construção dos foguetes seguindo a sequência didática descrito no tópico 2.2. Com os materiais trazidos pelos alunos de cada equipe construir pelo menos um foguete de garrafa PET.

Iniciar a quarta aula apresentando o conteúdo sobre as Leis de Newton. Primeiramente, buscando saber os conhecimentos prévios dos alunos sobre o assunto por meio de perguntas e debates. Após expor os conceitos sobre as três Leis de Newton, e de posse de alguns foguetes construídos na aula anterior, perguntar aos alunos:

1. Quais os princípios físicos envolvidos no lançamento de foguetes de garrafa PET?
2. Qual a relação entre os foguetes de garrafa PET e os foguetes espaciais?
3. É possível compreender as leis físicas no lançamento dos foguetes espaciais por meio de um foguete de garrafa PET?
4. O que é diferente nos dois lançamentos?

Dando continuidade ao debate e principalmente em resposta a última pergunta passar a explicar porque utilizamos água e ar comprimido no lançamento dos foguetes de garrafa PET. Primeiramente discutir os estados físicos da matéria lançando a pergunta:

5. Quais são os estados físicos da matéria?

Mencionar o quarto estado: o plasma e explicar que é o estado que faz parte da composição das estrelas e dos combustíveis (propelente) dos foguetes durante a sua queima. Passar então a tratar das propriedades dos gases e dos líquidos destacando a incompressibilidade dos líquidos e a elasticidade do ar. Neste momento, relembrar algumas perguntas (perguntas 3, 4 e 5) que foram feitas no questionário aplicado na segunda aula (Apêndice B).

No segundo momento da quarta aula passar a discutir sobre os conceitos de centro de massa e do centro de pressão. Para o centro de massa, pegar um cabo de vassoura da escola e começar a tentar equilibrá-lo com o dedo. Pedir que os alunos façam a mesma coisa com uma régua. Em seguida, fazer as seguintes perguntas:

6. Em que ponto da régua você segurou para que ela ficasse em equilíbrio?
7. Se colocarmos uma borracha em uma das pontas da régua, onde deveríamos segurar agora para que ela fique em equilíbrio?

Repetir esse procedimento colocando a borracha em cima da régua várias vezes, sempre variando a posição para descobrir o ponto de equilíbrio. Passar a tratar da densidade uniforme e perguntar:

8. Em torno de que ponto a régua gira?
9. Se a régua fosse feita com metade plástico e a outra metade ferro, o ponto de equilíbrio estaria no centro?

Com base nestes questionamentos falar da densidade não uniforme e sua relação com o centro de massa, daí, destacar que devido a simetria da garrafa PET, a coordenada horizontal do centro de massa estaria exatamente no meio da garrafa (SOUZA, 2007).

Para o centro de pressão, utilizar uma aproximação desenhando a silhueta do foguete em um papelão e depois encontrar o centro de massa do papelão (Figura 16). Neste caso, Segundo Souza (2007), devido a simetria, a posição de centro de

pressão do foguete coincide com a posição do centro de massa do papelão. Para encontrar o centro de pressão pela figura, utilizar as instruções a seguir:

- (a) Projete a silhueta do foguete em um papel e divida suas partes em regiões retangulares para facilitar a obtenção do CP.
- (b) Projete a silhueta do foguete em um pedaço de papelão e encontre seu CM; isso fornecerá uma ideia da posição do CP do foguete, que neste caso coincide com o CM do papelão. (SOUZA, 2007)

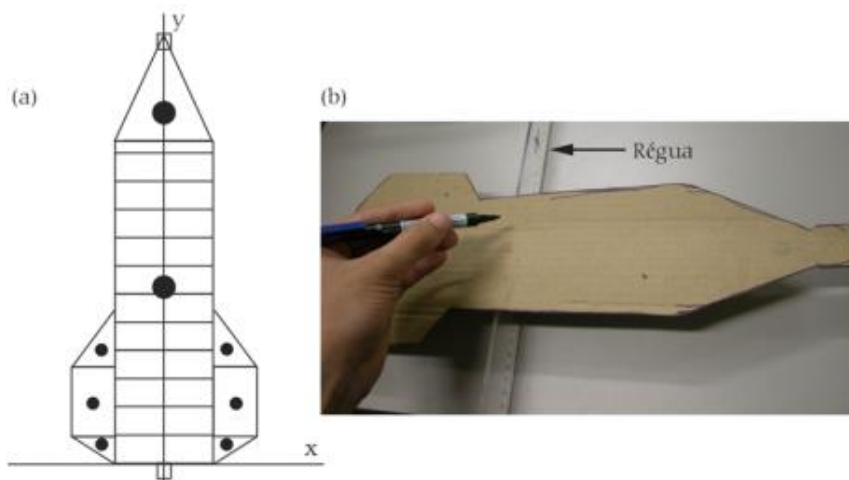


Figura 16 - Determinando o Centro de Pressão

Fonte: Souza 2007

Segundo Souza (2007), em um foguete de garrafa PET, o centro de massa deve estar a 1,5 cm acima do centro de pressão para que a estabilidade do foguete seja garantida. Explicar que a necessidade dessa separação é devido à natureza das forças que atuam em cada um desses pontos. O foguete tende a girar em torno do centro de massa onde atua a resultante das forças gravitacionais, portanto, deve estar o mais próximo possível do bico (coifa) do foguete. Explicar, ainda, que se o foguete girasse em torno de si mesmo após ser lançado, isso mostraria que seu centro de massa estaria muito próximo ao centro de pressão. Enfatizar que essa observação seria feita em um dos testes de lançamento.

No último momento da aula apresentar aos alunos a lista dos materiais que as equipes necessitarão providenciar para a próxima aula.

Duração: 2 aulas.

4.3 Oficina 2 – Construção das bases de lançamento

Objetivo: Construir as bases de lançamento.

Desenvolvimento: Apresentar aos alunos fotos de diversos modelos de bases e explicar que podem ser construídas de forma a facilitar o lançamento e otimizar o alcance que o foguete atinge. Em seguida, apresentar o modelo que iremos construir e enfatizar que construiremos duas bases que serão utilizadas por todas as equipes, isso por conta dos custos envolvidos no material usado na construção.

Apresentar o roteiro de construção da base (Tópico 3.3) e em seguida dividir as tarefas para cada equipe, assim, cada equipe contribuirá em executar uma parte da base. Utilizando a equação abaixo, explicar por que o tubo de onde o foguete será lançado deve estar inclinado de 45° aproveitando para retomar aos conteúdos de lançamento de projéteis.

$$A = V_0 \cos\theta \cdot \frac{2V_0 \sin\theta}{g} = \frac{V_0^2}{g} \sin(2\theta)$$

Utilizar a simulação movimento de projétil da PHET Interactive Simulations, para simular lançamentos com ângulos menores e maiores que 45° deixando claro que para obter alcance máximo o ângulo de lançamento do foguete deve ser 45° .

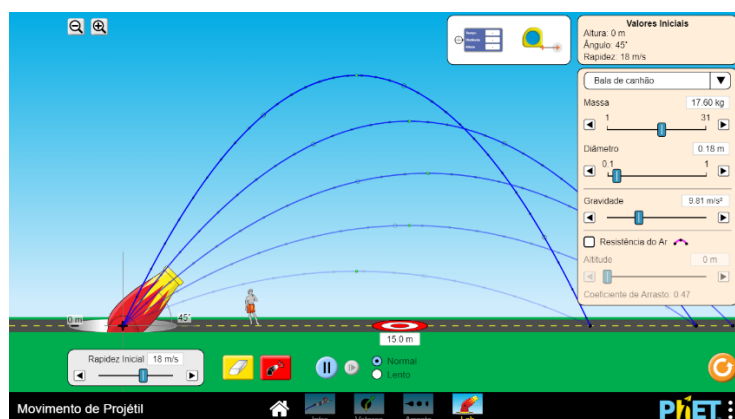


Figura 17 - Simulado de Movimentos de Projétil usado para demonstrar que para o foguete ter alcance máximo ele deve ser lançado com ângulo de inclinação 45°

Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_pt_BR.html (Acesso em 10 de Fev. de 2021)

Duração: 2 aulas.

4.4 Normas de segurança

Objetivo: Explicar a importância de seguir as normas de segurança tanto para os testes de lançamento quanto para a participação nos eventos.

Desenvolvimento: Iniciar a aula sete apresentando a parte do edital da Jornada Cearense de Foguetes (JCF) e da Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG) que trata das normas de segurança para os lançamentos. Informar aos alunos dos equipamentos de segurança individual (EPIs) que cada aluno de todas as equipes precisa ter para participar dos testes de lançamentos e dos eventos. Estas normas estão descritas no Apêndice A.

Duração: 1 aula.

4.5 Testes de lançamento

Objetivo: realizar os testes de lançamento dos foguetes.

Desenvolvimento: levar os alunos para uma aula de campo com espaço amplo onde possamos realizar os testes de lançamento dos foguetes em uma direção sem fluxo de pessoas. Cada equipe deverá lançar no mínimo um foguete e no máximo três. O professor fará o registro dos lançamentos e dos apontamentos para cada equipe, pontuando como podem otimizar seus foguetes para realizar lançamentos cada vez melhores.

Duração: 1 ou 2 aulas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou que atividades experimentais como a de construção de foguetes de garrafa PET e bases de lançamento, aliado a participação em eventos como a Jornada Cearense de Foguetes (JCF) e Mostra Brasileira de Lançamento de Foguetes (MOBFOG), contribuem para a aprendizagem significativa dos conceitos de física facilitando o desenvolvimento de habilidades e competências exigidas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para a área de Ciências da Natureza e suas tecnologias.

Esperamos que assim como o autor se valeu de outros trabalhos que trataram desta temática, os professores possam ir além do que foi explorado aqui, seja adaptando, explorando novos conteúdos para serem apresentados ou melhorando o que foi apresentado. Espero que assim como aconteceu neste trabalho os professores também consigam despertar a curiosidade, o interesse, o entusiasmo e até aproximar a família da escola através da participação e envolvimento destes alunos nestes eventos científicos.

Por fim, acredito neste trabalho como forma de facilitar a aprendizagem significativa, contextualizada e interdisciplinar, dando significado aos conteúdos e também aproximando os alunos da Física vivenciada por eles no dia a dia. Feito desta maneira, estaremos fazendo nossa parte quanto educadores, que é mostrar a beleza da Física e o quanto ela pode ser apaixonante.

REFERÊNCIAS

NOGUEIRA, SALVADOR. **Coleção explorando o ensino astronáutica**; Fronteira espacial – parte 2, v. 12.

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

APÊNDICE A – NORMAS DE SEGURANÇA

Os alunos que desejam participar da aula de campo para testes de lançamento dos foguetes de garrafa PET, bem como, dos eventos relacionados, JCF – Jornada Cearense de Foguetes e da MOBFOG – Mostra Brasileira de Lançamento de Foguetes devem cumprir a risca as normas de segurança abaixo e providenciar os materiais de segurança antes da realização das atividades. A segurança deve estar em primeiro lugar.

- 1) Todos os membros da equipe devem providenciar os seguintes EPI – Equipamentos Individuais de Segurança: óculos de segurança e capas de chuva e/ou jalecos.
- 2) Os membros da equipe devem afastar todas as pessoas por cerca de 10 metros do local onde vai manusear os “propelentes”.
- 3) No momento do lançamento todos os membros e/ou outras pessoas devem estar atrás da base de lançamento do foguete.
- 4) Não se deve lançar os foguetes em ruas ou avenidas e em nenhum lugar movimentado. Deve-se usar grandes espaços abertos e vazios, como por exemplo, campos de futebol, pastos etc. Os testes devem ser feitos sempre com a supervisão e orientação do professor.
- 5) E mais importante, sempre acate todas as orientações e comandos do professor e orientador do projeto.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 1: CONHECIMENTOS PRÉVIOS

O presente questionário foi feito de forma online utilizando a ferramenta do Google formulário. Capturando o código QR ou o link abaixo é possível visualizar o formulário. O professor poderá fazer uma cópia do formulário para seu drive para utilizar com seus alunos.

<https://forms.gle/MuRCA867NVrAf7Ti6>



QUESTIONÁRIO

Este questionário não é de caráter avaliativo e, portanto, não será atribuído nota nem servirá para fazer classificações dos alunos. Seu objetivo é obter os conhecimentos prévios dos alunos e partir deles traçar a melhor estratégia para uma aprendizagem significativa.

Nome: _____

Pergunta 1

Essa pergunta é aberta e tem por objetivo saber seus conhecimentos prévios sobre o assunto.

O que são foguetes?

Pergunta 2

Observe a figura abaixo e depois responda o que se pede.

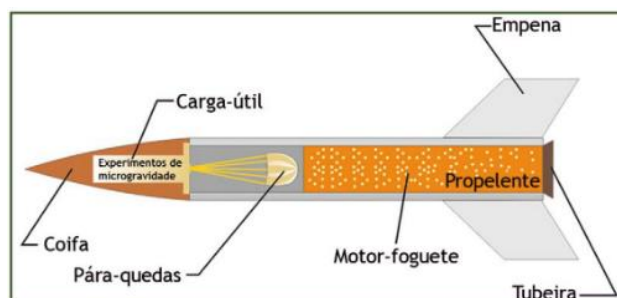


Figura 35 - Representação esquemática de um foguete e os seus principais constituintes (partes)

Qual o papel da coifa, do motor foguete e das empenas?

Pergunta 3

Essa pergunta só tem um item correto.

O ar tem a propriedade de ocupar todo o volume de um recipiente adquirindo o seu formato, já que não possui uma forma própria. Assim podemos fechá-lo em um recipiente com volume determinado e posteriormente provocar-lhe uma redução de volume usando uma força externa. A essa propriedade dar-se o nome de:

- f) Difusibilidade
- g) Compressibilidade
- h) Elasticidade
- i) Expansibilidade
- j) Vaporabilidade

Pergunta 4

Essa pergunta só tem um item correto.

O ar tem a propriedade de aumentar seu volume e adquirir o formato do recipiente que o contém. Essa propriedade é denominada de:

- f) Difusibilidade
- g) Compressibilidade
- h) Elasticidade
- i) Expansibilidade
- j) Vaporabilidade

Pergunta 5

Essa pergunta só tem um item correto.

Uma das propriedades dos líquidos que tem mais aplicações tecnológicas é a sua propriedade de não diminuir de volume, em condições normais de temperatura e pressão, quando submetido a uma força externa. Essa propriedade é chamada de:

- f) Viscosidade
- g) Vaporabilidade
- h) Incompressibilidade
- i) Imponderabilidade
- j) Indifusibilidade

Pergunta 6

Essa pergunta só tem um item correto. Observe a figura abaixo e responda o que se pede.

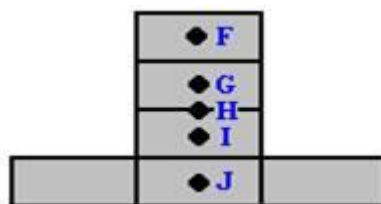


Figura 36 - Seis peças de um jogo de dominó estão dispostas como na figura

Dos pontos indicados (F, G, H, I, J) o que melhor localiza o centro de massa (CM) desse conjunto é: Dica: o centro de massa (CM) é o ponto de equilíbrio das forças gravitacionais que agem sobre o objeto e está relacionado com a massa de cada parte que o compõe. Em outras palavras é como se o objeto inteiro pudesse ser equilibrado nesse ponto.

- f) F
- g) G
- h) H
- i) I
- j) J

Pergunta 7

Essa questão também só tem uma resposta correta.

O centro de pressão (CP) é o ponto de equilíbrio de forças exercidas sobre as partes de um foguete, e é importante para a correção de sua trajetória. Esse ponto está

relacionado à:

- f) Força peso
- g) Força gravitacional
- h) Forças aerodinâmicas
- i) Força de resistência do ar
- j) Força nuclear

Pergunta 8

Veja a figura abaixo e responda o que se pede

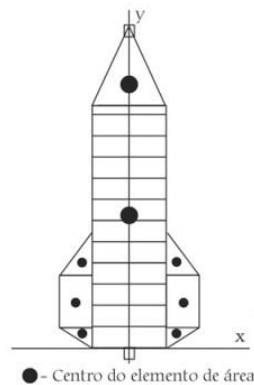


Figura 37 - Projeção das partes de um foguete com os pontos que representam o centro do elemento de área

A figura destaca dois pontos pretos grandes ao longo do eixo y . Esses pontos estão relacionados ao centro de massa (CM) e ao centro de pressão (CP). Para que tenhamos um voo estável, sem turbulência, é necessário que:

- e) O centro de massa esteja acima do centro de pressão
- f) O centro de massa esteja abaixo do centro de pressão
- g) O centro de massa e o centro de pressão estejam no mesmo ponto
- h) A estabilidade do voo não depende da posição relativa entre o centro de massa e o centro de pressão

Pergunta 9

A questão só tem uma resposta correta

Qual o princípio físico que explica o voo dos foguetes?

- e) Primeira Lei de Newton - Inércia que diz: "Todo corpo tende a ficar em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme a menos que uma força externa atue sobre ele".

- f) Segunda Lei de Newton - Princípio Fundamental da Dinâmica que diz: "A Força é igual a massa vezes a aceleração".
- g) Terceira Lei de Newton - Ação e Reação que diz: "Para toda ação existe uma reação de mesmo módulo, mesma direção e sentido oposto".
- h) Lei da Gravitação Universal que diz: "A força gravitacional entre dois corpos é proporcional ao produto das massa e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles".