Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Núcleo de Formação Docente
Física-Licenciatura

DINÂMICA DE FOGUETES COM PROPULSÃO A ÁGUA E AR COMPRIMIDO

HEBIO JUNIOR BEZERRA DE OLIVEIRA

Caruaru-PE
Fevereiro de 2015

Hebio Junior Bezerra de Oliveira

Dinâmica de foguetes com propulsão a água e ar comprimido

Monografia de Graduação apresentada ao Núcleo de Formação Docente do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciado em Física.

Orientador

Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira

Coorientador

Prof. Dr. Charlie Salvador Gonçalves

Universidade Federal de Pernambuco
Núcleo de Formação Docente - NFD

Caruaru - PE

Fevereiro de 2015

Catalogação na fonte:
Bibliotecária - Simone Xavier CRB/4-124

O48d Oliveira, Hebio Junior bezerra de.
Dinâmica de foguetes com propulsão a água e ar comprimido. / Hebio Junior Bezerra de Oliveira. - Caruaru: O Autor, 2015.
72f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Augusto César Lima Moreira
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Licenciatura m Física, 2015.
Inclui referências bibliográficas

1. Foguetes. 2. Física experimental. I. Moreira, Augusto César Lima. (Orientador). II. II. Título

371.12 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2015-073)

Monografia de Graduação sob o título *Dinâmica de foguetes com propulsão a água e ar comprimido* apresentada por Hebio Junior Bezerra de Oliveira e aceita pelo Núcleo de Formação Docente do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, sendo aprovada por todos os membros da banca examinadora abaixo especificada:

Titulação e nome do(a) orientador(a)
Orientador(a)
Departamento
Universidade

Titulação e nome do membro da banca examinadora
Co-orientador(a), se houver
Departamento
Universidade

Titulação e nome do membro da banca examinadora
Departamento
Universidade

Titulação e nome do membro da banca examinadora
Departamento
Universidade

Caruaru - PE, data de aprovação (por extenso).

A minha amada mãe.

Você é a pessoa mais importante na minha vida, foi aquela que me educou e me ama incondicionalmente, onde todos os gestos e palavras vem acompanhados de muito afeto e carinho. Te amo.

Agradecimentos

Quero agradecer primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas em todos os momentos.

Agradeço aos meus familiares, pelo o amor, incentivo e apoio incondicional.

Agradeço ao meu Orientador Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira e especialmente ao meu Coorientador Prof. Dr. Charlie Salvador Gonçalves pelos ensinamentos, incentivo, auxílio às atividades e discussões sobre o andamento deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Agradeço ao professor Jehan Fonseca, por me ajudar na busca por um mestrado.

Agradeço aos professores Ernesto Valdés, João Francisco, Paulo Peixoto, Gustavo Camelo, Augusto César, Kátia Calligaris e Sergio Campello por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender.

Agradeço aos amigos Danilo Farias, Edla Marinho, José Rodrigues, Bruno Muller, Rawhadson Felipe, Alanne Alves, Aline Pinheiro, José Renato e José Roberto companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Agradeço aos meus grandes amigos, Henrique Patriota, Valdemir Manoel, Maylson Marckesan e Aristóteles Rodrigues pela espontaneidade e alegria na troca de informações e materiais numa demonstração de amizade e solidariedade.

Agradeço a Thiago Edvaldo, Bento Gomes, Francisco Junior, Bruno Andrade, Deivisson Mota, Isaque Newton e Everaldo Sebastião que direta ou indiretamente fizeram parte da realização deste trabalho, o meu muito obrigado.

"Enquanto a sociedade feliz não chega, que haja pelo menos fragmentos de futuro em que a alegria é servida como sacramento, para que as crianças aprendam que o mundo pode ser diferente. Que a escola, ela mesma, seja um fragmento do futuro..."

Rubem Alves

Dinâmica de foguetes com propulsão a água e ar comprimido

Autor: Hebio Junior Bezerra de Oliveira
Orientador: Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira
Coorientador: Prof. Dr. Charlie Salvador Gonçalves

Resumo

O presente estudo relata o desenvolvimento de uma atividade experimental, onde se descreve a construção do foguete utilizando-se garrafas PET (Politereftalato de etileno), com a abordagem a alguns fatores aerodinâmicos que podem interferir na estabilidade do foguete durante seu lançamento, como a obtenção e relação entre os centros de massa (CM) e de pressão (CP). Mediante algumas aproximações é apresentada a teoria envolvida durante o lançamento, as leis de Newton, conceito de momento linear, velocidade relativa e movimento de um fluido por meio da utilização do conceito de pressão, a equação de Bernoulli e a equação da continuidade. Neste Trabalho buscamos compreender os aspectos físicos e matemáticos no lançamento de foguetes de propulsão a água e ar comprimido. Desenvolver habilidades e capacidade de definição operacional e de investigação. Sobretudo, este trabalho promove a oportunidade de vivenciar etapas básicas de uma pesquisa científica, envolvendo aspectos teóricos e experimentais.

Palavras-chave: Foguete, Atividade Experimental, Lançamento.

Dynamic rocket-propelled water and compressed air

Author: Hebio Junior Bezerra de Oliveira
Advisor: Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira
Co-advisor: Prof. Dr. Charlie Salvador Gonçalves

Abstract

The present study reports the development of an experimental activity, which describes the construction of the rocket using PET bottles (ethylene terephthalate), with some approach aerodynamic factors that may interfere with the stability during the rocket launch, and to obtain and relationship between the centers of mass (CM) and pressure (CP). By some approaches is presented theory engaged during launch, Newton's laws, the concept of linear momentum, relative velocity and movement of a fluid by using the concept of pressure, Bernoulli's equation and the continuity equation. In this work we try to understand the physical and mathematical aspects in launching rocket propulsion water and compressed air. Develop skills and operational definition of and research capacity. Overall, this work promotes the opportunity to experience basic steps of scientific research, involving theoretical and experimental aspects.

Keywords: Rocket, Experimental activity, Launch.

Lista de figuras

1 Soldado chinês lançando flechas de fogo. . . . . p. 19

2 Exemplo de um sistema físico de massa variável longe do campo gravitacional. . . . p. 21

3 foguete Saturn V. . . . . p. 24

4 sistema de foguete a água. . . . . p. 25

5 (a)Configuração do foguete antes da água ser ejetada; massa M e velocidade v. A única força atuante é a gravitacional F_g. (b) configuração do foguete no momento da ejeção de uma quantidade de água dM e a massa muda para $(M-dM)$ e a velocidade para $(v+dv)$.(c) configuração do foguete, onde V é o volume 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, P_{atm} a pressão atmosférica e u a velocidade de exaustão da água em relação ao foguete. . . p. 28

6 O projeto do foguete foi executado no software livre OpenRocket. . . . . p. 32

7 (a) Diagrama esquemático da plataforma.(b)Diagrama Esquemático do lançamento. p. 32

8 Plataforma utilizada neste lançamento. . . . . p. 33

9 Sequência de quadros editados do vídeo do lançamento. . . . . p. 34

10 Informação de um sinal em seu domínio do tempo. . . . . p. 35

11 O espectro do sinal sonoro completo do lançamento. . . . . p. 36

12 Região A da fig. (6) detalhada. . . . . p. 36

13 Contagem do número de períodos completos. . . . . p. 36

14 Espectro de frequências. . . . . p. 37

15 O espectro obtido é a transformada de Fourier do sinal sonoro no domínio do tempo. p. 38

16 Resultado da velocidade via efeito Doppler. . . . . p. 39

17 (a) na eminência do lançamento e (b) durante o voo. . . . . p. 40

18 Esquema da pressão e volume na câmara de compressão do foguete. . . . . p. 41

19 plataforma de lançamentos. . . . . p. 43

20 (a) papelão, (b) duas garrafas PET e (c) fita adesiva, régua, tesoura, estilete e caneta. p. 44

21 (a) cortando a garrafa e (b) garrafa cortada. . . . . p. 45

22 encaixando a parte frontal do foguete. . . . . p. 45

23 aletas prontas. . . . . p. 46

24 (a) e (b) colando as aletas no foguete. . . . . p. 46

25 foguete pronto. . . . . p. 47

26 montagem do foguete. . . . . p. 47

27 plataforma. . . . . p. 48

28 (a) aparato de pressurização conectado ao reservatório de água (b) foguete pronto para ser pressurizado. . . . . p. 48

29 Sistema de disparo do projetil. . . . . p. 49

30 Sistema de disparo com o foguete. . . . . p. 49

31 Equilibrando o foguete no Centro de Massa. . . . . p. 51

32 Equilibrando o foguete no CM com um barbante. . . . . p. 52

33 Utilizando o software livre ImageJ para calcular o CP do foguete. . . . . p. 53

34 (a) Projeção do foguete e divisão em regiões retangulares e triangulares para facilitar a obtenção do CP.(b) Projeção do foguete em um pedaço de papelão para encontrar seu CM; isto fornecerá uma idéia da posição do CP do foguete, que neste caso coincide com o CM do papelão. . . . . p. 53

35 (a) relação incorreta entre o CM e o CP causando maior instabilidade no foguete durante o voo (b) relação correta entre o CM e o CP causando a correção da estabilidade durante o voo. . . . . p. 54

36 massa adicionada a ogiva do foguete. . . . . p. 55

37 Plataforma atual. . . . . p. 56

38 Plataformas versões 1 e 2. . . . . p. 57

39 Esquema de lançamentos. . . . . p. 57

40 Preparando o foguete para o lançamento. . . . . p. 58

41 Momento do lançamento. . . . . p. 58

42 Momento do lançamento com a versão 1 da plataforma com uma trajetória de água mais evidente. . . . . p. 58

43 diagrama esquemático da plataforma. . . . . p. 59

44 Alcance em função da pressão . . . . . p. 61

45 Alcance em função do volume. . . . . p. 63

46 Alcance em função do volume. . . . . p. 64

47 Alcance em função do volume. . . . . p. 65

48 Cálculo do CP e CM. . . . . p. 70

49 Vista traseira. . . . . p. 71

50 Vista 3D inacabada. . . . . p. 71

51 Vista 3D acabada. . . . . p. 71

52 plataforma de lançamentos. . . . . p. 72

53 plataforma de lançamentos. . . . . p. 72

Lista de tabelas

1 tabela dos resultados encontrados para as velocidades. . . . . p. 38

2 massas de cada foguete. . . . . p. 60

3 Pressão e alcance. . . . . p. 60

4 Alcance dos foguete em função da pressão. . . . . p. 61

5 massas de cada foguete. . . . . p. 62

6 Volume e alcance. . . . . p. 62

7 Alcance dos foguete em função da volume. . . . . p. 64

Lista de abreviaturas e siglas

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

GOCNAE – Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais

FFT – Fast Fourier Transform - transformada rápida de fourier

CM – Centro de Massa

CP – Centro de Pressão

psi – pound per square inch(libra por polegada quadrada)

PVC – Polivinil Cianocrilato

Lista de símbolos

ρ (densidade da água)

γ (razão entre os calores específicos)

Sumário

1 Introdução p. 16

2 Aspectos Teóricos e Experimentais p. 19

2.1 Aspectos Históricos . . . . . p. 19

2.2 Sistema Físico de Massa Variável . . . . . p. 21

2.2.1 Cálculo da velocidade . . . . . p. 22

2.2.2 Comportamento do foguete durante a ejeção de água . . . . . p. 25

2.2.3 Cálculo da aceleração . . . . . p. 26

2.2.4 Cálculo da velocidade u de exaustão da água em ralação ao foguete . . . . . p. 27

2.2.5 Cálculo do Módulo do Empuxo . . . . . p. 30

2.3 Medida da velocidade do Foguete utilizando o efeito Doppler . . . . . p. 31

2.3.1 O Experimento . . . . . p. 32

2.3.2 O Efeito Doppler . . . . . p. 33

2.3.3 O Lançamento . . . . . p. 34

2.3.4 Transformada Rápida de Fourier . . . . . p. 35

2.3.5 Análise dos dados . . . . . p. 35

2.3.6 Medida da velocidade do foguete . . . . . p. 37

2.4 Estudo do alcance em função da pressão . . . . . p. 39

2.5 Estudo do alcance em função do volume . . . . . p. 40

3 Procedimentos Experimentais p. 43

3.1 O Aparato Experimental . . . . . p. 43

3.1.1 Montagem do Foguete . . . . . p. 44
3.1.2 Sistema de Propulsão do Foguete . . . . . p. 48
3.1.3 Estabilidade do Foguete . . . . . p. 50
3.1.4 Plataforma . . . . . p. 56
3.2 O Lançamento . . . . . p. 57

4 Resultados p. 59

5 Conclusões e Perspectivas p. 66
5.1 Conclusões . . . . . p. 66
5.2 Perspectivas . . . . . p. 67

Referências p. 68

Apêndice A – Cálculo do CM e CP utilizando o software livre OpenRocket. p. 70

Anexo A – Plataformas alternativas e Patente do foguete de garrafas p. 72

1 Introdução

Este trabalho proporciona a experimentação e a aplicação de conceitos físicos e matemáticos através da construção do foguete com materiais de baixo custo e no lançamento por um sistema de propulsão a água e ar comprimido. O ensino dos conceitos de espaço, tempo, massa, velocidade e aceleração, são em muitos casos, os tópicos iniciais da física no ensino médio. Entretanto, os educadores do ensino médio passam tão rapidamente por estes conceitos, devido a gama de conteúdos a serem ministrados na ementa ou por tempo insuficiente para uma abordagem mais detalhada, só voltando a abordar esses conceitos, quando no período de lecionar as três leis de Newton. A questão é que o licenciando quase sempre não assimila corretamente os conceitos iniciais, (conceitos estes que montariam o alicerce da mecânica newtoniana em suas mentes) transportando-os para um momento onde revê-los se torna ineficiente. Desta forma, é conhecido que existe uma grande dificuldade de assimilação de conteúdos e conceitos posteriores devido a uma abordagem insuficiente neste alicerce. A prática pedagógica, sobretudo, deve possibilitar, para além de uma apresentação de ideias, a discussão das causas dos fenômenos, o entendimento dos processos em estudo, a análise acerca de como e onde aquele conhecimento apresentado em sala de aula está presente no cotidiano dos estudantes.

É comum as três leis de Newton serem ensinadas de tal forma, que aparecem questões do tipo: Será que são necessárias realmente três leis? A primeira lei de Newton já não está contemplada na segunda? Este problema é antigo, passa despercebido por muitos professores, mas fica acesa esta dúvida entre os estudantes.

A primeira lei para se constituir como tal, falta-lhe a relação entre grandezas físicas como nas outras duas. Talvez, esta seja a causa da tentativa dos licenciandos e professores do ensino médio de reduzir as três leis. No entanto, o enunciado da primeira lei de Newton é tão importante quanto às outras duas e corresponde à forma física de definir determinados sistemas privilegiados de referência. De acordo com esta lei:

> Um corpo em repouso permanece em repouso a não ser que uma força externa atue sobre

> ele. Um corpo em movimento continua em movimento e com rapidez constante e em linha reta a não ser que uma força externa atue sobre ele (TIPLER, 2009, p.94)[1].

Então, para que tal seja observado requerem-se um referencial em que se verifique o enunciado dado: o tal referencial privilegiado (referencial inercial) é aquele no qual é verdadeira a primeira lei. Por que então não darmos uma atenção especial a estas definições? Nasce então a proposta deste trabalho em fazer experimentos que envolvam os licenciandos e que a partir de suas próprias montagens, observações e resultados possam concretizar os conceitos para passá-los adiante de forma correta.

Para tanto, este projeto propõe a utilização de um dos recursos mais ricos do ponto de vista fenomenológico e que possui um grande impacto tecnológico, os foguetes. Conhecido de séculos, o foguete nasceu de uma curiosidade, mas, inesperadamente, a tecnologia moderna transformou-o em instrumento de guerra e de ciência (SIMIENOWICZ, 1650). Explorando este última característica e optando por uma propulsão segura (não é utilizado propelentes explosivos e nenhuma espécie de combustível), este projeto almeja a utilização de foguetes com estruturas não metálicas propulsionadas por água e ar comprimido, este inventado e patenteado (ANEXO A) por Lennie G. Johnson (UNITED STATES PATENT, 1995).

A utilização de foguetes no ensino não é novidade (SOUZA, 2007), haja vista a quantidade de grupos de ciência, inclusive a NASA, que lançam foguetes desta espécie por todo o mundo incluindo campeonatos de altura e alcance. O foguete movido à água e ar comprimido necessita de uma estrutura básica muito simples envolvendo uma bomba de ar, garrafa, água, suporte e um disparador. Neste simples experimento uma garrafa com o gargalo voltado para baixo e contendo água está fechada com uma rolha de borracha na qual por um pequeno furo é injetado ar comprimido através da bomba de ar. No limite de rompimento, a força gerada pela pressão interna é igual à força de atrito que sustenta a rolha no gargalo. Quando então é disparada, temos a expulsão da massa de líquido e a aparição de uma força direcionada para cima dada pela variação temporal do momento linear do sistema água/foguete. A lei que rege este comportamento é a segunda lei de Newton, dada por:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m\frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v}\frac{dm}{dt} = m\vec{a} + \vec{v}\frac{dm}{dt} \tag{1.1}$$

[1] A definição do Tipler para a primeira lei de Newton pode gerar dúvidas. Apenas uma força pode alterar o estado inicial de um corpo? Ou mais forças? Talvez fosse melhor enunciado da seguinte forma: um corpo permanece em seu estado inicial de repouso ou movimento retilíneo e uniforme a menos que a resultante (não nula) das forças externas atue sobre ele.

onde $\vec{p}$ é o momento linear, $\vec{v}$ a velocidade, m a massa, $\vec{a}$ é a aceleração, t o tempo e $\vec{F}$ é à força do empuxo, é importante frisar que $\vec{v}$ e m variam com o passar do tempo. Uma falsa concepção muito comum é a de que um foguete seja propelido pelo impacto dos gases ejetados contra a atmosfera. Na verdade o foguete acelera por causa das forças de reação dos gases sobre o foguete, fazendo assim com que o mesmo seja propelido, (HEWITT, 2002, p.90).

Portanto, com esta pesquisa buscaremos compreender os aspectos físicos e matemáticos no lançamento de foguetes de propulsão a água e ar comprimido. Outros objetivos intrínsecos a este trabalho, tão importantes quanto aos já mencionados são: despertar o senso de observação, coleta, análise e interpretação de dados, desenvolver habilidades e capacidade de definição operacional e de investigação, de forma a trazer o aluno a interagir no processo ensino-aprendizagem. Isto feito de tal maneira, que a participação do docente neste processo de ensino-aprendizagem possa realmente contribuir para uma aprendizagem significativa.

Esta monografia está dividida em cinco capítulos, onde o primeiro é justamente esta introdução e os demais são:

No capítulo 2: Aspectos Teóricos e Experimentais; neste capítulo é apresentado o contexto histórico do lançamento de foguetes, em seguida é feita uma abordagem dos aspectos físicos e experimentais através do estudo do sistema físico de massa variável, medida da velocidade do foguete utilizando o efeito Doppler e o estudo do alcance do foguete em função da variação da pressão e do volume.

No capítulo 3: Procedimentos Experimentais; neste capítulo é descritos todos os procedimentos desde a construção do foguete até o lançamento.

No capítulo 4: Resultados; aqui são apresentados os resultados dos lançamentos.

No capítulo 5: Conclusões e Perspectivas; neste capítulo é apresentado uma visão analítica do trabalho e suas perspectivas.

2 Aspectos Teóricos e Experimentais

2.1 Aspectos Históricos

Alguns documentos chineses registram o uso de "setas de fogo", este é um termo que tanto pode designar foguetes como uma seta com uma substância inflamável. No início do séc. XIII, a dinastia Sung chinesa, debaixo da pressão das crescentes tropas mongóis, viu-se forçada a depender cada vez mais da tecnologia para conter a ameaça. Os especialistas da artilharia chinesa introduziram e aperfeiçoaram muitos tipos de projeteis, incluindo granadas explosivas e canhões. As setas com foguetes foram de certo usadas para repelir os invasores mongóis na batalha de Kai-fung-fu em 1232 d.C.[1].

Figura 1: Soldado chinês lançando flechas de fogo.
Fonte: http://www.nasa.gov/pdf/153410main_Rockets_History.pdf

A história da prática da exploração do espaço para além da atmosfera terrestre tem seu ponto de partida principalmente com a criação ou desenvolvimento dos primeiros foguetes e satélites. Não fossem os testes do americano Robert Goddard com o primeiro foguete de combustível líquido da história, que subiu apenas 12 metros em 16 de março de 1926, o homem talvez nunca teria chegado a Lua e os meteorologistas dificilmente teriam emprego.

[1] http://www.solarviews.com/portug/rocket.htm.

Os foguetes juntamente com os telescópios são realmente um ponto de partida fundamental no desenvolvimento da astronomia, pois lançaram e ainda, hoje, lançam instrumentos muito poderosos ao espaço, como sondas interplanetárias, que nos revelam os segredos dos planetas mais distantes, telescópios espaciais, que nos revelam os segredos das estrelas e galáxias mais distantes, e satélites voltados para a própria Terra. Os satélites também são de extrema importância na astronomia, pois orbitando a Terra eles capturam dados científicos impossíveis de serem obtidos do solo. O desenvolvimento de todos esses equipamentos começou no ínicio do século XX, que talvez fique marcado como "o século em que o homem saiu da Terra".[2]

Portanto, foguetes lançaram e lançam muitas pessoas e equipamentos ao espeço. Astronautas orbitaram a Terra e aterrissaram na Lua. Naves robóticas viajaram e viajam aos planetas. O espaço de repente, abriu-se à exploração humana e comercial. Os satélites permitem aos cientistas investigar o nosso mundo, fazer previsões climáticas e comunicar-se instantaneamente como o mundo inteiro. No entanto, a procura por veículos que pudessem levar uma carga maior ao espaço gerou a uma necessidade de desenvolver uma grande variedade de foguetes versáteis e potentes.

Segundo Petrônio Noronha de Souza, Engenheiro Mecânico pela UNICAMP (1982), com Mestrado em Ciência Espacial, Mecânica Orbital pelo INPE (1986) e Doutorado em Engenharia pelo Cranfield Institute of Technology (Inglaterra) em 1993, o Brasil oficializou seu interesse pela exploração do espaço em 1961, com a criação da GOCNAE , precursora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Desde o princípio esse órgão público federal interagiu com agências espaciais de outros países e instalou estações para receber e processar dados de satélites científicos e meteorológicos. Com o passar do tempo, o Brasil passou a ser um dos maiores usuários de imagens da Terra transmitidas por satélites, e através de pesquisas na área desenvolveu técnicas próprias para sua utilização. Através da Embratel, o Brasil também foi um dos primeiros países a usar comunicações por satélites. Em 1965 o Ministério da Aeronáutica instalou uma base de lançamentos no Rio Grande do Norte, e começou a desenvolver foguetes de sondagem e mísseis no Centro Técnico de Aeronáutica (CTA)[3].

Segundo a NASA[4] os foguetes atuais são resultado memoráveis da engenhosidade humana que tem raízes na ciência e tecnologia do passado. Eles são literalmente o resultado de milhares de anos de experimentação e pesquisa sobre foguetes e propulsão dos mesmos.

[2]http://www.cdcc.sc.usp.br/cda/sessao-astronomia/seculoxx/textos/foguetes-e-satelites.htm.
[3]http://www.craz.com.br/site/portal/colegio-guarulhos/files/2013/05/satelites_alta_resolucao_31jul07.pdf
[4]http://www.nasa.gov/pdf/153410main_Rockets_History.pdf

2.2 Sistema Físico de Massa Variável

Nesta seção é feita uma adaptação do artigo de James Alves de Souza publicado na revista Física na Escola em 2007.

O estudo de sistemas dinâmicos de massa variável é uma parte importante da Mecânica que propicia a aplicação das leis de Newton na solução de problemas complexos da dinâmica, como o de lançamento de foguetes. Então, uma forma interessante de estudar este tipo de sistema é de maneira experimental.

> (...) o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de se aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente. Nesse sentido, no campo das investigações nessa área, pesquisadores têm apontado em literatura nacional recente a importância das atividades experimentais. (ARAÚJO; ABIB, p. 176, 2003)

Para início, considere a seguinte situação: Um foguete formado por um sistema (figura 2) onde sua massa não permanece constante, ou seja, possui uma massa continuamente variável (TIPLER, p. 265), perdendo parte de sua massa pela queima do combustível, ou no caso dos foguetes de garrafa PET pela ejeção de água.

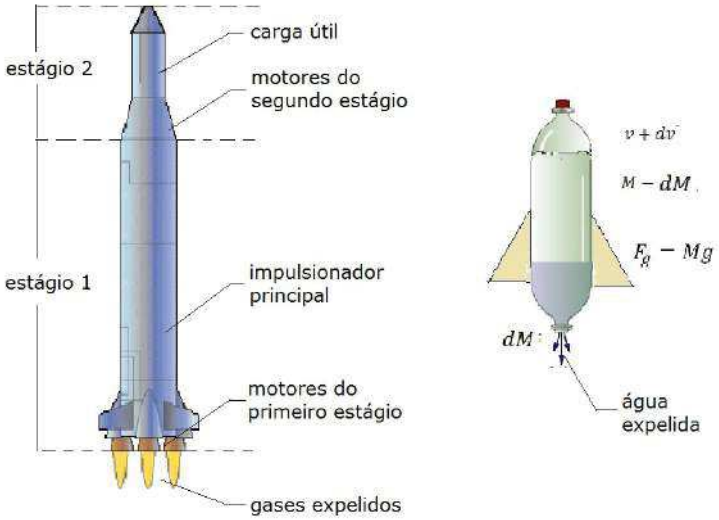


Figura 2: Exemplo de um sistema físico de massa variável longe do campo gravitacional.

Podemos entender o movimento do foguete durante o voo a partir da Segunda Lei de Newton:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \tag{2.1}$$

Para esse estudo estamos levando em consideração a variação da massa do foguete quando o mesmo acelera aplicando a segunda a segunda lei de Newton, no entanto, o sistema consiste no foguete e seus produtos ainda não expelidos que ele possui, como esses produtos são lançados para trás, a massa desse sistema varia quando o foguete acelera. Consideramos também que o foguete está com velocidade inicial constante, ou seja, com movimento inicial uniforme. Na realidade, o sistema é muito mais complexo. Colocando-o longe do campo gravitacional é para se obter uma relação inicial simples. Se considerarmos esse sistema fechado e isolado (longe do campo de forças), o seu momento linear inicial deverá ser igual ao final: por conseguinte, o anulamento da resultante das forças externas é equivalente à conservação do momento total do sistema (MOYSÉS NUSSENZVEIG, p. 154, 2002).

$$\vec{F} = 0 \leftrightarrow \vec{P} = constante \tag{2.2}$$

2.2.1 Cálculo da velocidade

Expressando a Eq. (2.2) considerando a direção do eixo x, o momento linear pode ser escrito da seguinte forma:

$$\vec{P_i} = \vec{P_f} \tag{2.3}$$

onde o momento linear inicial do foguete é dado por:

$$\vec{P_i} = M\vec{v} \tag{2.4}$$

onde M é a massa inicial definida como $M = m_f + m_a$, com m_f sendo a massa do foguete vazio, m_a a massa de água contida no foguete e $\vec{v}$, como já especificado, é a velocidade inicial. Assim como estamos tratando do foguete, o seu momento linear final pode ser escrito da seguinte forma:

$$\vec{P_f} = (M - dM)(\vec{v} + d\vec{v}) - dM\vec{v}_f \tag{2.5}$$

substituindo as equações (2.4) e (2.5) na equação (2.3), obtemos:

$$M\vec{v} = (M - dM)(\vec{v} + d\vec{v}) - dM\vec{v}_f \tag{2.6}$$

portanto,

$$M\vec{v} = M\vec{v} + Md\vec{v} - \vec{v}dM - dMd\vec{v} - dM\vec{v}_f \tag{2.7}$$

e

$$Md\vec{v} = (\vec{v} + \vec{v}_f)dM \tag{2.8}$$

Note que, o termo $dMd\vec{v}$ da eq. (2.7) foi desprezado, pois é o produto de dois termos muito pequenos, e a eq. (2.8) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$Md\vec{v} = -\vec{u}dM \tag{2.9}$$

onde $\vec{u} = \vec{v} + \vec{v}_f$ é a velocidade de exaustão dos produtos (água) do foguete e o sinal negativo é pelo fato da velocidade $\vec{u}$ ser contrária ao movimento do foguete, ou seja, está na mesma direção do versor $-\mathbf{u}$.

Para analisarmos como varia a velocidade do foguete a medida que ejeta os produtos da combustão, em módulo resolve-se a equação 2.9 da seguinte forma:

$$dv = -u\frac{dM}{M} \tag{2.10}$$

integrando ambos os lados obtemos:

$$\int_{v_0}^{v_F} dv \;\; = \;\; -u\int_{M_i}^{M_f} \frac{dM}{M} \tag{2.11}$$

portanto, temos:

$$v_F - v_0 = -uln\frac{M_f}{M_i} \tag{2.12}$$

de modo que,

$$\Delta v = uln\frac{M_i}{M_f} \tag{2.13}$$

onde a eq. (2.13) nos mostra o aumento da velocidade do foguete enquanto a massa muda de M_i para M_f.

Uma análise interessante a ser feita a cerca da eq. (2.13) é saber em que situação o

foguete atingirá a velocidade dos produtos ejetados $\Delta v = u$. Equivale a fazer : $ln\frac{M_i}{M_f} = 1$, portanto;

$$ln\frac{M_i}{M_f} = 1 \leftrightarrow e^{ln\frac{M_i}{M_f}} = e^1 \tag{2.14}$$

aplicando propriedades de logaritmos na eq. (2.14), fica:

$$M_i/M_f = 2,718281828 \approx 3 \tag{2.15}$$

portanto,

$$M_i \approx 3M_f \tag{2.16}$$

Na eq. (2.16) mesmo com algumas aproximações até chegar a tal resultado, é possível perceber que a massa inicial do foguete é aproximadamente três vezes a massa final, isso explica o porquê dos foguetes espaciais terem um tamanho tão grande frente à carga útil a ser lançada. Os foguetes possuem dois ou mais estágios, colocados um em cima do outro. Assim, quando o foguete do estágio inferior queima todo o seu combustível, ele se desacopla do conjunto e aciona o segundo estágio, permitindo que o corpo restante do foguete aproveite o impulso obtido a fim de ganhar mais velocidade na subida.

O primeiro estágio é o que carrega, geralmente, a maior parte do combustível, pois a atmosfera é mais densa perto do solo (há mais atrito do foguete com o ar); o efeito da gravidade (g) é maior na região próxima à superfície terrestre; e o peso do foguete é ainda grande (pois nenhum estágio se desacoplou e ele ainda carrega todo o combustível que vai ser queimado). Esse é o sistema usado para os grandes foguetes lançadores atuais. O foguete Saturn V, utilizados nas missões Apollo. Era um lançador de três estágios, sendo o primeiro impulsionado por querosene e os demais por hidrogênio líquido.

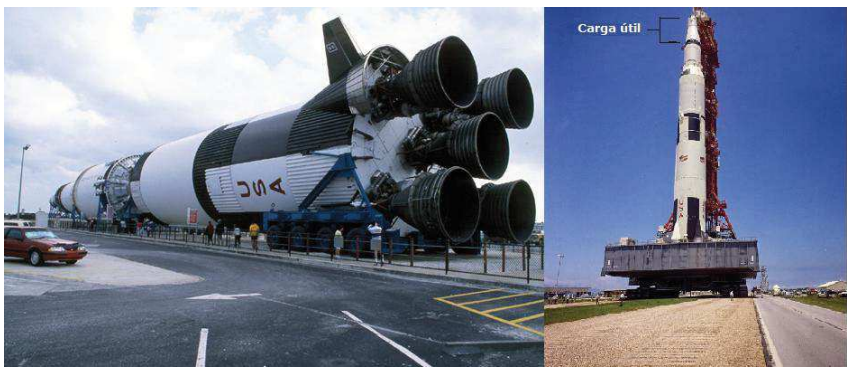


Figura 3: foguete Saturn V.
Fonte: http://history.nasa.gov/ap11ann/kippsphotos/saturn5.html

2.2.2 Comportamento do foguete durante a ejeção de água

Contudo, uma maneira muito interessante de apresentar a variação da velocidade do foguete fig. (4) é exposta no artigo de James Alves de Souza publicado na revista Física na Escola em 2007.

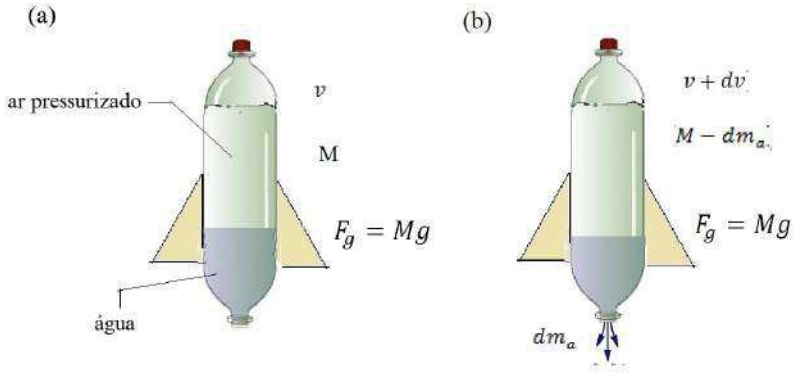


Figura 4: sistema de foguete a água.

A partir das equações (2.1), (2.4) e (2.5) e fazendo as seguintes considerações; $dM = dm_a$, o sistema terá um momento linear inicial dado por:

$$\vec{P_i} = M\vec{v} \tag{2.17}$$

logo, o momento linear final do sistema é dado por;

$$\vec{P_f} = (M - dm_a)(\vec{v} + d\vec{v}) - dm_a\vec{v}_f \tag{2.18}$$

Aqui nesta seção o sistema está no campo gravitacional, portanto, se a única força externa atuante no sistema for a força peso, temos $\sum \vec{F} = -M\vec{g}$, substituindo as equações (2.17) e (2.18) na Eq. (2.1),temos:

$$-M\vec{g} = \frac{(M - dm_a)(\vec{v} + d\vec{v}) - dm_a\vec{v}_f - M\vec{v}}{dt} \tag{2.19}$$

fazendo algumas manipulações matemáticas, e desprezando o termo $dm_a d\vec{v}$ semelhante à condição utilizada na Eq. (2.7), é possível obter a seguinte equação:

$$d\vec{v} = -\vec{g}dt + \frac{dm_a}{M}\vec{u} \tag{2.20}$$

com $\vec{u} = \vec{v} + \vec{v}_f$, essa consideração é igual à feita na Eq. (2.9). Utilizando as seguintes

considerações; $M = m_a + m_f = \rho V_a + m_f$ com ρ sendo a densidade da água e V_a o volume de água na câmara de compressão e $dm_a = \rho dV$, onde dV é a variação do volume de ar dentro da câmara de compressão devido à ejeção da água. Mediante essas considerações é possível obter a seguinte equação:

$$d\vec{v} = -\vec{g}dt + \frac{\rho dV}{\rho V_a + m_f}\vec{u} \tag{2.21}$$

Com a Eq. (2.21) é possível obter a velocidade do foguete durante o tempo dt em que a água está sendo ejetada do foguete, desde que seja conhecida a velocidade de exaustão da água u em relação ao foguete.

2.2.3 Cálculo da aceleração

Para um sistema com massa variável, a equação geral do movimento é obtida mediante a derivada total encontrada a partir da Segunda Lei de Newton:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(M\vec{v})}{dt} = M\frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v}\frac{dM}{dt} \tag{2.22}$$

Na análise de lançamento de foguetes é comum expressarmos o termo associado à variação de massa $\vec{v}\frac{dM}{dt}$ não em função da massa e da velocidade do objeto, mas sim em função da massa ejetada e da velocidade $\vec{u}$ desta massa ejetada em relação ao centro de massa do objeto (foguete) e não em relação ao referencial escolhido. $\vec{u}$ é a velocidade relativa da massa ejetada em relação ao veículo que a ejeta ou velocidade de exaustão dos produtos ejetados. Mediante tais considerações mostra-se que:

$$\vec{F} = M\frac{d\vec{v}}{dt} - \vec{u}\frac{dM}{dt} \tag{2.23}$$

o termo $\vec{u}\frac{dM}{dt}$ no lado direito, conhecido como o empuxo $\vec{E}$ correspondente à força atuante no foguete em um dado instante devido à ejeção da massa dM com velocidade $\vec{u}$ (em relação ao foguete), e o termo à esquerda, $M\frac{d\vec{v}}{dt}$, à força total sobre o foguete, incluindo qualquer força externa que esteja atuando sobre o mesmo. A velocidade de exaustão dos gases e a aceleração do foguete tem sentidos opostos, no entanto, $\frac{dM}{dt}$ é naturalmente negativo porque é a taxa com a qual o foguete perde massa. Portanto;

$$\vec{E} = \vec{u}\frac{dM}{dt} \quad \leftrightarrow \quad \vec{F} = M\frac{d\vec{v}}{dt} - \vec{E} \tag{2.24}$$

de modo que, se a única força externa atuante sobre o foguete for a força peso, temos:

$$M\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{E} - M\vec{g} \tag{2.25}$$

portanto;

$$M\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{E} - M\vec{g} \tag{2.26}$$

logo,

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{1}{M}(\vec{E} - M\vec{g}) \tag{2.27}$$

esta eq. (2.27) nos fornece a aceleração do foguete no instante em que a massa é M.

2.2.4 Cálculo da velocidade u de exaustão da água em ralação ao foguete

Para o cálculo da velocidade $\vec{u}$ de exaustão dos produtos em relação ao foguete, vamos considerar a água como um fluido ideal, ou seja, cuja viscosidade é nula (BRUNETTI, p.10, 2008). Incompressível, quando a sua densidade de massa permanece constante e homogênea à medida que o fluido se movimenta, e seu escoamento estacionário (regime permanente), ou seja, as diferentes partículas que compõem o fluido têm sempre a mesma velocidade ao passar em um ponto fixo no espaço. Grandezas como densidade, velocidade e pressão dependem exclusivamente do ponto do espaço considerado e independem do tempo. Consequentemente, as linhas de corrente irão coincidir com as trajetórias das partículas do fluido. É claro que na prática não existem fluidos nessas condições (BRUNETTI, p.10, 2008). Partindo da equação de Bernoulli, temos:

$$\frac{1}{2}\rho v_L^2 + P = \frac{1}{2}\rho u^2 + P_{atm} \tag{2.28}$$

É importante ressaltar que estamos desprezando a parte da energia potencial gravitacional da equação de Bernoulli, pois sua magnitude é desprezível comparada com as demais grandezas envolvidas. Perceba que as grandezas no lado esquerdo da eq. (2.28) estão relacionadas à quantidade de água no interior do foguete, ou seja, relaciona a densidade ρ , a pressão P e a velocidade v_L de um fluido ideal, incompressível. No lado direito da eq. (2.28) estão às grandezas relacionadas à quantidade de água expelida do foguete, que são a velocidade $\vec{u}$ de exaustão dos produtos (água), esta por sua vez é a velocidade em que estamos interessados em encontrar, e a pressão atmosférica P_{atm} no bocal da garrafa.

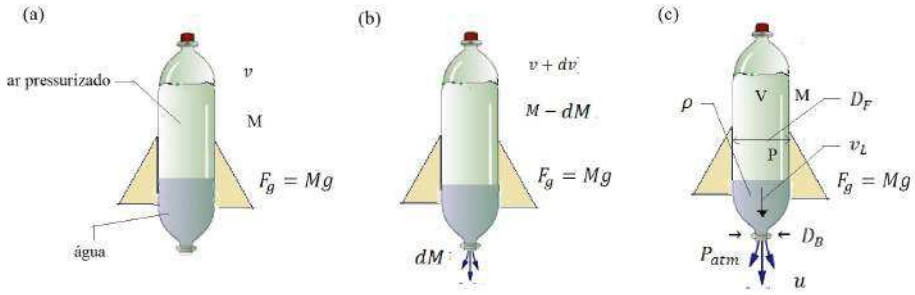


Figura 5: (a)Configuração do foguete antes da água ser ejetada; massa M e velocidade v. A única força atuante é a gravitacional F_g. (b) configuração do foguete no momento da ejeção de uma quantidade de água dM e a massa muda para $(M - dM)$ e a velocidade para $(v + dv)$.(c) configuração do foguete, onde V é o volume 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, P_{atm} a pressão atmosférica e u a velocidade de exaustão da água em relação ao foguete.

As velocidades v_L e u estão relacionadas com a taxa de variação da massa por unidade de tempo através da seção reta do foguete. Esta relação é dada pela equação da continuidade para um fluido incompressível, a massa dM_1 que flui no interior do foguete através da área A_1 no tempo dt é dada por $dM_1 = \rho A_1 v_L dt$. Analogamente, a massa dM_1 que é expelida do foguete através da área A_2 no mesmo tempo dt é dada por $dM_2 = \rho A_2 u dt$. No escoamento estacionário, a massa total permanece constante, logo $dM_1 = dM_2$, portanto;

$$\rho A_1 v_L dt = \rho A_2 u dt \quad ou \quad \vec{A_1} \cdot \vec{v}_L = \vec{A_2} \cdot \vec{u} \quad (Eq.\ da\ continuidade) \tag{2.29}$$

Note que, a Equação (2.29) mostra que a vazão volumétrica possui sempre o mesmo valor em todos os pontos ao longo de qualquer tubo (corpo da garrafa) de escoamento (fluido ideal). O produto Av é a vazão volumétrica $\frac{dV}{dt}$, ou seja, a taxa com a qual o volume do fluido atravessa a seção reta do tubo:

$$\frac{dV}{dt} = Av \tag{2.30}$$

de modo que, usando as equações (2.29) e (2.30) temos;

$$\frac{dV}{dt} = A_2 u = A_1 v_L \tag{2.31}$$

onde A_1 e A_2 são as áreas do corpo da garrafa e do bocal, respectivamente. Usando a definição de área para uma circunferência $A = \pi r^2$ onde r é o raio da circunferência, temos;

$$\frac{dV}{dt} = \pi r_2^2 u = \pi r_1^2 v_L \tag{2.32}$$

portanto,

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{4}\pi u D_B^2 = \frac{1}{4}\pi v_L D_F^2 \tag{2.33}$$

Com D_B e D_F sendo os diâmetros do bocal e do corpo da garrafa, respectivamente. Onde o termo $\frac{1}{4}$ aparece pelo fato do raio da circunferência (bocal e do corpo da garrafa) ser igual à metade do diâmetro $r = \frac{1}{2}D$, como na eq. (2.32) o raio está elevado ao quadrado daí a justificativa do termo $\frac{1}{4}$ na eq. (2.33). Da eq. (2.33) podemos observar que v_L é proporcional à razão entre $\frac{D_B}{D_F}$ que, no entanto, é muito menor que 1, e perceba que torna-se menor ainda quando elevado à quarta potência na eq. (2.28). Portanto, podemos desprezar o primeiro termo da eq.(2.28), fazendo isso vai nos permitir obter a expressão para a velocidade de exaustão dos produtos (água) do foguete, então, temos;

$$v_L = u\left(\frac{D_B}{D_F}\right)^2 \tag{2.34}$$

então, substituindo a eq. (2.34) na eq. (2.28), obtemos:

$$\frac{1}{2}\rho u\left(\frac{D_B}{D_F}\right)^4 + P = \frac{1}{2}\rho u^2 + P_{atm} \quad \leftrightarrow \quad P = \frac{1}{2}\rho u^2 + P_{atm} \tag{2.35}$$

portanto,

$$u = \sqrt{\frac{2(P - P_{atm})}{\rho}} \tag{2.36}$$

A eq. (2.36) (D. KAGAN, L. BUCHHOLTZ AND L. KLEIN, p. 153, 1995) nos permite calcular a velocidade de exaustão da água que é ejetada pelo foguete.

É possível observar que quando pegamos o foguete no solo ainda há vapor de água dentro da câmara de compressão, e isso nos permite intuir que houve resfriamento do ar dentro da garrafa no momento de sua expansão. Como o intervalo de tempo dt é muito pequeno, significa que este processo de expansão pode ter acontecido sem trocas de calor entre o sistema, câmara de compressão e a vizinhança. Note que, podemos, então, supor que houve uma expansão adiabática, entretanto, admitindo que o ar seja um gás ideal, temos (YOUNG, HUGH D. AND FREEDMAN, ROGER A. p. 192, 2003);

$$P = P_0\left(\frac{V_0}{V}\right)^{\gamma} \tag{2.37}$$

perceba que o P_0 é a pressão absoluta inicial dentro do foguete, V_0 o volume inicial de ar dentro do mesmo e V seu volume final (volume da garrafa), em que $\gamma = c_p/c_v$ é a razão entre os calores específicos molares, a pressão constante c_p e a volume constante c_v do gás. A Teoria Cinética dos Gases prevê que, para gases monoatômicos, $\gamma = 1,67$, para gases diatômicos,$\gamma = 1,4$ e, para gases poliatômicos, $\gamma = 1,33$, o ar pode ser considerado um gás diatômico (o ar é basicamente uma mistura dos gases oxigênio e hidrogênio), temos, que $\gamma = 1,4$ (YOUNG, HUGH D. AND FREEDMAN, ROGER A. p. 191, 2003). Substituindo a Eq. (2.37) na Eq. (2.36), obtemos a equação para a velocidade de exaustão da água;

$$u = \sqrt{\frac{2\left(P_0\left(\frac{V_0}{V}\right)^{\gamma} - P_{atm}\right)}{\rho}} \tag{2.38}$$

logo,

$$u = \sqrt{\frac{2P_0}{\rho}}\sqrt{\left(\frac{V_0}{V}\right)^{\gamma} - \frac{P_{atm}}{P_0}} \tag{2.39}$$

Chegamos de fato em um resultado interessantíssimo pois, as grandezas envolvidas são todas possível de serem medidas no nosso experimento, uma vez que nosso aparato experimental nos possibilita o controle de pressão e volume, e a densidade do fluido(água) é conhecida.

2.2.5 Cálculo do Módulo do Empuxo

O escoamento de água através do bocal de saída da garrafa provoca uma força de empuxo, ou força de reação. Sob algumas condições que a equação de Bernoulli possa ser aplicada, pode-se calcular empuxo no sistema (Garrafa, água e ar pressurizado). Usando a eq. (2.24), temos:

$$\vec{E} = \vec{u}\frac{dM}{dt} \tag{2.40}$$

Onde massa é definida por $M = \rho V$ com ρ sendo a densidade da água e V o volume, utilizando esta relação para a massa, temos que a eq. (2.40) em módulo fica:

$$E = \rho u \frac{dV}{dt} \tag{2.41}$$

note que, $\frac{dV}{dt}$ é a taxa de variação do volume de água corresponde à vazão em volume de água que é expelida pelo foguete. Utilizando a definição de vazão volumétrica, eq. (2.30) na eq. (2.41), temos;

$$E = \rho A_2 u^2 \tag{2.42}$$

portanto, substituindo a eq. (2.39) na eq. (2.42), temos:

$$E = 2A_2 \left(P_0 \left(\frac{V_0}{V} \right)^{\gamma} - P_{atm} \right) \tag{2.43}$$

onde A_2 é a área do bocal da garrafa, P a pressão interna e P_{atm} a pressão atmosférica. Enquanto a velocidade de descarga é inversamente proporcional à densidade ρ, o empuxo independe da massa, sendo função apenas da área de saída e da pressão manométrica $(P - P_{atm})$.

2.3 Medida da velocidade do Foguete utilizando o efeito Doppler

Esta seção tem como objetivo apresentar um experimento de medida da velocidade de foguetes utilizando o efeito Doppler. Este experimento foi inspirado em trabalhos nos quais a ferramenta matemática FFT (Fast Fourier Transform - transformada rápida de fourier) foi utilizada para medir velocidades através da análise de arquivos de áudio. Segundo Bore[5] a Transformada de Fourier faz um pressuposto implícito de que o sinal é repetitivo, ou seja, o sinal dentro do tempo medido é repetido durante todo o tempo. Os resultados são confrontados com as medidas de velocidade realizadas a partir de análise e edição das imagens gravadas simultaneamente e sincronizadas com o áudio.

Estamos interessados inicialmente em verificar a equação do artigo de James Alves de Souza.

[5]http://www.bores.com/courses/advanced/windows/files/windows.pdf

2.3.1 O Experimento

Este trabalho almeja a utilização de foguetes não metálicos propulsionados por água e ar comprimido para o estudo do lançamento de projetil medindo sua velocidade via efeito Doppler. A estrutura é baseada no diâmetro de uma garrafa PET utilizada como câmara de compressão, os foguetes são montados unindo uma estrutura de lâminas de Polivinil Cianocrilato (PVC).O projeto é mostrado na Figura 6.

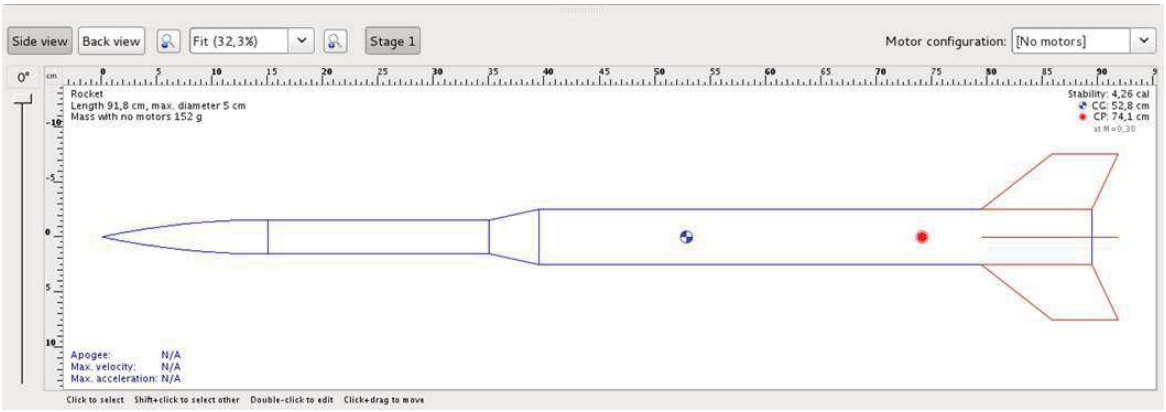


Figura 6: O projeto do foguete foi executado no software livre OpenRocket.

O foguete é lançado emitindo um sinal sonoro de 3kHz a partir de uma plataforma (figura 7b). Esta é composta por um compressor de ar, válvulas, dispositivo de disparo acionado remotamente e antena de recepção do sinal. O esquema do experimento é apresentado na Figura 7a.

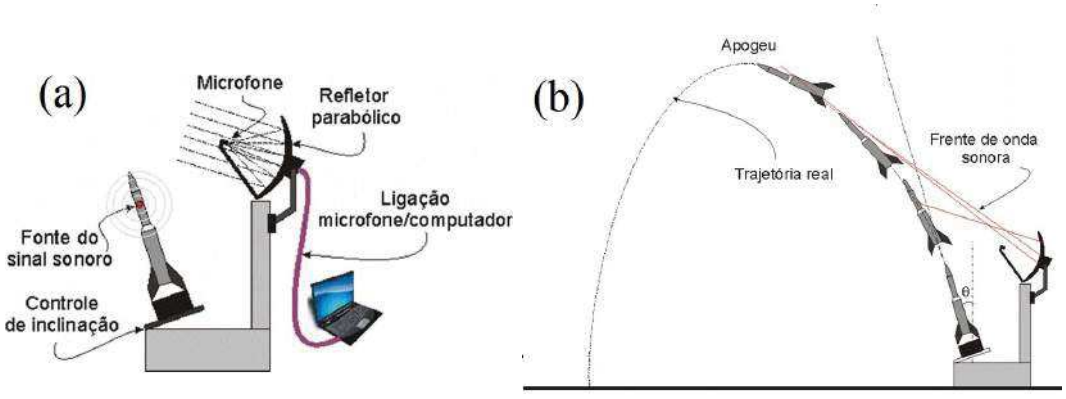


Figura 7: (a) Diagrama esquemático da plataforma.(b)Diagrama Esquemático do lançamento.

Figura 8: Plataforma utilizada neste lançamento.

2.3.2 O Efeito Doppler

O efeito Doppler é denominado assim em homenagem a Johann Christian Andreas Doppler, que o descobriu em 1842 e acabou descrevendo o fenômeno teoricamente, bem como ao francês Hippolyte Fizeau, o qual descobriu o fenômeno de forma independente em estudos sobre ondas eletromagnéticas. Esse efeito é uma característica observada em todos os tipos de ondas. Pode ser entendido como a alteração da frequência notada pelo observador em virtude do movimento relativo de aproximação ou afastamento entre uma fonte de ondas e o observador. Esse fenômeno é facilmente constatado quando uma ambulância com a sirene ligada se aproxima ou afasta-se de nós.

O efeito Doppler é um dos importantes temas no que se refere ao estudo de fenômenos ondulatórios, visto que descreve situações comuns no dia-a-dia do estudante.Embora se trate de um fenômeno característico de qualquer propagação ondulatória, o efeito Doppler sonoro é mais comum em nosso cotidiano. Este tem distintas aplicações na ciência e tecnologia, hoje, o efeito Doppler é amplamente utilizado em diversos instrumentos de medição, como os sonares dos submarinos, na medição de distâncias e na prospecção geológica, mas não ficaram limitados aos fenômenos acústicos, os radares usam o mesmo efeito sobre as ondas eletromagnéticas para detectar obstáculos.

Quando uma fonte sonora está em movimento relativo com um observador o efeito Doppler pode claramente atenuar-se ou acentuar-se, e até mesmo desaparecer, contudo, isso vai depender dos módulos, direções e sentidos das velocidades da fonte e observador. É possível perceber que, quando a fonte se aproxima a frequência aparente é maior que a frequência natural, e quando a fonte se afasta do observador a frequência aparente é

menor que a natural, e este ultimo é a situação ou relação usada neste trabalho, onde, no caso do foguete se afasta do observador (computador) e emitindo um sinal sonoro padrão e a frequência aparente f_{ap} será dada por:

$$f_{ap} = f_0 \frac{v_{som}}{v_{som} + (\mathbf{n}.\vec{v})} \tag{2.44}$$

onde f_0 é a frequência padrão, v_{som} é velocidade do som (local) e $\mathbf{n}$ é o versor que aponta na direção do lançamento e $\vec{v}$ é o vetor velocidade do foguete. Note que $\mathbf{n}.\vec{v} \approx v$, então, a equação para determinar em módulo a velocidade do foguete é dada por:

$$v = v_{som} \frac{f_0 - f_{ap}}{f_{ap}} \tag{2.45}$$

De posse dessa equação podemos medir a velocidade do foguete, uma vez que a velocidade do som (local) e as frequências tanto a padrão quanto a aparente já são de nosso conhecimento, observe que a frequência padrão f_0 é a natural do emissor sonoro acoplado na ogiva do foguete e a frequência aparente f_{ap} é a captada pelo computador no momento em que o foguete se desloca.

2.3.3 O Lançamento

O lançamento do foguete experimental foi filmado a partir do referencial do solo, contemplando sua trajetória. A partir dos filmes produzidos foi montado uma sequência de imagens (figura 9) em intervalos de tempo bem definidos utilizando o software de edição de imagens ImageJ, e feita a sincronização com as medidas das velocidades do foguete em tempo real, utilizando o efeito Doppler, onde os sons são captados pelo microfone instalado no foco da parábola (figura 5a) e analisados via software livre Audacity.

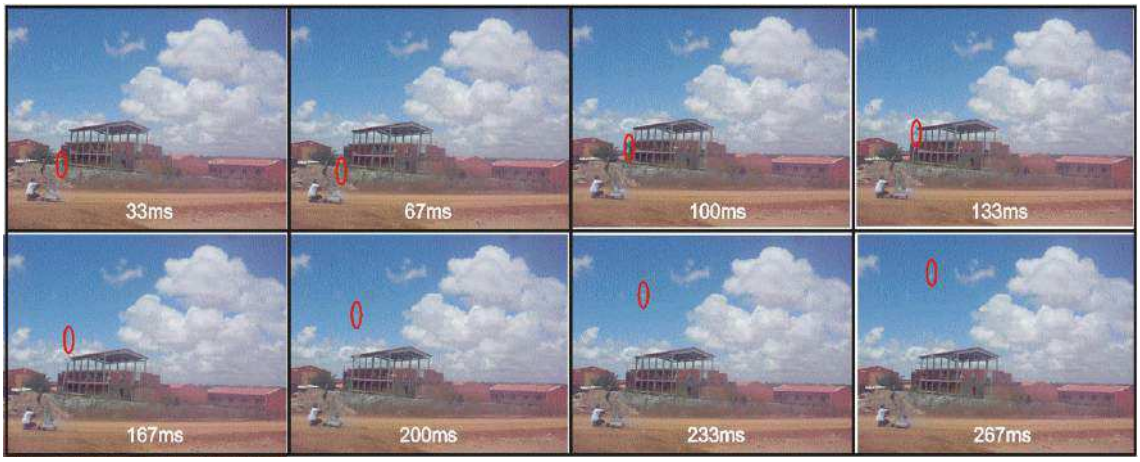


Figura 9: Sequência de quadros editados do vídeo do lançamento.

Software de edição de imagens ImageJ é de uma importância crucial para este trabalho, uma vez que possibilita o confronto com as velocidades obtidas via efeito Doppler.

2.3.4 Transformada Rápida de Fourier

A transformada de Fourier denominada assim em homenagem ao físico francês Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), assume que o sinal é contínuo com uma extensão infinita, para o qual a transformada é desejada. No entanto, imagens são frequentemente descontínuas. Para analisar dados de pixel de uma imagem descontínua foi desenvolvida a versão discreta da transformada de Fourier ou transformada rápida de Fourier (Fast Fourier Transform - FFT) (OPPENHEIM; SCHAFER, 1998, pg. 541). A transformada de Fourier representa a soma de uma série de formas de ondas senoidais com diferentes amplitudes, fase e frequências (Figura 10).

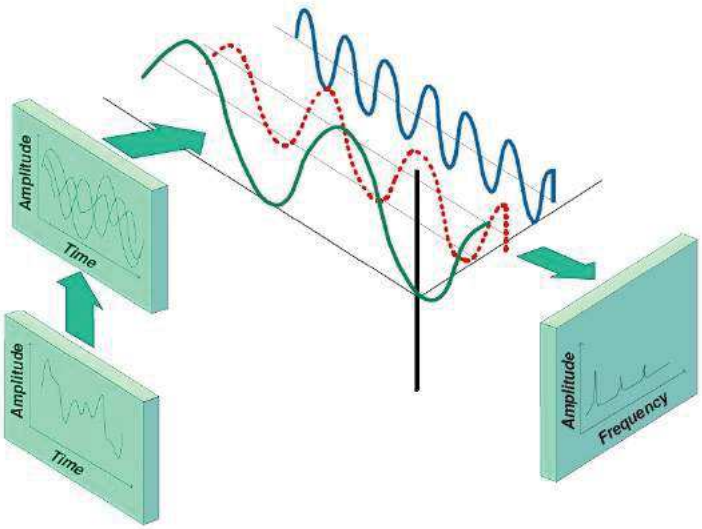


Figura 10: Informação de um sinal em seu domínio do tempo.
Fonte: Martins, 2010, p.20

2.3.5 Análise dos dados

Na Figura (11) temos o espectro do sinal sonoro completo do lançamento, onde é possível identificar claramente o momento exato em que o foguete é propelido e as frequências natural e aparente do emissor sonoro.

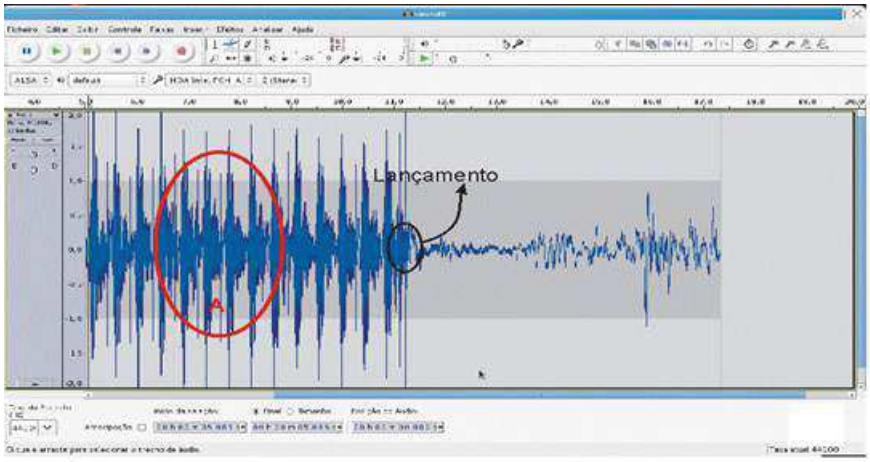


Figura 11: O espectro do sinal sonoro completo do lançamento.

Na Figura (12) podemos perceber com mais detalhes a região (A) indicada na Figura (11), é a parte do espectro que detalha a frequência padrão do emissor sonoro.

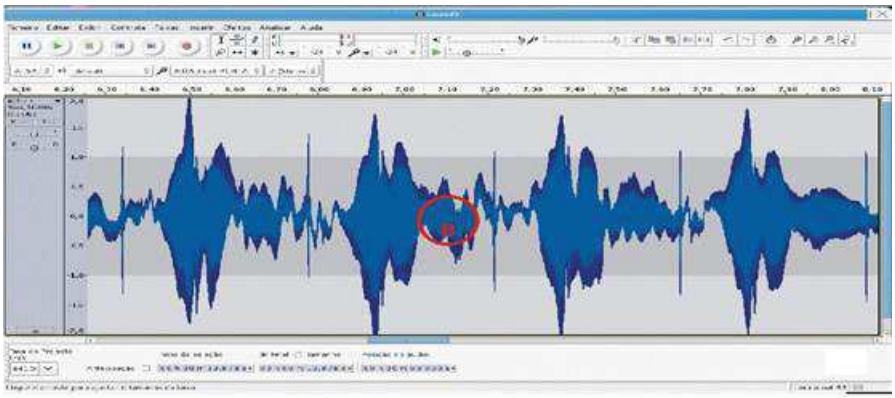


Figura 12: Região A da fig. (6) detalhada.

A Figura (13) mostra a contagem do número de períodos completos para determinação da frequência padrão.

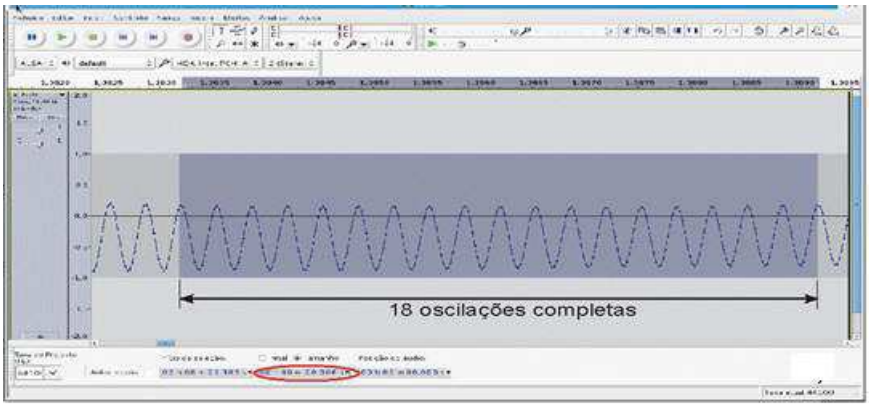


Figura 13: Contagem do número de períodos completos.

Contudo , contar o número de períodos é uma tarefa complicada quando a variação no espectro é pequena, pois não temos ciclos comletos. Assim é conveniente usar o espectro de frequências dada pela transformada de Fourrier.

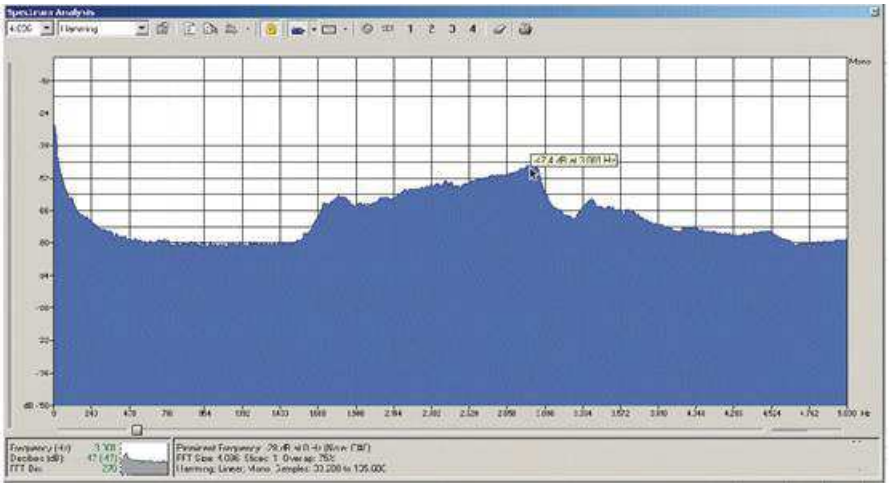


Figura 14: Espectro de frequências.

2.3.6 Medida da velocidade do foguete

Depois de editar o vídeo do lançamento, salvando-o em uma sequência de imagens (Figura 9) e sincronizando com o áudio (Figura 11) é possível estimar em cada quadro a altura do foguete, o tempo de voo e sua velocidade. Temos então um parâmetro de referência para comparar com a velocidade medida via efeito Doppler. A medida via efeito Doppler é efetuada utilizando a edição do áudio sincronizado com o vídeo e o espectro de frequência obtido em cada intervalo de tempo. A frequência medida é o valor médio dentro do intervalo de tempo, visto que o foguete continua a acelerar, onde a velocidade do foguete será dada por:

$$v = v_{som}\frac{f_0 - f_{ap}}{f_{ap}} \tag{2.46}$$

Visto que transformada de Fourier é uma das ferramentas mais utilizadas no processamento digital de dados, ou seja, é largamente empregada em processamentos de sinais, sons e imagens. Assim fazendo uso dessa ferramenta, é possível ter uma visão do sinal sonoro a ser analisado no domínio do tempo.

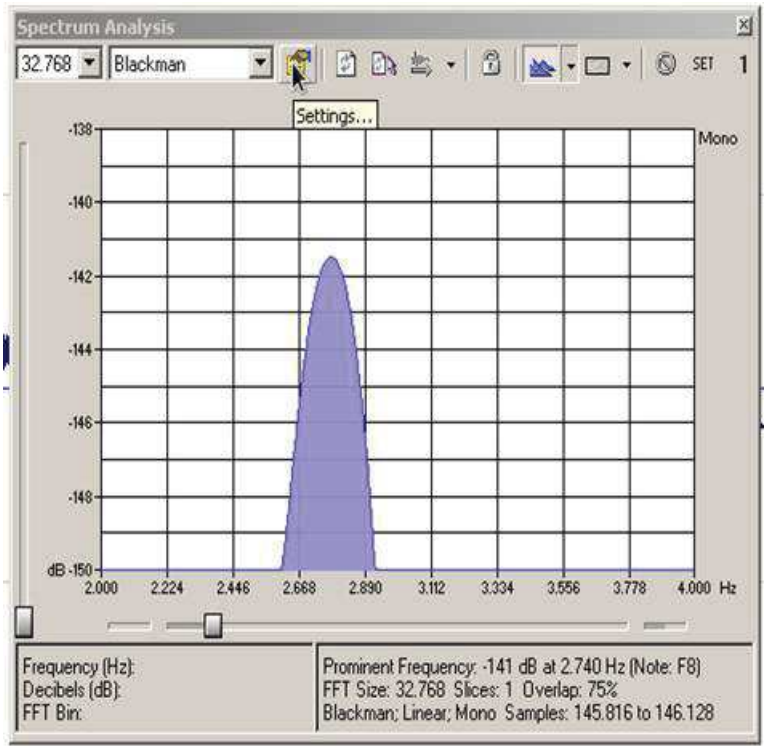


Figura 15: O espectro obtido é a transformada de Fourier do sinal sonoro no domínio do tempo.

Este é o pico caracteristico da frequencia emitida no intervalo de 200 ms. O mesmo é feito para os demais intervalos de tempo.

Os resultados encontrados para a medida da velocidade usando o efeito Doppler (Tabela 1) são próximos dos resultados encontrados pelas análises dos quadros do lançamento. A tabela 1 mostra um valor máximo para a velocidade de 32 m/s e acontece quando o foguete ejeta toda a massa de água que continha. Em seguida a resistência do ar e a força peso dominam o sistema, desacelerando-o.

tempo de voo (ms)	frequência (Hz)	velocidade (m/s)
33	2809	23
67	2809	23
100	2802	24
133	2788	26
167	2784	27
200	2740	32
233	2750	30
267	2760	29

Tabela 1: tabela dos resultados encontrados para as velocidades.

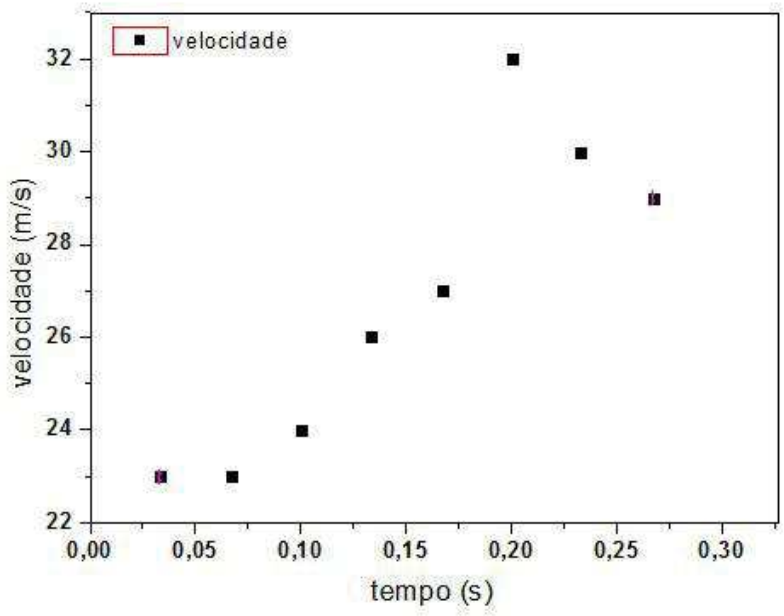


Figura 16: Resultado da velocidade via efeito Doppler.

A velocidade do foguete foi medida por efeito Doppler e mostra que este acelera de 0 a 115km/h em apenas 200ms.

2.4 Estudo do alcance em função da pressão

A análise do alcance (R) do foguete em função da pressão (P) através do gráfico RxP, surge como mais uma forma de estudo dos aspectos físicos do comportamento do projetil durante o lançamento. A importância da utilização de gráficos na análise de atividades experimentais decorre do fato de nos permitir uma imediata visualização do comportamento de uma grandeza (variável dependente) em relação à outra (variável independente).

Os gráficos estão entre as principais maneiras de se apresentar e analisar dados na Física, um gráfico bem feito é talvez a melhor forma de apresentar os dados experimentais, é uma ajuda visual para a argumentação apresentada e para que o leitor entenda rapidamente as evidências experimentais.

A partir do gráfico RxP busca-se apresentar dados experimentais que visa produzir uma impressão mais simples e rápida do fenômeno estudado neste projeto. Este estudo vai nos permitir investigar como foguetes propulsionados com diferentes quantidades de pressão interna contribuem ou afeta o quão longe será o alcance de cada projetil (mesmo

com as forças de resistência do ar). A distância que um foguete viajará está relacionada com a quantidade de ar pressurizado na câmara de compressão do foguete (Figura 17a) e as propriedades do mesmo, quando for lançado. O ar pressurizado no interior do foguete empurra para fora da extremidade aberta (bocal da garrafa), fazendo com que o foguete seja impulsionado. A força que os produtos exercem para escapar é a "ação"; o movimento do foguete para frente é a "reação"(Figura 17b) previsto pela Terceira Lei de Newton.

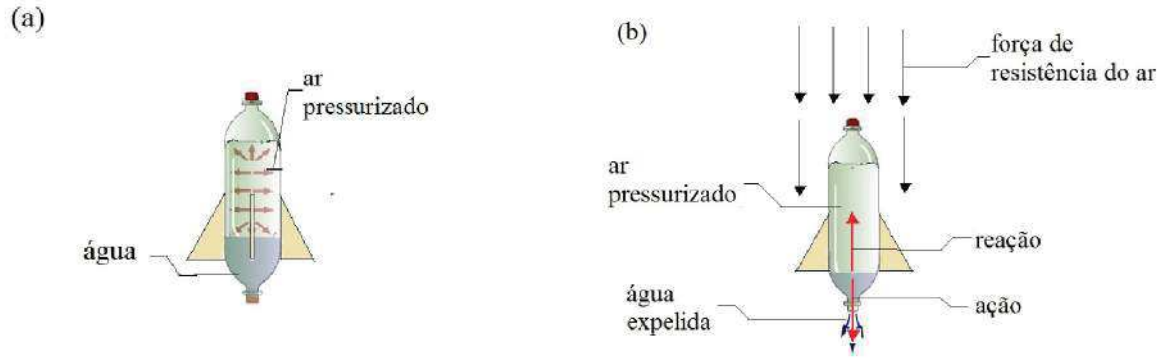


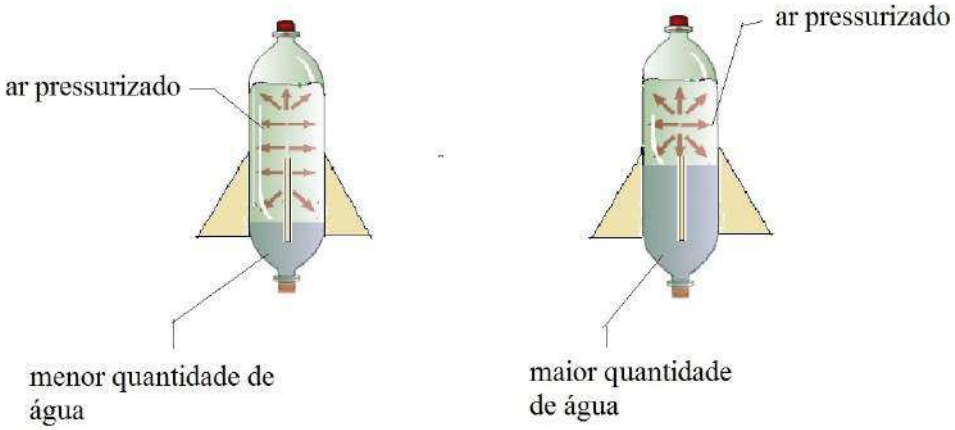
Figura 17: (a) na eminência do lançamento e (b) durante o voo.

Contudo, a magnitude do empuxo produzido está relacionada com a massa e a velocidade dos produtos (água) expelidos pelo bocal. Logo, quanto maior a pressão dos produtos expelidos, maior o empuxo. Utilizando a pressão de 80 psi como máxima por motivos de segurança , ou seja, para garantir que a garrafa não estoure, mesmo sabendo que a própria suporta uma pressão maior, então, mantendo o volume de água do foguete e ângulo de lançamento constantes, é esperado que o alcance seja maior à medida que aumentar a pressão interna do foguete.

2.5 Estudo do alcance em função do volume

Conforme o projeto foi sendo desenvolvido, a partir dos lançamentos mantendo volume e ângulo constantes percebeu-se que dependendo da pressão utilizada, o alcance do foguete variava (mesmo com as forças de resistência do ar). Vendo também que a quantidade de água é fundamental para o desempenho do foguete, surgiu o questionamento sobre qual seria o comportamento do foguete se fossem mantidos pressão e ângulo de lançamentos constantes e variando o volume de água no interior da câmara de compressão.

De acordo com a Eq. (2.37) o foguete propulsionado a água e ar comprimido que deve apresentar o melhor desempenho será o que tiver o menor volume de água, ou seja, com uma menor quantidade de água resultaria em um espaço livre maior na câmara de compressão do foguete (Figura 18), consequentemente em uma pressão resultante maior, no entanto, não é exatamente assim, existem outros fatores que contribuem para o desempenho do projetil durante o lançamento. Fatores esses que envolvem as três leis de Newton.



Eq. (2.37) $P = Po(Vo / V)^{\gamma}$

P = Pressão resultante
Po = Pressão inicial dentro da garrafa
Vo = Volume de ar dentro da garrafa com água
V = Volume da garrafa
γ = 1,4

Figura 18: Esquema da pressão e volume na câmara de compressão do foguete.

A tendência que um corpo possui de permanecer em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme, quando não está sujeito à ação de forças ou sujeito a forças cuja resultante é nula, é entendida como uma propriedade que os corpos possuem denominada Inércia, primeira lei de Newton. No entanto, quanto maior for à massa de um corpo maior a sua inércia, ou seja, maior é sua tendência de permanecer em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme. Portanto, a massa é a constante característica do corpo que mede a sua inércia. De acordo com esta lei que está diretamente ligada a massa dos produtos utilizados no lançamento de foguete propulsionado a água e ar comprimido (mesmo sabendo que o foguete não está livre da ação de forças), é razoável imaginar que o foguete com o maior volume de água deve atingir os resultados esperados.

Considerando a segunda e terceira leis de Newton e delas derivando a equação 2.40, o empuxo do foguete está relacionado a sua massa e à taxa temporal com que perde esta massa.

Quando o bocal da garrafa se desprender da plataforma, o ar comprimido empurrará a água para o exterior em grande velocidade, gerando uma força para baixo e no mesmo instante uma força de reação para cima "Princípio da Ação e Reação", que é justamente a causa para o movimento do foguete. Com esta ótica, o foguete que apresentará melhor desempenho será o de maior massa para ser expelida, pois causará um par de forças de "ação e reação"por mais tempo.

Diante dessas análises, surge como perspectiva encontrar uma quantidade de água ideal para contrabalancear estes fatores. A partir do estudo baseado no tratamento de informações do experimento, apresentar um gráfico do alcance em função do volume para melhor demonstrar os dados relacionados com a pesquisa. Sobretudo, analisar qual é o comportamento do projetil nos lançamentos mediante estas condições.

3 Procedimentos Experimentais

3.1 O Aparato Experimental

Nesta seção vamos apresentar de forma acessível todo o aparato experimental utilizado para realização e coleta de dados do trabalho.

- Aparato experimetal utilizada nos lançamentos:

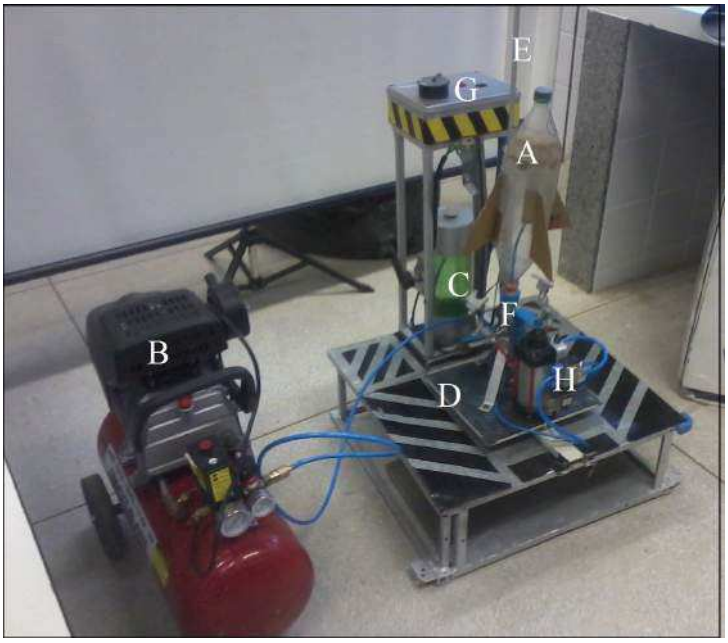


Figura 19: plataforma de lançamentos.

Portanto, temos na Figura 19 uma plataforma de lançamentos, onde **A** é um foguete experimental a ser lançado, **B** o compressor utilizado para pressurizar o foguete, **C** reservatório de água, **D** medidor de angulação, **E** guia de direcionamento de voo e **F** indica o disparador pneumático remoto, **H** indica a posição das válvulas de controle de fluxo e **G** a eletrônica de lançamento.

3.1.1 Montagem do Foguete

Material utilizado

Os materiais utilizados nesta montagem não são os únicos que podem ser usados para a construção do foguete, ou seja, o construtor pode utilizar outro material que entenda ser melhor e até possa facilitar seu trabalho. São necessários para esta montagem:

- duas garrafas descartáveis de refrigerante (PET) de dois litros. Utilize somente PET, pois este material pode suportar altíssimas pressões internas.
- papelão.
- fita adesiva transparente.
- tesoura.
- estilete
- régua

Construindo o Foguete

As duas garrafas PET são muito importantes na construção do foguete, pois serão utilizadas para formar o corpo do foguete, que é composto pela câmara de compressão e pela ogiva, região frontal do foguete.

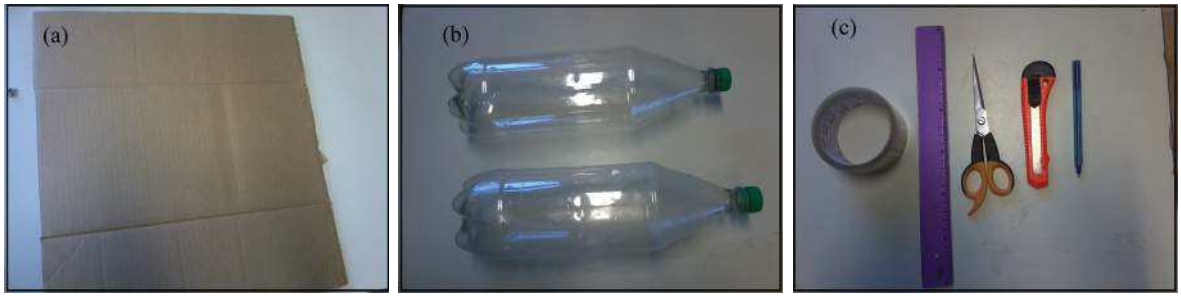


Figura 20: (a) papelão, (b) duas garrafas PET e (c) fita adesiva, régua, tesoura, estilete e caneta.

- Corte uma das garrafas a 15 ou 20 cm da boca.

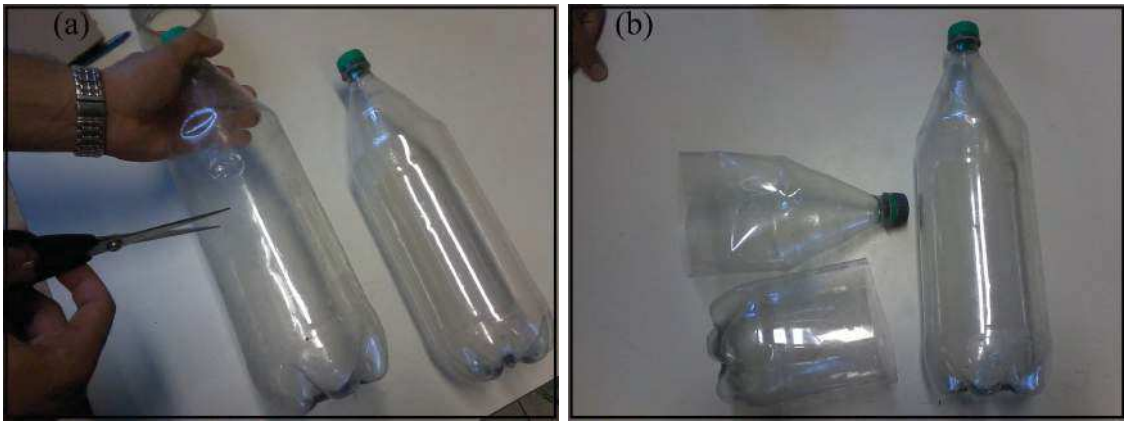


Figura 21: (a) cortando a garrafa e (b) garrafa cortada.

Note que, para a câmara de compressão utilizaremos uma garrafa inteira sem alterações. Pois é a parte do foguete em que fica contida a água (o combustível). Para a parte frontal do foguete, utilizaremos apenas a parte de cima da garrafa, cônica, como mostra a Fig. 21b.

- Encaixe a parte cônica na garrafa inteira.

Figura 22: encaixando a parte frontal do foguete.

Essa parte frontal é a ogiva e tem a função de diminuir o atrito do ar durante o voo do foguete, também fornecendo ao mesmo um formato mais aerodinâmico.

- Agora, vamos fazer as aletas que servem para estabilizar o voo, a área grande das aletas mantém o centro de pressão atrás do centro de massa dando mais estabilidade.

Vamos cortar três pedaços de papelão com as seguintes dimensões indicadas na Figura 23:

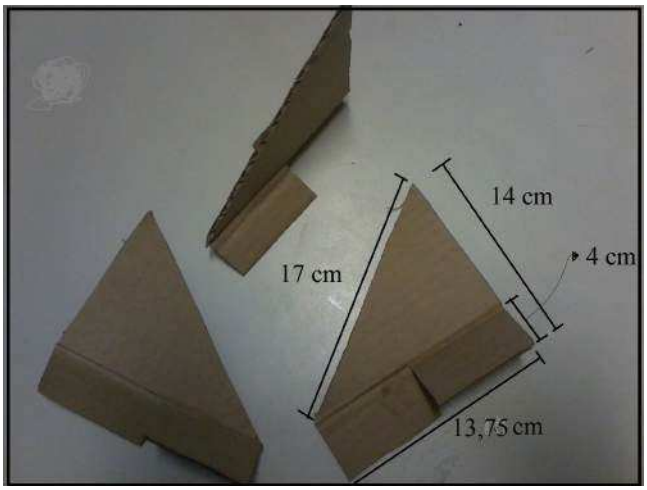


Figura 23: aletas prontas.

- As divisões marcadas à caneta são para fixar as aletas à garrafa, nelas, deverá ser feito cortes, e dobrá-las como indica a Figura 23:

- Cole as aletas na parte de cima da garrafa inteira, como mostra a Figura 24. Elas deverão ficar a uma mesma distância uma da outra, 120 graus de distância. Use fita adesiva para fixa-las bem:

Figura 24: (a) e (b) colando as aletas no foguete.

- Agora temos o foguete pronto para ser utilizado.

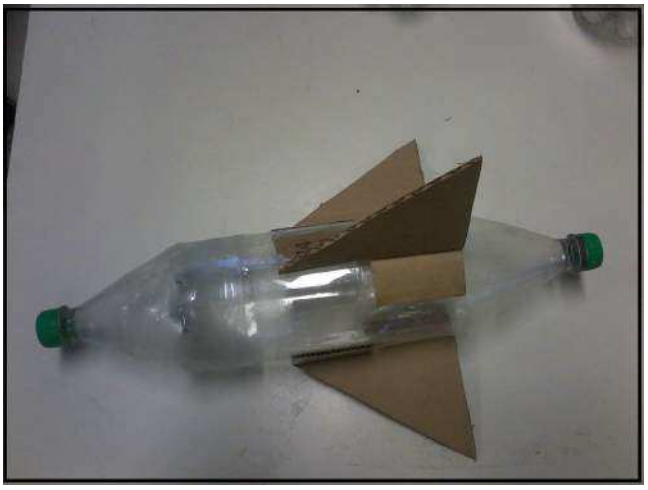


Figura 25: foguete pronto.

- Agora vejamos o esquema de montagem do foguete em um diagrama.

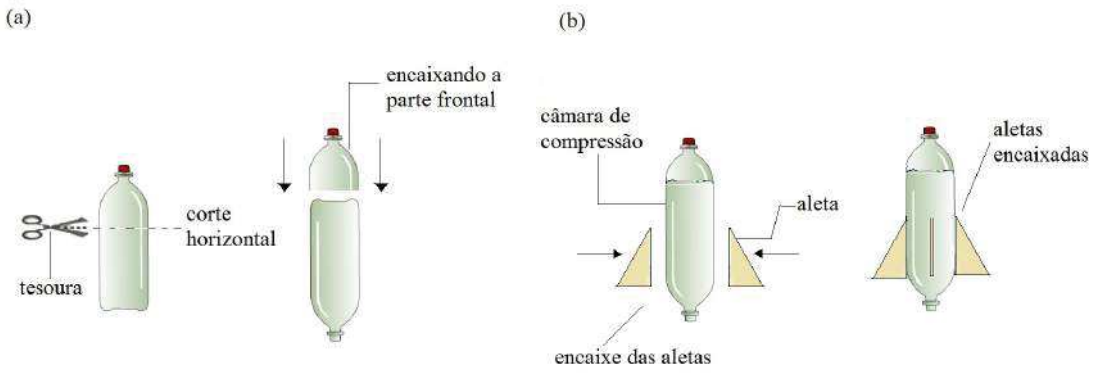


Figura 26: montagem do foguete.

Se todos esses procedimentos descritos até o momento forem realizados com sucesso, o foguete estará pronto, como mostra a Fig. 25. Nada impede a utilização de garrafas PET de outros formatos, mas optamos por garrafas de paredes retas por um motivo que descreveremos na seção sobre a estabilidade do foguete.

3.1.2 Sistema de Propulsão do Foguete

Um foguete precisa de um mecanismo especial que permita a realização do voo, que é o sistema de propulsão. Um sistema desse tipo, por força de ação e reação Terceira Lei de Newton, produz um jato de exaustão para baixo, gerando um impulso que empurra o foguete para cima, ou seja, a água é exaurida pelo bocal ejetor em um jato forte, e o foguete é impulsionado na direção oposta.

O sistema de propulsão utilizado é composto pela plataforma de lançamentos Fig. 27 e o aparato de pressurização que por sua vez é conectado ao reservatório de água Fig. 28a e a câmara de compressão do foguete Fig. 28b .

Figura 27: plataforma.

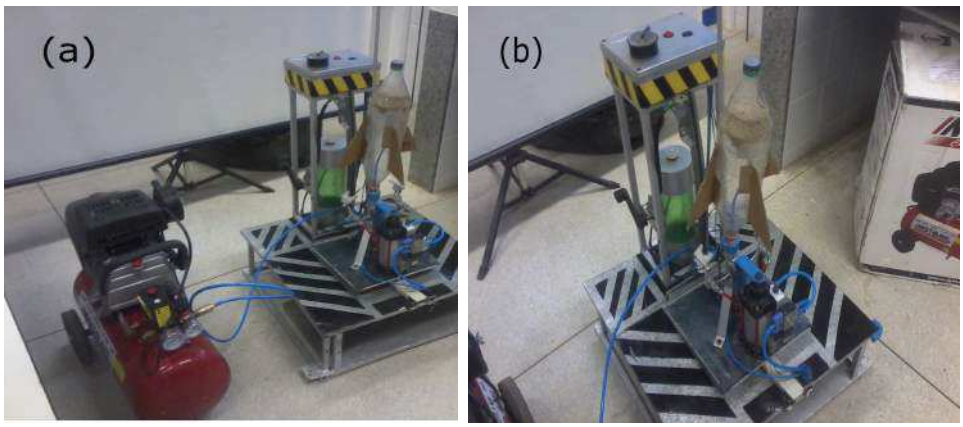


Figura 28: (a) aparato de pressurização conectado ao reservatório de água (b) foguete pronto para ser pressurizado.

É importante salientar que este sistema de propulsão nos permite lançar o projetil exatamente no momento em que for desejado. Perceba que esse é um aspecto importante para o lancamento, uma vez que o controle do volume de água e pressão interna na câmara de compressão do projetil são fundamentais para obtenção dos dados dos lançamentos. Vejamos a Figura 29 do sistema de liberação do foguete.

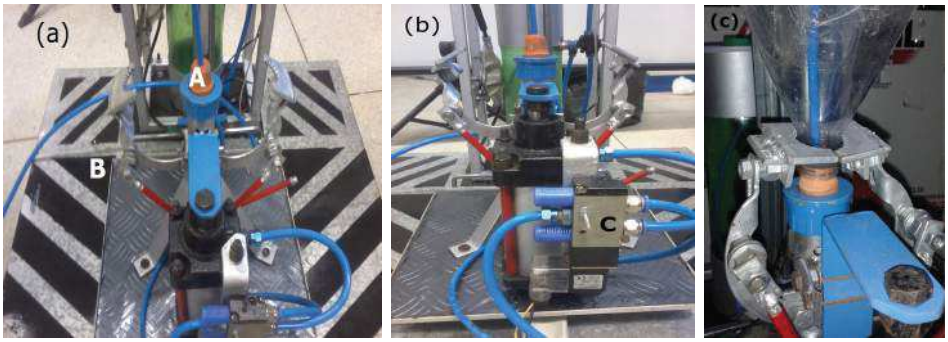


Figura 29: Sistema de disparo do projetil.

Na Figura 29a, **A** indica rolha onde encaixamos o bocal ejetor do projetil, **B** indica as presilhas que são utilizadas para prender o projetil e garantir que seja liberado apenas no momento desejado e na Figura 29b, **C** indica as válvulas de controle de fluxo. Vejamos como fica o foguete no sistema de disparo do aparato experimental.

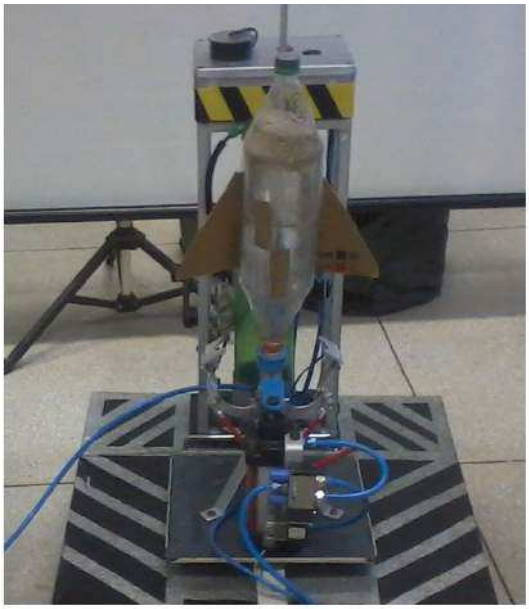


Figura 30: Sistema de disparo com o foguete.

3.1.3 Estabilidade do Foguete

Um passo importante no lançamento de foguetes de garrafa PET é a estabilidade do mesmo, no entanto, construir um foguete eficiente é apenas parte do processo em se produzir um protótipo que voe de forma estável, ou seja, que não sai do curso ou gire de modo violento. Depende de dois pontos fundamentais: o centro de massa (CM) e o centro de pressão (CP).

Para um dado corpo, o centro de massa é a posição média de toda a massa que constitui o objeto (HEWITT, 2002, p.138). Sua posição pode ser obtida pela seguinte expressão (HALLIDAY, 2008, p.219).

$$\vec{r}_{CM} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}_i \tag{3.1}$$

onde M é a massa total, m_i é a massa da i-esima partícula e $\vec{r}_i$ é o vetor posição da i-esima partícula dado por:

$$\vec{r}_i = x_i\mathbf{i} + y_i\mathbf{j} + z_i\mathbf{k} \tag{3.2}$$

onde $\mathbf{i}, \mathbf{j}\, e\, \mathbf{k}$ são vetores unitários que apontam, respectivamente no sentido positivo dos eixos x, y e z. De forma análoga, $\vec{r}_{CM}$ é o vetor posição do centro de massa (CM) definido por:

$$\vec{r}_{CM} = x_{CM}\mathbf{i} + y_{CM}\mathbf{j} + z_{CM}\mathbf{k} \tag{3.3}$$

com,

$$x_{CM} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i x_i \qquad y_{CM} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i y_i \qquad z_{CM} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i z_i \tag{3.4}$$

Perceba que podemos explicitar somente a altura do centro de massa o y_{CM}, pois sabemos que o mesmo estará localizado no eixo central do foguete, em virtude da sua simetria radial. Como uma garrafa PET contém muitas partículas (átomos) podemos aproximá-la por uma distribuição contínua de massa, as partículas nesse caso se tornam elementos infinitesimais de massa dm, e as somas da Eq. 3.4, se tornam integrais e as coordenadas do centro de massa são definidas pelas seguintes equações (HALLIDAY,

2008, p.219):

$$x_{CM} = \frac{1}{M}\int x\,\mathrm{d}m \qquad y_{CM} = \frac{1}{M}\int y\,\mathrm{d}m \qquad z_{CM} = \frac{1}{M}\int z\,\mathrm{d}m \tag{3.5}$$

O centro de massa (CM) é o ponto de equilíbrio das forças gravitacionais que agem sobre o foguete e está intimamente relacionado com a massa de cada parte que o constitui. Portanto, trata-se do ponto sobre o qual o foguete se equilibra. Se colocarmos o foguete nesse ponto sobre a lateral de uma régua ele se equilibra, o que significa que metade da massa do foguete esta de um lado e a outra metade da massa do outro lado como mostra a Figura 30. Esta é uma forma mais simples de se encontrar o centro de massa.

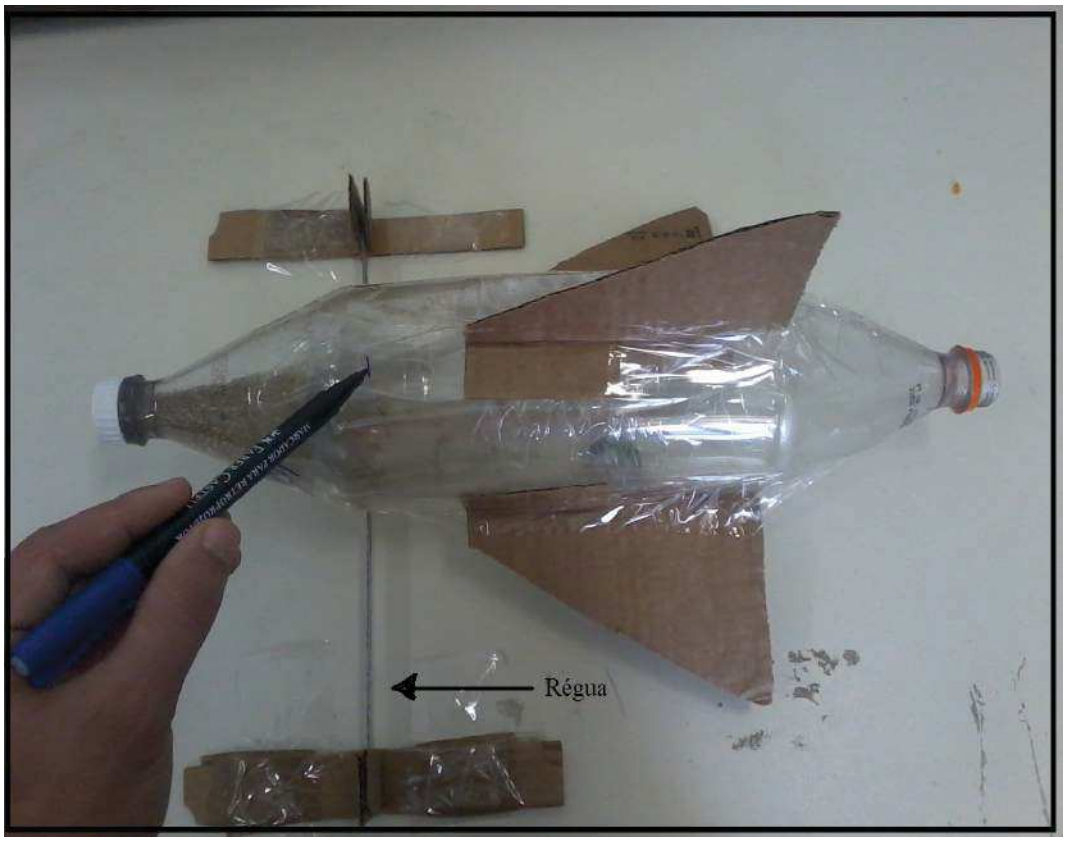


Figura 31: Equilibrando o foguete no Centro de Massa.

É possível também encontrar o CM, amarrando uma argola de barbante no meio do foguete e amarrando um segundo barbante na argola para que seja possível segurar o foguete pendurado de forma que possibilite escorregar a argola até encontrar o ponto de equilíbrio do foguete como mostra Figura 32.

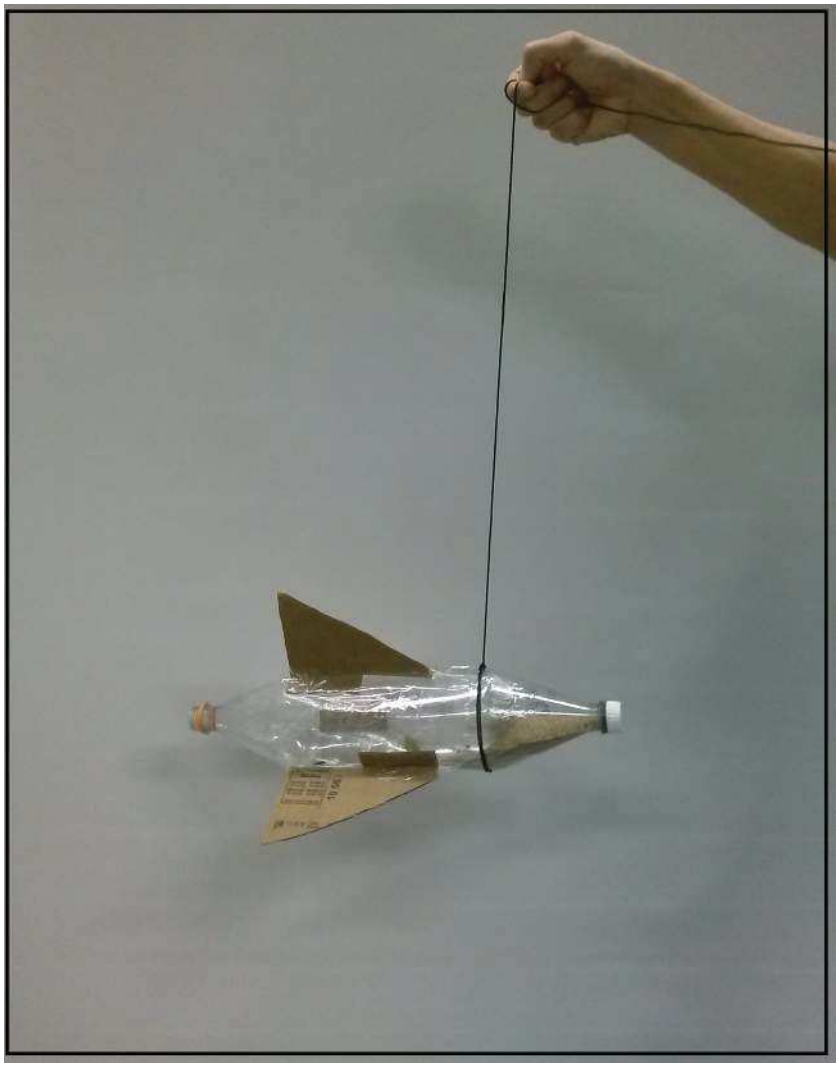


Figura 32: Equilibrando o foguete no CM com um barbante.

Por sua vez o centro de pressão (CP) é definido como o ponto onde atua a resultante das forças aerodinâmicas, as quais o foguete está sujeito. Trata-se do ponto de equilíbrio dos torques gerados por essas forças que o foguete sofre durante o voo. Diferentemente do CM o CP não depende da massa do foguete, mas das partes que constitui o foguete, área, formas e textura do material.

Uma maneira interessante de se calcular o CP é utilizando o *ImageJ* que é um software livre usado para análise e processamento de imagens com várias ferramentas que podem ter utilidade em diversas áreas de conhecimento. Neste processo o software calcula o CM da projeção do foguete que nesta situação corresponde ao CP (Figura 33). Outra maneira projetando o foguete em um papel e dividir suas partes em regiões triangulares e retangulares para tornar mais simples a obtenção do CP como mostram as Figuras 34.

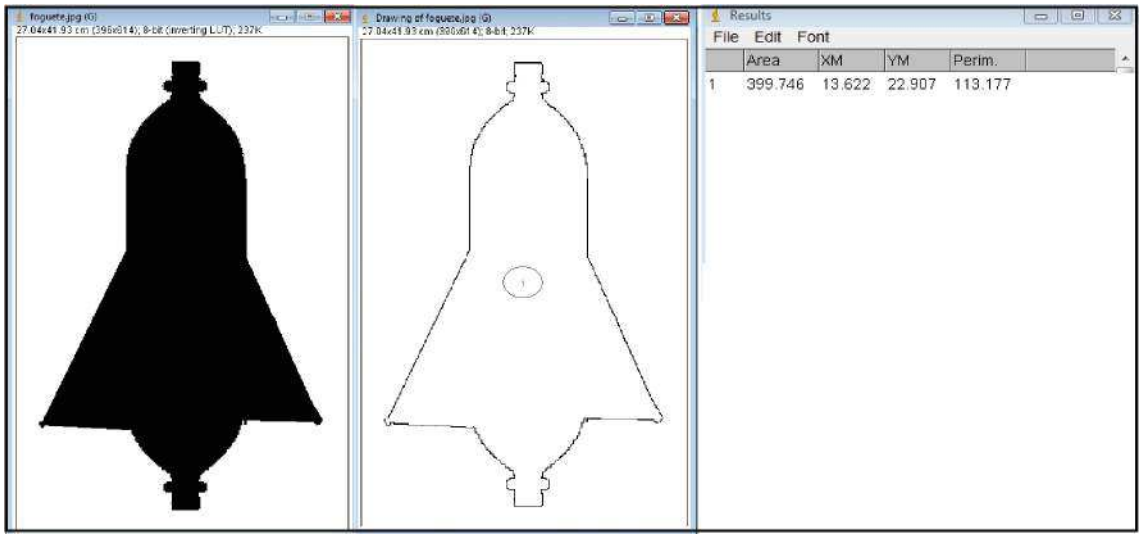


Figura 33: Utilizando o software livre ImageJ para calcular o CP do foguete.

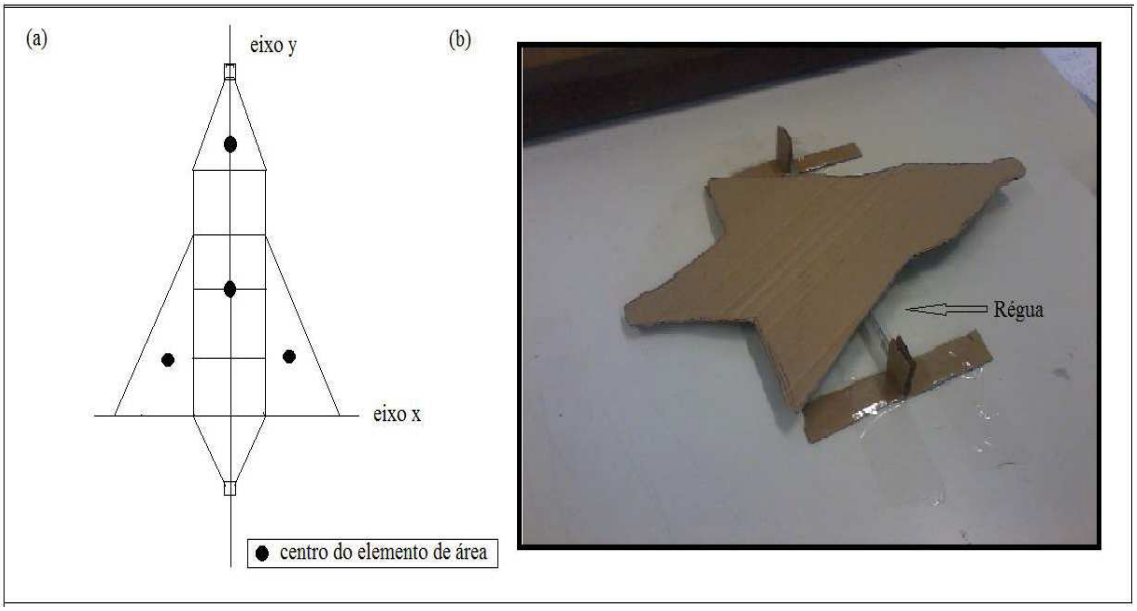


Figura 34: (a) Projeção do foguete e divisão em regiões retangulares e triangulares para facilitar a obtenção do CP.(b) Projeção do foguete em um pedaço de papelão para encontrar seu CM; isto fornecerá uma idéia da posição do CP do foguete, que neste caso coincide com o CM do papelão.

Mas em todo caso a coordenada y do centro de pressão (CP) é dada de maneira análoga a do CM de acordo com a seguinte equação 3.6:

$$y_{CP} = \frac{\sum_i y_i A_i}{\sum_i A_i} \tag{3.6}$$

onde y_i é a coordenada do centro do elemento de área retangular ou triangular i, A_i sua área correspondente e $\sum_i A_i$ a soma das áreas dos elementos formados pela projeção do foguete no papel. Note que, novamente foi feito uso do argumento de simetria para justificar a ausência do cálculo das coordenadas x e z do CP.

De forma semelhante como foi feito para obter o CM, podemos fazer também uma aproximação para obter o CP sem utilizarmos a equação 3.6. Podemos projetar a o foguete em um pedaço de papelão e encontrar seu CM (veja a Figura 34 (b)), nesta situação o centro do elemento de área que corresponde ao CP do plano coincide exatamente com seu CM (CM do papelão). É importante ressaltar que, esse tipo de aproximação, no entanto, seria mais satisfatória se os materiais que constituem o foguete tivessem a mesma densidade, note que, não é o caso neste experimento, mas podemos fazer uso dessa aproximação para nos fornecer uma boa ideia da posição desse ponto de equilíbrio sem que haja um maior trabalho.

As posições dos centros de massa (CM) e pressão (CP) são muito importantes na estabilidade do foguete, o centro de massa (CM) deve está próximo a ogiva do foguete e o centro de pressão (CP) deve está um pouco abaixo do centro de massa (CM) para que ele realize uma trajetória estável durante o voo, perceba que essa relação entre o CP e o CM (Figura 35)acontece em virtude da parte mais baixa do foguete ter uma area maior por conta das aletas.

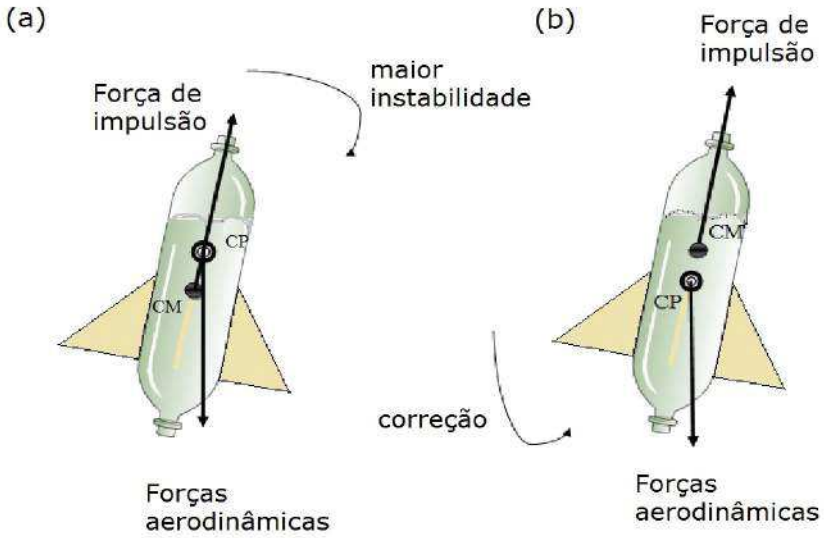


Figura 35: (a) relação incorreta entre o CM e o CP causando maior instabilidade no foguete durante o voo (b) relação correta entre o CM e o CP causando a correção da estabilidade durante o voo.

Quando o foguete voa, a força de Empuxo do foguete é dada na direção vertical na posição do seu centro de massa, enquanto as forças aerodinâmicas agem no sentido contrário, para baixo, no ponto em que se encontra o seu centro de pressão, então, qualquer

perturbação pode fazer o foguete girar em torno de seu centro de massa, caso seu centro de pressão esteja localizado acima ou no mesmo ponto do centro de massa, as forças aerodinâmicas irão contribuir para o foguete rotacionar em torno do centro de massa, sem tentativas e pesrspectivas de correção do voo (Fig. 35a). Mas, se a relação entre o CP e o CM estiver correta, ou seja, se o CP estiver localizado próximo a parte inferior do foguete e o CM próximo a parte superior (ogiva), às forças aerodinâmicas irão agir no sentido de manter a direção do foguete fazendo a correção desejada durante o voo e assim mantendo sua trajetória estável (Fig. 35b).

Um passo importante na estabilidade do foguete durante o voo que está atrelado a sua construção e não foi citado na subseção 3.1.1 é o fato de adicionarmos uma massa na ogiva (parte frontal) do foguete como mostra a Figura 36:

Figura 36: massa adicionada a ogiva do foguete.

O fato de adicionarmos essa massa na parte frontal do foguete é muito importante para garantirmos que um voo aconteça de forma estável, fazendo isto o centro de massa (CM) se desloca no sentido da parte frontal do foguete, possibilitando a melhor relação entre o centro de massa (CM) e centro de pressão (CP) , e também é possível imaginar que um corpo com mais massa, portanto, com mais inercia sofre menos com os impactos do ar, conduzindo o foguete por uma trajetória mais comportada depois que perde toda a massa de água.

3.1.4 Plataforma

Um item muito importante no conjunto do lançamento de foguetes de garrafa PET é a base ou plataforma de lançamento que é composta por um compressor de ar comprimido, válvulas pneumo-hidráulicas direcionais, cilindro pneumático, dispositivo de retenção/liberação do foguete por telecomando sem fio, bateria automotiva e eletrônica de controle e dispositivo de desarme do sistema em caso de emergência com liberação do ar comprimido como mostrado na Figura 37. Toda esta estrutura foi financiada e montada em sua maior parte pelo orientador deste trabalho. De forma resumida podemos dividir a plataforma em quatro partes: **A** indica a base, que dá a sustentação ao conjunto; **B** o disparador, onde prende e libera o foguete; **C** o sistema de controle de angulação e **D** a haste, que serve de guia para o direcionamento do projetil.

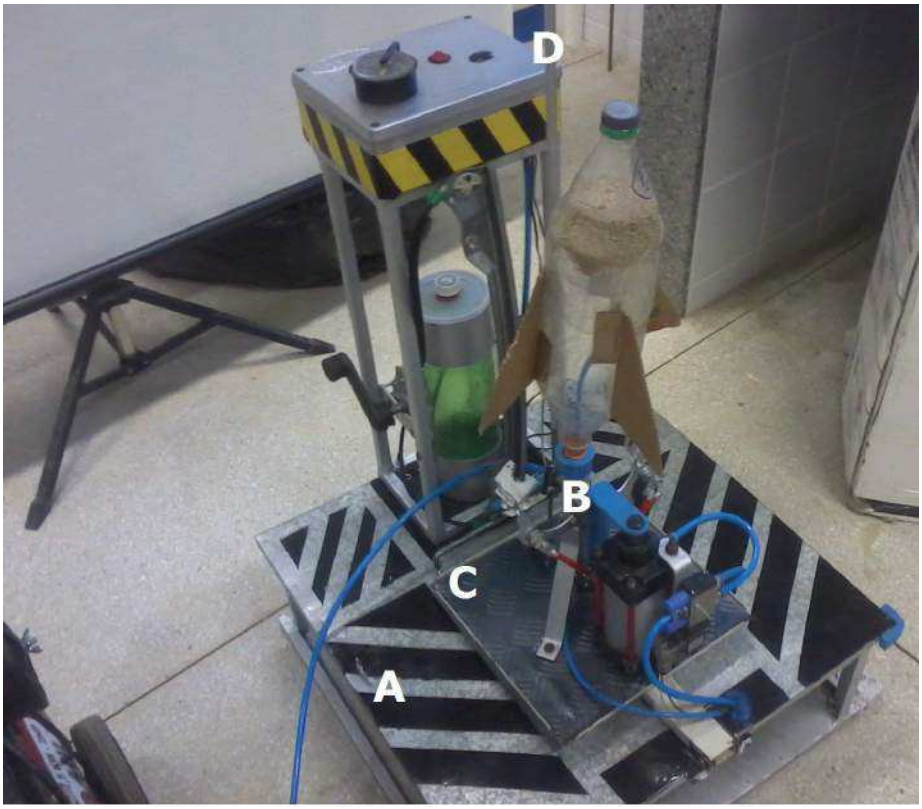


Figura 37: Plataforma atual.

Durante o processo de desenvolvimento desse trabalho a plataforma ou base de lançamentos passou por algumas adaptações (Figura 38) até a forma que temos atualmente como mostra a Figura 37, visando principalmente a otimização dos resultados, sempre a tornando mais sofisticada no que se refere ao controle do maior número de variáveis possível e também em um fácil manuseio de modo a tornar menos trabalhoso o translado com o equipamento até o local dos lançamentos;

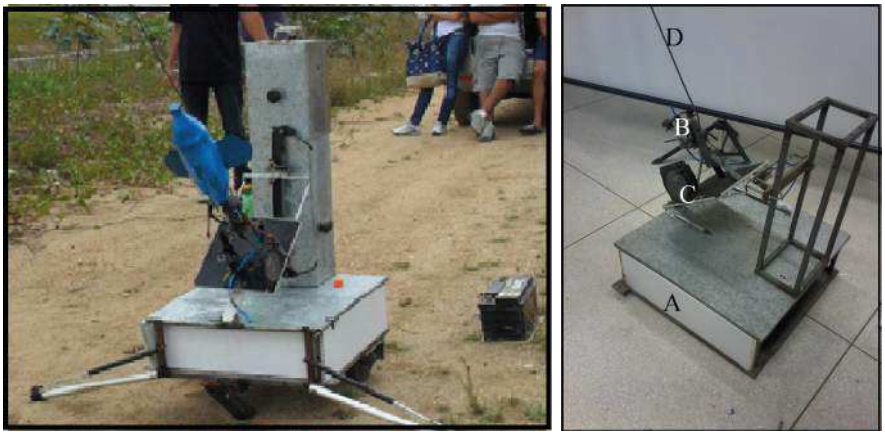


Figura 38: Plataformas versões 1 e 2.

Note que, esse não é o único modelo de plataforma a ser utilizado em lançamentos de foguetes de garrafa PET, pois um modelo como este não é simples de fazer, então, existem outros modelo de plataformas bem mais simples e um custo mais acessível, por exemplo, o anexo A.

3.2 O Lançamento

Com todo o aparato experimental pronto é chegada a hora dos lançamentos; vejamos a forma esquemática do lançamento na Fig. (39):

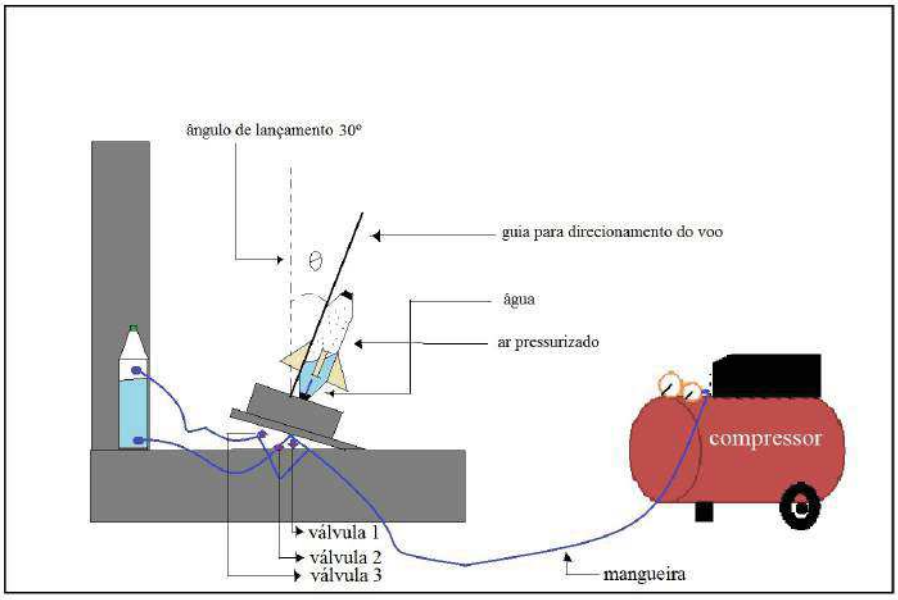


Figura 39: Esquema de lançamentos.

- Preparando o foguete na plataforma para o lançamento.

Figura 40: Preparando o foguete para o lançamento.

Os lançamentos foram filmados a partir do referencial do solo, contemplando toda sua trajetória. A partir dos filmes feitos, montamos uma sequencia de quadros editados do vídeo do lançamento Fig. (41).

Figura 41: Momento do lançamento.

Na Fig. (42) podemos ver o jato de água sendo ejetado do foguete.

Figura 42: Momento do lançamento com a versão 1 da plataforma com uma trajetória de água mais evidente.

4 Resultados

Com todos os procedimentos do capítulo 3 realizados, podemos a partir de agora obter resultados a cerca dos lançamentos. Para a coleta dos dados que apresentaremos neste capítulo, é importante frisar que foram realizados vários lançamentos com foguetes de diferentes massas, pressão e formatos em vários dias (para podermos utilizar os resultados mais coerentes) até chegarmos às configurações que apresentaremos aqui, vejamos o esquema de lançamento na fig. (43).

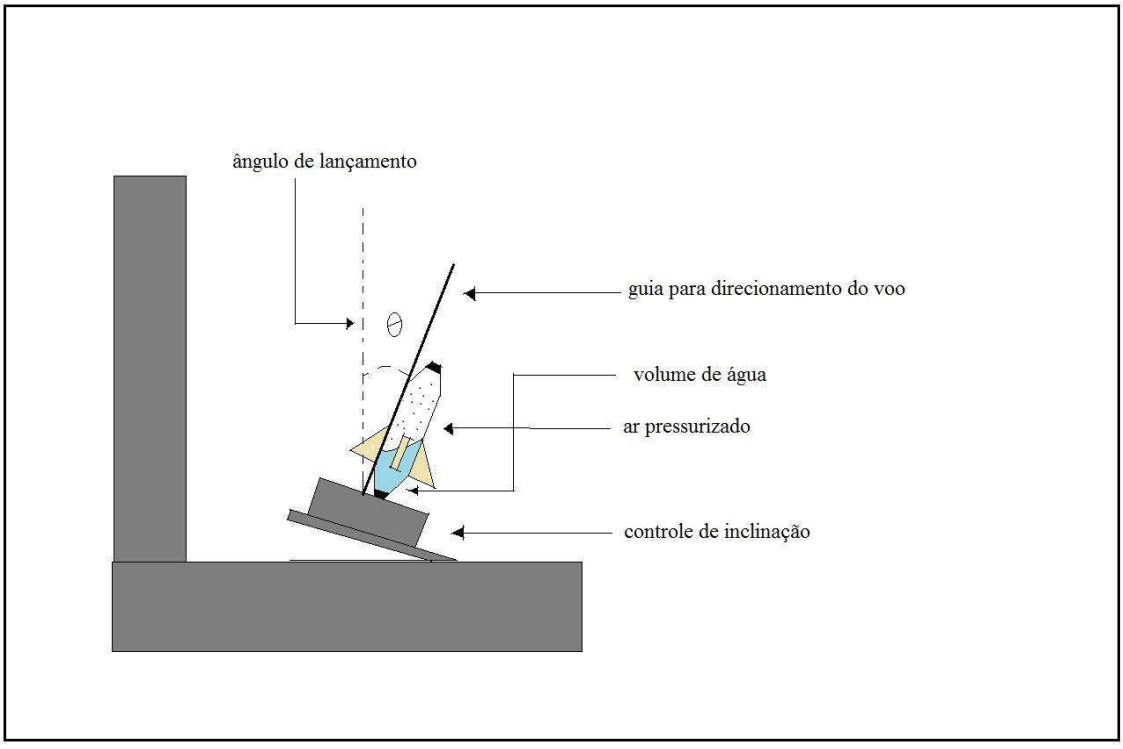


Figura 43: diagrama esquemático da plataforma.

De inicio será apresentado os resultados a respeito do comportamento do foguete no estudo do alcance em função da pressão como citado na seção 2.4.1. Vejamos a tabela (2) com os valores das massas de cada foguete para os lançamentos onde foi variada a pressão interna e mantidos constantes volume e ângulo de lançamentos:

massa (g)	foguetes
264,62	F1
264,41	F2
264,89	F3
264,04	F4
264,23	F5
264,31	F6
264,67	F7
264,15	F8
264,95	F9
264,75	F10

Tabela 2: massas de cada foguete.

Os lançamentos para obter os dados do estudo do alcance em função da pressão aconteceram da seguinte forma; o volume de água dentro do foguete em cada lançamento foi de 500 ml, a angulação de cada foguete foi de 30^o, ou seja, tínhamos ângulo e volume constantes. Outro ponto importante foi utilizar a pressão de 80 psi como máxima para os lançamentos por motivos de segurança , portanto, garantir que a garrafa não estoure, mesmo ciente que a própria suporta uma pressão maior. O foguete F1 foi lançado com uma pressão interna de 80 psi, o segundo foguete o F2 foi lançado com uma pressão interna de 75 psi e assim sucessivamente foi feito com os demais foguetes sempre diminuindo a pressão interna em 5 psi de um foguete para o outro, onde o foguete F10 foi lançado com uma pressão interna de 35 psi, o alcance de cada foguete foi medido utilizando uma fita métrica. Vejamos a tabela (3):

Pressão (psi)	Alcance (m)
80	67,7
75	64,9
70	63,5
65	60,0
60	59,0
55	57,9
50	56,4
45	55,6
40	50,7
35	46,5

Tabela 3: Pressão e alcance.

Pela tabela (3) podemos destacar que o foguete F1 teve o maior alcance 67,7 m e o F10 o menor alcance como era de se esperar de acordo com o que foi exposto na seção 2.4.1. Note que, o foguete ao ser lançado é impulsionado pelo Empuxo que por sua vez, é proporcional a pressão manométrica, se analisarmos a tabela (3), veremos que o F10 tem

menor pressão que o F1.

No gráfico da Fig. (44) é possível perceber que à medida que aumentamos a pressão interna do foguete, o alcance também aumenta. Vejamos o gráfico:

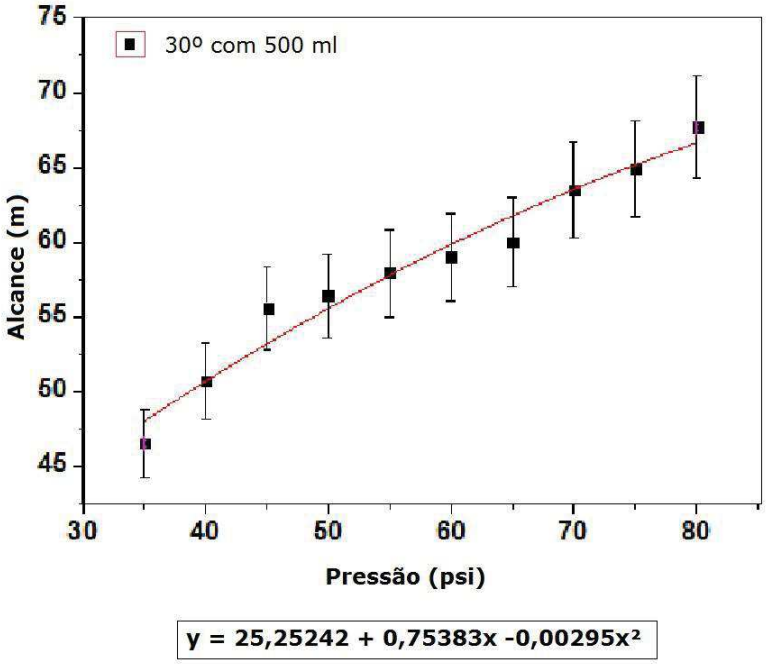


Figura 44: Alcance em função da pressão .

O gráfico na Fig. (44) mostra que dentro do intervalo em que variamos a pressão interna do foguete, houve um aumento no alcance ao passo que aumentávamos a pressão interna do projetil como mostra a tabela (4). As barras de erro são usadas para indicar o erro estimado na medida, que é entre 3% e 5%, em outras palavras, a barra de erro indica a incerteza na medida na leitura do manônetro e na leitura da fita métrica..

foguete	Pressão (psi)	Alcance (m)
F1	80	67,7
F2	75	64,9
F3	70	63,5
F4	65	60,0
F5	60	59,0
F6	55	57,9
F7	50	56,4
F8	45	55,6
F9	40	50,7
F10	35	46,5

Tabela 4: Alcance dos foguete em função da pressão.

Em estudos preliminares fizemos lançamentos variando o volume de água no foguete e mantendo constantes o ângulo de lançamento 30^o e a pressão interna do foguete 80 psi ; vejamos tabela com os valores das massas de cada foguete:

massa (g)	foguetes
264,68	F1
264,40	F2
264,80	F3
264,54	F4
264,63	F5
264,34	F6
264,67	F7
264,55	F8
264,65	F9
264,65	F10

Tabela 5: massas de cada foguete.

Podemos considerar para o nosso projeto que os foguetes possuem aproximadamente a mesma massa, pois essa aproximação está dentro do erro de medida do instrumento utilizado.

- Tabela com os valores dos alcances em função da variação do volume de água no foguete:

Volume (ml)	Alcance (m)
400	69,0
500	75,6
600	77,0
700	78,4
800	77,0
900	85,0
1000	78,0
1100	76,0
1200	72,0

Tabela 6: Volume e alcance.

- Com esses dados obtivemos o gráfico da Fig. (45):

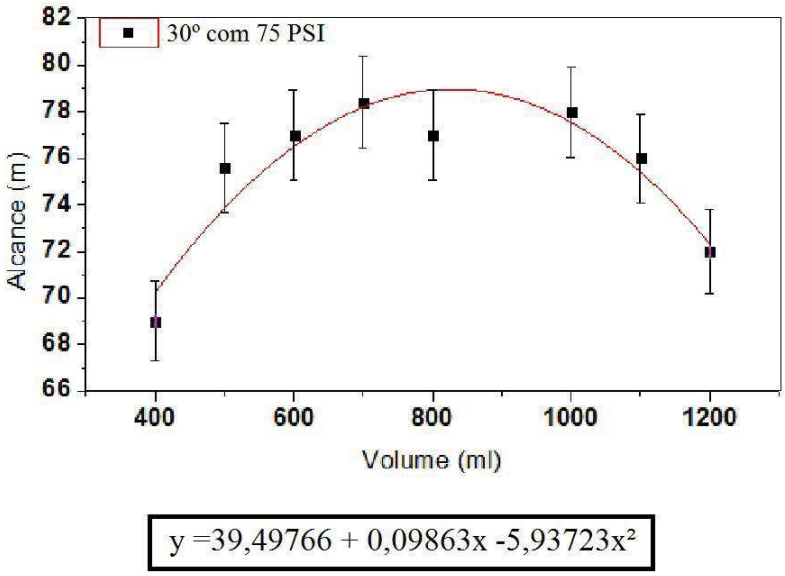


Figura 45: Alcance em função do volume.

Na análise do gráfico da Figura (45) não é possível apresentar de forma segura conclusões sobre o comportamento do foguete durante os lançamentos, no entanto, podemos notar que esse tipo lançamento variando o volume de água na câmara de compressão do foguete e mantendo constantes, ângulo e pressão interna, temos a ligeira impressão que o projetil apresenta uma curva característica, onde o alcance maior seria no intervalo de 600 ml a 900 ml de volume de água. Seria esperado que o gráfico apresentasse uma configuração semelhante à de uma parábola onde a concavidade fosse voltada para cima com o ponto máximo representado pelo maior alcance e consequentemente a quantidade de água ideal, mas não foi possível através desse gráfico concluir que o foguete mediante essas condições de lançamentos apresenta essa curva característica.

Entretanto, atentos para este aspecto realizamos novos lançamentos com o objetivo de verificar se realmente o foguete apresentava essa curva característica no gráfico volume versus alcance. De modo que, os dados dos lançamentos são; pressão interna do foguete 75 psi e ângulo de lançamento 40^o considerendo que em um lançamento com esse ângulo o foguete voa mais baixo , garantimos com isso que a trajetória não seja perturmaba pelas corrrentes de ar cizalhantes superiores e turbulências no local dos lançamentos:

- Tabela com os alcances em função da variação do volume de água no foguete:

foguete	Volume (ml)	Alcance (m)
F1	300	72,0
F2	400	79,0
F3	500	82,5
F4	600	88,0
F5	700	93,6
F6	800	99,0
F7	900	97,0
F8	1000	90,0
F9	1100	83,0
F10	1200	78,0

Tabela 7: Alcance dos foguete em função da volume.

- Diante dos dados da tabela (7) obtemos o gráfico da Figura (45):

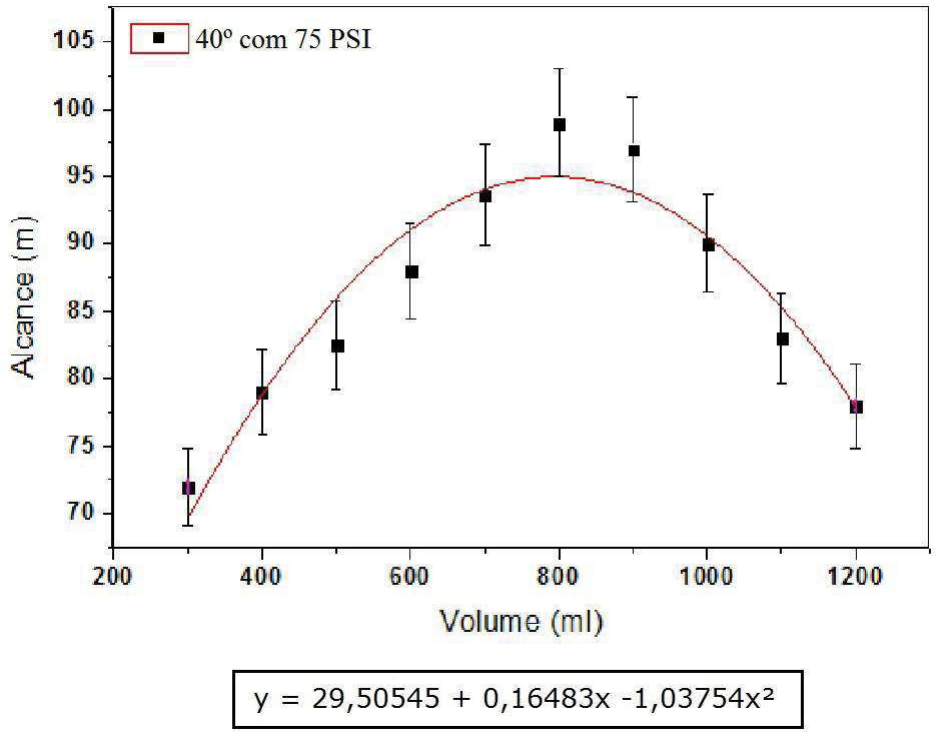


Figura 46: Alcance em função do volume.

Contudo, o gráfico da Fig. (46) corrobora com a observação feita na análise do gráfico da Fig. (45), ou seja, agora de forma mais segura e concisa podemos seguir com a ideia que o foguete mediante essas condições iniciais de lançamento apresenta em um gráfico do alcance em função do volume uma curva característica. Sobretudo, é importante ressaltar

alguns pontos cruciais que de certa forma podem interferir nos ponto apresentados no gráfico da Fig. (46), no momento em que o foguete está realizando sua trajetória o mesmo está sujeito às forças de arrasto, de modo que no voo o foguete sofre com a interferência de correntes de ar, que podem atuar sobre o mesmo na direção do seu movimento ou de forma lateral mudando assim sua trajetória e consequentemente o alcance. Acreditamos que o gráfico apresentado na Fig. (46), poderia nos certificar de forma exata que essa seria de fato a curva característica no gráfico alcance em função do volume, quando mantidos ângulo de lançamento e pressão constantes e variando o volume de água no foguete para obtermos o alcance do projetil, se o foguete não sofresse com a interferência das correntes de ar. O gráfico da Fig. (47) mostra as curvas dos gráficos do alcance em função do volume de água das Figuras 45 e 46.

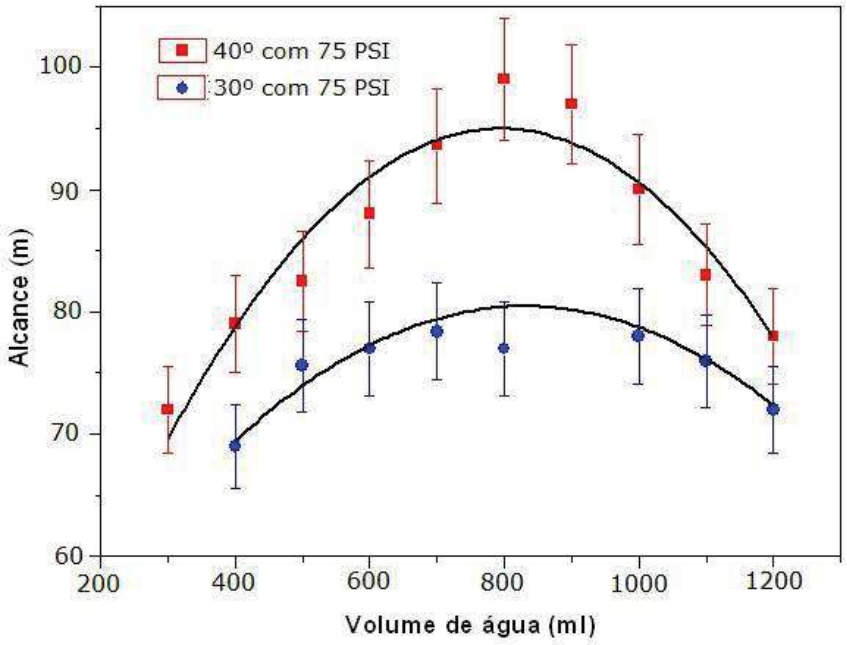


Figura 47: Alcance em função do volume.

O comportamento é do tipo Ax^2, onde x é o volume de água. A condição ótima para lançamento (o que procurávamos com este experimento) está em torno de 800ml de água. Esse valor deverá ser usado para os lançamentos futuros.

Acreditamos que o êxito nesta projeto está em obter um aparato experimental com controle de parâmetros ainda não efetuados neste tipo de lançamento e poder compreender os aspectos físicos e matemáticos do lançamento de foguetes a propulsão a água e ar comprimido, a partir da observação, coleta, análise e interpretação de dados apresentados neste capítulo.

5 Conclusões e Perspectivas

5.1 Conclusões

No nosso trabalho descrevemos de forma detalhada a construção de um foguete de garrafas PET, como funciona o sistema de propulsão e a plataforma de lançamentos. Note que, também mostramos vários fatores que influenciam na estabilidade do foguete durante o voo, como a obtenção e relação entre centro de massa (CM) e centro de pressão (CP). Foi destacada ainda a teoria envolvida durante o lançamento do foguete por meio de algumas aproximações, portanto, mostrando a aplicabilidade de assuntos comuns não apenas na graduação em Física, mas no Ensino Médio também; como as leis de Newton, conceito de momento linear, velocidade de exaustão e movimento de um fluido por meio da utilização do conceito de pressão, a equação de Bernoulli e a equação da continuidade.

Os resultados mostram que o foguete apresenta um determinado comportamento durante os lançamentos, quando variados o volume de água ou a pressão interna: notou-se que variando a pressão interna e mantendo o volume e ângulo de lançamentos constantes o alcance do foguete era proporcional à pressão interna, ou seja, aumentando a pressão (dentro do limite de segurança, neste caso usamos 80 psi como pressão máxima) consequentemente o alcance aumentava. Em outra situação mantendo a pressão e o ângulo de lançamentos constantes e variando o volume de água percebemos que o foguete apresenta num gráfico do alcance em função do volume uma curva característica onde o ponto de máximo desta, representa o ponto no qual o foguete atingiu o maior alcance para um determinado de volume de água. Esperamos que este trabalho possa ajudar de forma significativa a resgatar o papel importante da experimentação na ciência, principalmente no ensino de Física.

Sobretudo, concluímos este trabalho enfatizando a importância de atividades experimentais como uma estratégia de ensino diferenciada para uma aprendizagem significativa, permitindo assim pesquisar e coletar dados dos fenômenos físicos abordados.

5.2 Perspectivas

Fica como perspectiva o aperfeiçoamento do aparato experimental para garantir a aquisição dos dados da forma mais precisa possível e também trabalhar na construção de um emissor ultra-sônico para aumentar a relação sinal/ruído e, a partir disso medir a velocidade do foguete utilizando o efeito Doppler(já foi realizado este experimento usando um emissor sonoro comum). Já dispomos do controle de massa, pressão, disparo, do ângulo de lançamento. De posse de todos estes, seremos capazes de fazer o estudo balístico completo do sistema.

Neste sentido, temos direcionado o nosso trabalho na perspectiva de alargar o significado da sala de aula, ou seja, atribuindo outras dimensões, além da dimensão de local de construção de conhecimentos, mas também como cenário de pesquisa, na busca constante de nosso aprimoramento pessoal e profissional.

Referências

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia dos Santos. **Atividades experimentais no ensino de Física: Diferentes enfoques, diferentes finalidades.** Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 25, n. 2, p.176-194, jun, 2003.

BORE, Chris. **Bores Signal Processing; FFT Window Functions.** Limits on FFT Analysis.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos.** 2º ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

D. Kagan, L. Buchholtz and L. Klein, **The Physics Teacher: Soda-bottle water rockets**, vol. 33, p 150-157 (1995).

D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, **Fundamentos de Física: Mecânica** (Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., Rio de Janeiro), v. 1, 8ª ed.

H. Moysés Nussenzveig, **Curso de Física Básica: Mecânica**, (Editora Edgard Blücher LTDA, 2002), v. 2, 4ª ed.

HEWITT, Paul G.**Física conceitual**/Paul G. Hewitt; trad. Trieste Freire Ricci e Maria Helena Gravina. 9. ed. Porto Alegre: bookman 2002.

MARTINS, Paulo Victor Ribeiro . **Utilização de microfones comuns para detecção de defeitos em máquinas de pequeno porte.** 2010. Monografia (graduação em Engenharia Mecatrônica). UNIFACS, Salvador.

OPPENHEIM, A. V.; SCHAFER. **Discrete-time signal processing**, 2 ed.,New Jarsey: Prentice-Hall, 1998. Páginas 541-628.

SOUZA, James Alves de.**Um Foguete de Garrafa Pet.** Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num2/v08n02a02.pdf Acesso em 12 de agosto de 2013.

SOUZA, Petrônio Noronha de. **Satélites e Plataformas Espaciais.** Disponível em: http://www.craz.com.br/site/portal/colegio-guarulhos/files/2013/05/satelites_alta_resolucao_31jul07.pdf. Acesso em 12 de agosto de 2014.

SIMIENOWICZ, Casimir,**The Great Art of Artillery**. Disponível em: www.ecsbdefesa.com.br/fts/Foguetes%20no%20Brasil%20I.pdf. Acesso em 06 de jun. de 2013.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G.**Física para cientistas e engenheiros - Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica**. 6.ed. LTC, 2009.

UNITED STATES PATENT. Johnson at all.**Pressurized air/water rocket and launcher**. Patent number 5,415,153. 16 maio 1995.

YOUNG, Hugh D. AND FREEDMAN, Roger A.**Física II- Termodinâmica e Ondas.** volume 2. Addison Wesley, 10ª ed. São Paulo, 2003.

APÊNDICE A – Cálculo do CM e CP utilizando o software livre OpenRocket.

No nosso trabalho de realização do experimento também optamos por materializar esse projeto experimental através do software livre OpenRocket(como mostrado neste apêndice) pelas facilidades e vantagens. De forma que, construímos alguns modelos capazes de implementar e exemplificar algumas características do experimento até chegarmos a esse modelo, note que, esse modelo talvez não seja o melhor mais em termos de utilização de material é o mais acessível, ou seja, utilizamos pouco material, tornando mais fácil a construção do foguete. A estrutura é baseada no diâmetro de uma garrafa PET utilizada como câmara de compressão. O ponto azul no foguete indica o CM e o vermelho o CP.

- Vista lateral do foguete:

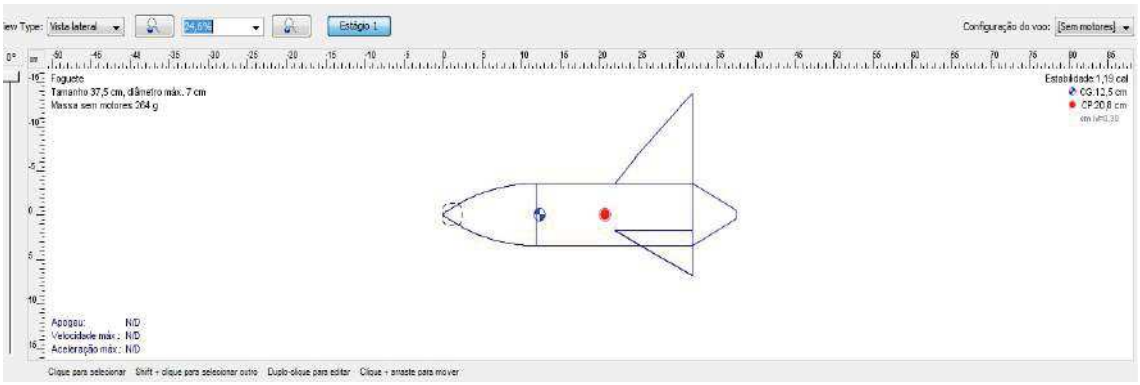


Figura 48: Cálculo do CP e CM.

- Vista traseira do foguete:

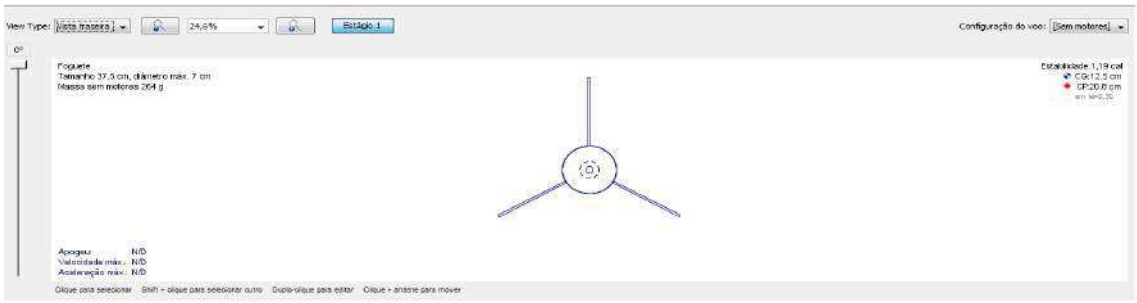


Figura 49: Vista traseira.

- Vista 3D inacabada do foguete:

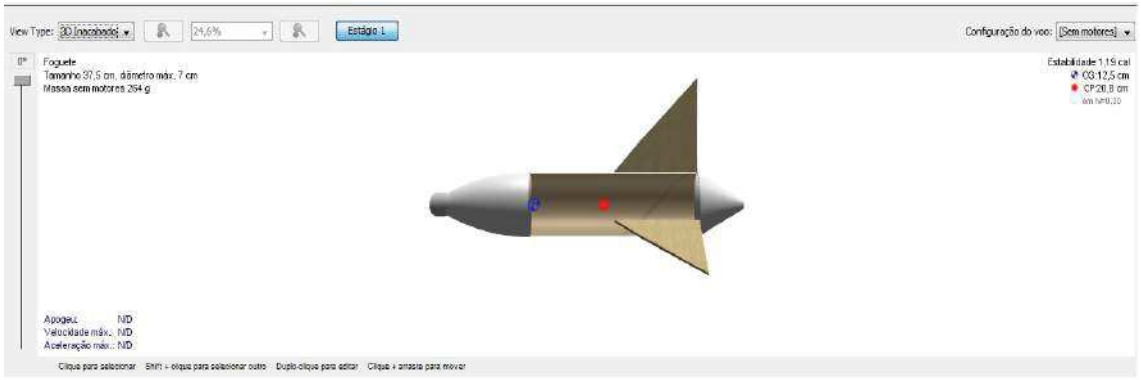


Figura 50: Vista 3D inacabada.

- Vista 3D acabada do foguete:

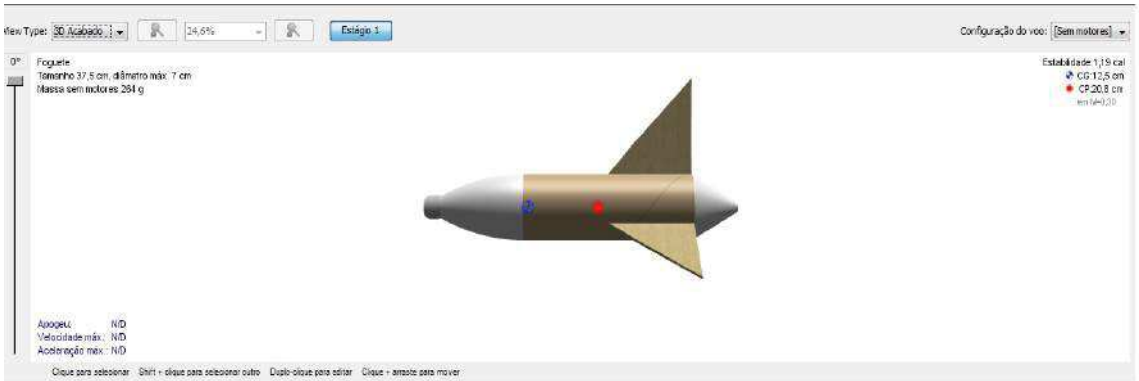


Figura 51: Vista 3D acabada.

ANEXO A – Plataformas alternativas e Patente do foguete de garrafas

As Plataformas de lançamento podem ser construídas a partir de canos e conexões de PVC ou de ferro. As peças e conexões de ferro podem ser um pouco mais caras e um pouco difíceis de encontrar, mas são bem mais eficazes. As bases metálicas são mais resistentes, possuem fácil manutenção, são mais seguras, mais dificíl de acontecer vazamentos (quando construída de maneira correta), suporta maior pressão, possui melhor vedação e é mais estável.

Base de lançamentos construida com canos e conexões de ferro.

Figura 52: plataforma de lançamentos.
Fonte: http://oficinadefoguetes.blogspot.com.br/p/foguetes-de_15.html

Base de lançamentos construida com canos e conexões de PVC .

Figura 53: plataforma de lançamentos.
Fonte: http://www.profluciano.com.br/modules/mastop_publish/?tac=17

US005415153A

United States Patent [19]

Johnson et al.

[11] Patent Number: 5,415,153

[45] Date of Patent: * May 16, 1995

[54] **PRESSURIZED AIR/WATER ROCKET AND LAUNCHER**

[76] Inventors: **Lonnie G. Johnson,** 4030 Ridgehurst Dr., Smyrna, Ga. 30080; **Bruce M. D'Andrade,** 3 Ten Eyck Rd., Whitehouse Station, N.J. 08889

[*] Notice: The portion of the term of this patent subsequent to Mar. 30, 2010 has been disclaimed.

[21] Appl. No.: **191,964**

[22] Filed: **Feb. 4, 1994**

Related U.S. Application Data

[63] Continuation-in-part of Ser. No. 902,079, Jun. 22, 1992, abandoned.

[51] **Int. Cl.**[6] **F41B 11/00;** A63H 27/26

[52] **U.S. Cl.** **124/63;** 124/57; 124/75; 446/212

[58] **Field of Search** 446/211, 212, 56, 180, 446/186, 187; 124/63-65, 69, 57, 58, 60, 56, 75

[56] **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

2,733,699	2/1956	Krinsky .	
2,927,398	3/1960	Kaye et al. .	
3,121,292	2/1964	Butler et al.	446/212
3,736,836	6/1973	McAllister	446/212 X
3,740,896	6/1973	Glass et al.	446/212
3,962,818	6/1976	Pippin, Jr. .	
4,223,472	9/1980	Fekete et al.	446/196 X
4,411,249	10/1983	Fogarty et al.	124/64
4,897,065	1/1990	Fertig et al.	446/63
5,032,100	7/1991	Goldfarb	446/187
5,197,452	3/1993	Johnson et al.	446/212 X

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

1330882	5/1963	France	446/212

Primary Examiner—Mickey Yu
Attorney, Agent, or Firm—Kenneth P. Glynn

[57] **ABSTRACT**

The present invention involves a liquid jet propelled rocket and rocket launcher. The launcher has a housing which includes a vessel for holding pressurized air therein, an inlet to the vessel and an outlet from the vessel. Also, the housing has a jet tube receiver extending from the outlet and adapted to connect with a jet tube of a rocket assembly. A pump is connected to the vessel inlet of the housing, the pump is connected for and capable of pumping air into the vessel at a pressure sufficient to launch the rocket assembly. A one way valve is connected to the pump and permits the flow of air only from the pump to the vessel. There is a rocket assembly latch mechanism located on the housing with means for releasing the latch. There are also, a rocket assembly which includes a liquid reservoir for receiving liquid and subsequently receiving air under pressure from the pump, a jet tube extending from the liquid reservoir and adapted to sealably and releasably connect to said jet tube receiver of the housing. The rocket assembly with the jet tube is releasably attachable to the housing with the jet tube coupled in fluid communication with the jet tube receiver by the latch mechanism, wherein the liquid may be stored within the rocket reservoir, and air may be pumped into the rocket reservoir and into the launcher vessel by means of actuating the pump.

20 Claims, 4 Drawing Sheets

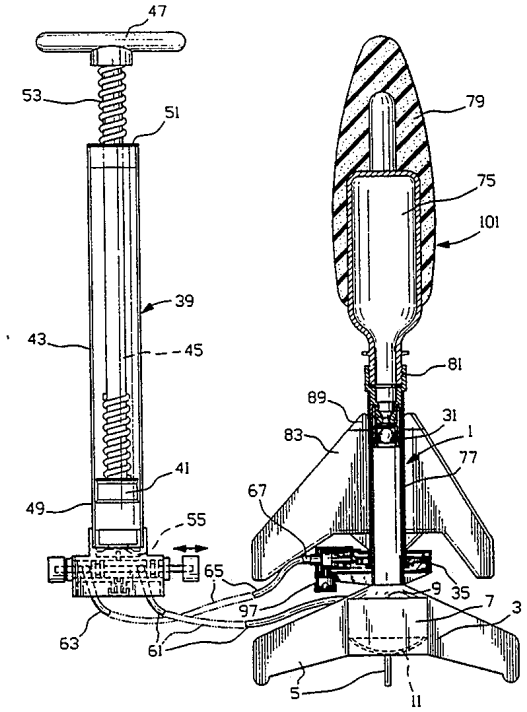


FIG. 1A

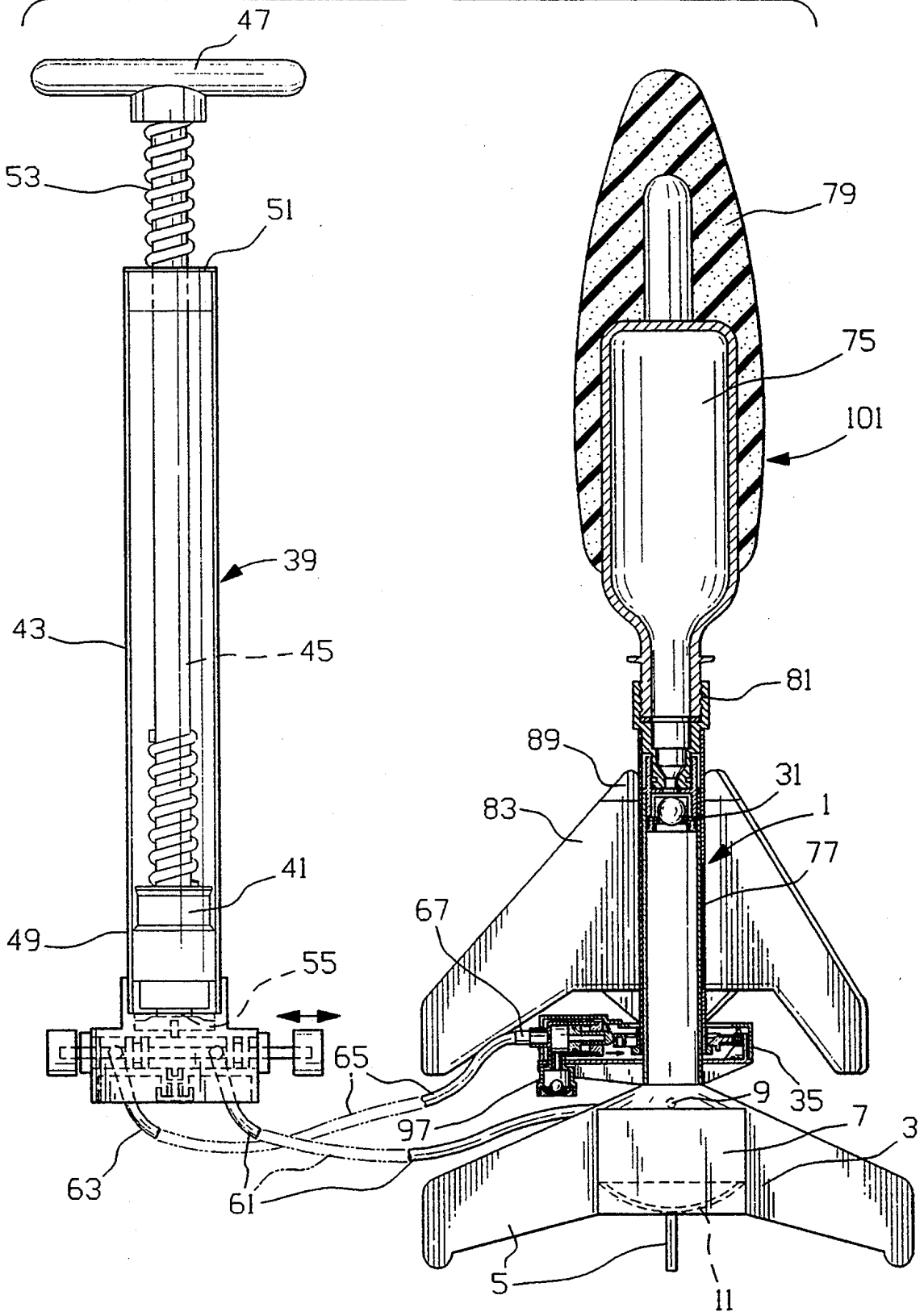

47
53
51
79
75
101
39
43
45
81
89
31
83
1
77
41
67
49
55
65
35
9
97
7
3
63
61
5
11

FIG. 1B

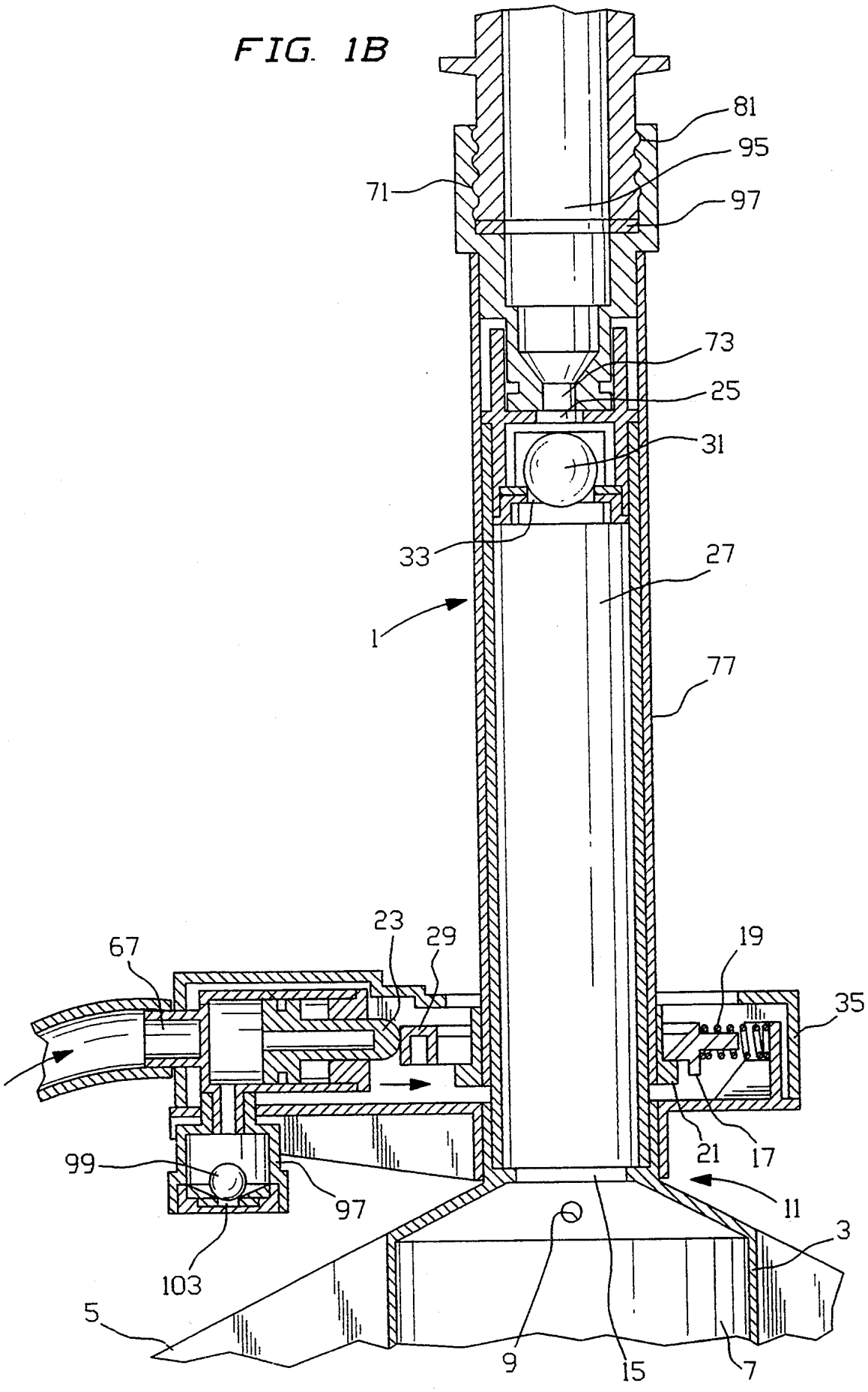
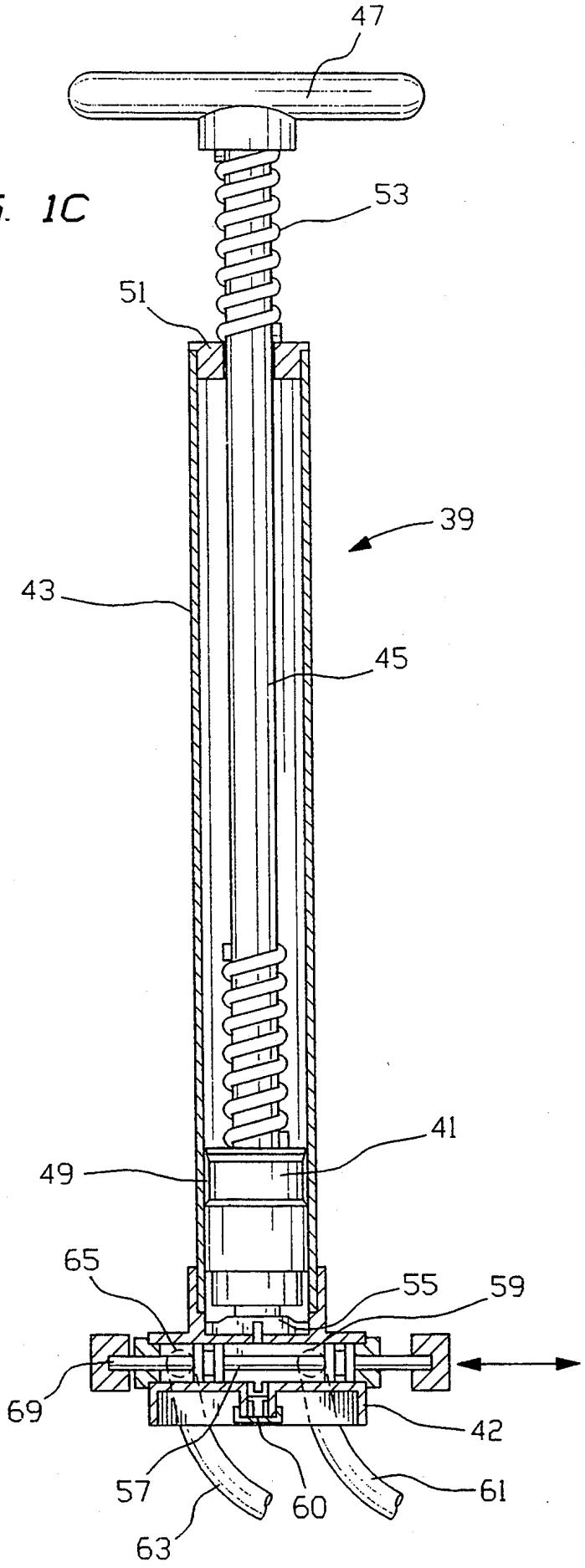

81
95
71
97
73
25
31
33
27
1
77
23
29
67
19
35
21
17
99
97
11
3
103
5
9
15
7

FIG. 1C



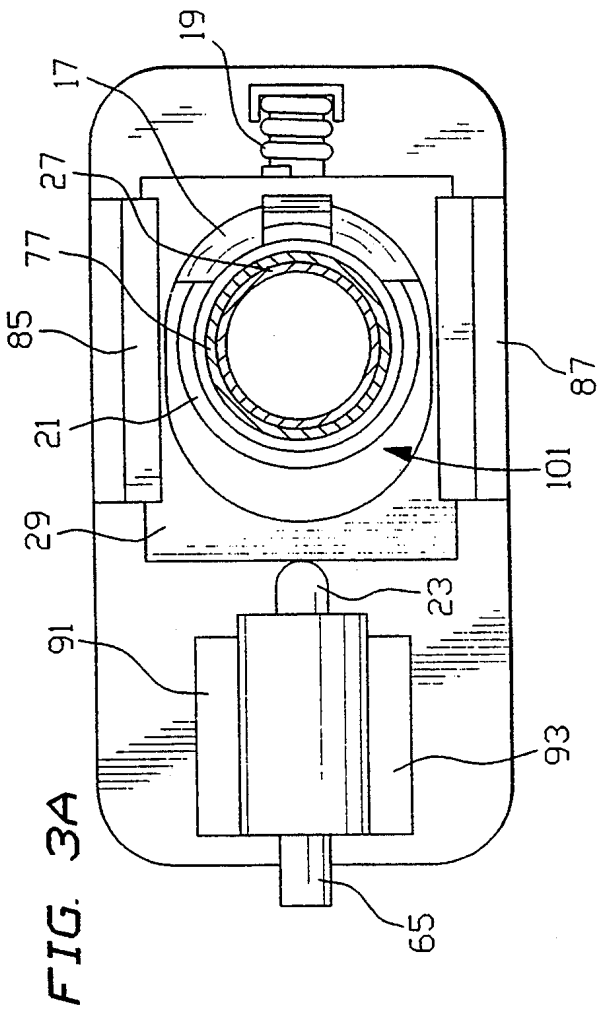


FIG. 3A

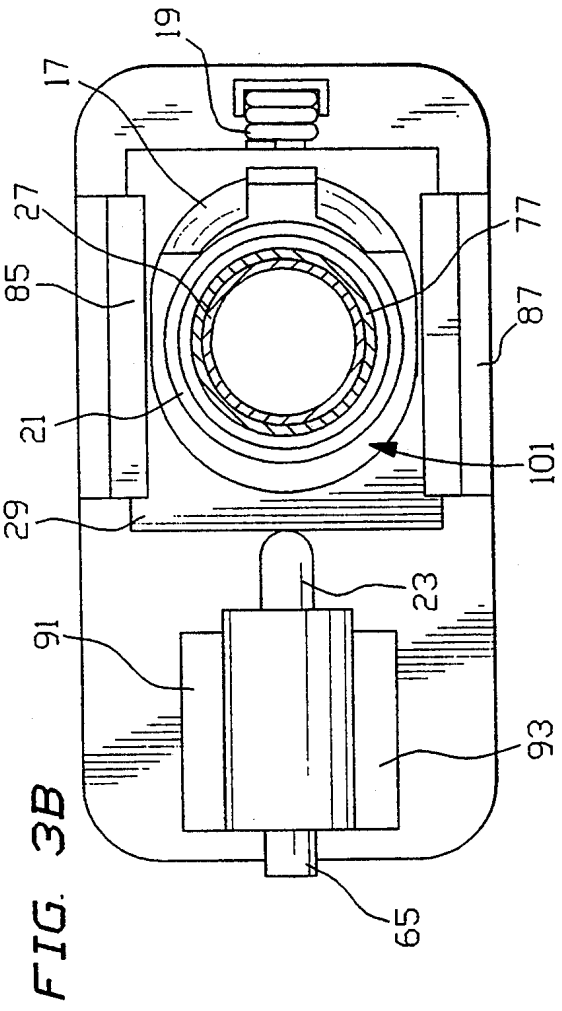


FIG. 3B

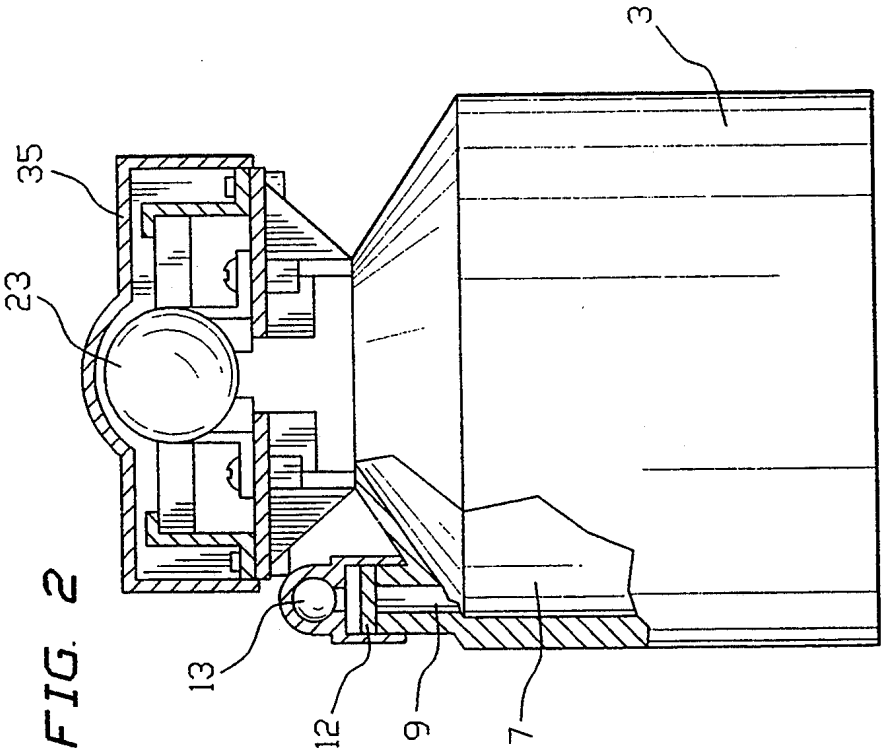


FIG. 2

PRESSURIZED AIR/WATER ROCKET AND LAUNCHER

REFERENCE TO RELATED CASES

This is a continuation in part of United States patent application Ser. No. 07/902,079 filed on Jun. 22, 1992, entitled "Pressurized Air/Water Rocket Launcher and Rocket", by the same inventors herein, now abandoned.

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention

The present invention is directed to a liquid jet propelled rocket launcher and rocket. More specifically, it is directed to a toy which propels a rocket in a generally upward direction by a liquid-air propulsion combination. Further, the present invention utilizes a rocket with a liquid reservoir, a pump and a pressurized base vessel whereby pressurized air is pumped into the rocket reservoir and into the base vessel, and the rocket is subsequently released for propulsion. Thus, the present invention pertains in general to motive type rockets which are launched by hand operation and no chemicals, motors, batteries or other power is required.

2. Prior Art Statement

Toys involving launchers have been around for at least thirty or forty years and apparently emerged with modern rocketry, although not all such toys pertain directly to rockets. Over the years various types of jet-powered toys have been developed which rely upon pressurized liquid within a container in the projectile or transporter and/or rely upon pneumatic launching.

U.S. Pat. No. 2,733,699 issued to B. Krinsky describes a rocket toy using a pressurized launcher and a spring mechanism for initial thrust. Pressurized air is created by a hand pump and a resilient washer (42) is used to retard launching until adequate pressure is achieved.

U.S. Pat. No. 2,927,398 issued to Kaye et al describes a multi-stage rocket in which fluid within chambers in each of multiple stages of a rocket are pressurized and sequentially released. Similarly, U.S. Pat. No. 3,962,818 issued to Reginald Pippin describes a multi-stage rocket with mechanisms for pressurizing liquid within containers for each stage.

U.S. Pat. No. 3,740,896 to Marvin Glass et al describes a jet-powered vehicle wherein a wheeled vehicle has a chamber or container within it and has a launching device which includes an air pump with a one-way valve. There is also clamp means for holding the vehicle in the charging position and a trigger means for releasing the clamping device following the charging of the chamber to permit the vehicle to be propelled by means of reaction of the jet drive.

U.S. Pat. No. 4,223,472 describes a toy missile launching device which utilizes pressurized air. It involves a complex system which includes a large launching guide pipe, a complex mechanical release mechanism and a three position valve member for a complex pumping and launching.

U.S. Pat. No. 4,411,249 issued to Bonnie Fogarty et al describes a toy glider with a pneumatic launcher. In this device, a wristlet includes a pumping mechanism as well as a flexible conduit to which a glider may be attached. The pump is used to pressurize and pneumatically project the glider.

U.S. Pat. No. 4,897,065 issued to John Fertig describes a toy vehicle and hand held pneumatic launcher wherein the pumping mechanism has a piston and hollow cylinder designed for a particular type of grip of a child coupled with thumb or hand operation of the pump mechanism.

U.S. Pat. No. 5,032,100 issued to Adolf Goldfarb describes a toy vehicle and launcher which uses contractive power of liquid in a liquid expanded chamber to propel the vehicle. Here, a significantly large reservoir is utilized to fill and expand a bladder which is connected to and part of a transporter or toy vehicle. It is the expanded, pressurized bladder with the air and water mixture which propels the vehicle as a result of the contraction of the bladder upon release of the vehicle.

Notwithstanding the prior art in this field, no patent teaches or renders obvious the present invention device which utilizes a pressurized launcher with a rocket which has a reservoir which holds a predetermined amount of liquid. The reservoir is also pressurized so as to create a predetermined volume mixture of liquid and air to maximize a two step liquid jet propulsion of the rocket upon launching.

SUMMARY OF THE INVENTION

The present invention involves a liquid jet propelled rocket and rocket launcher. The launcher has a housing which includes a vessel for holding pressurized air therein, an inlet to the vessel and an outlet from the vessel. Also, the housing has a jet tube receiver extending from the outlet and adapted to connect with a jet tube of a rocket assembly. A pump is connected to the vessel inlet of the housing, the pump is connected for and capable of pumping air into the vessel at a pressure sufficient to launch the rocket assembly. A one way valve is connected to the pump and permits the flow of air only from the pump to the vessel. There is a rocket assembly latch mechanism located on the housing with means for releasing the latch. There are also, a rocket assembly which includes a liquid reservoir for receiving liquid and subsequently receiving air under pressure from the pump, a jet tube extending from the liquid reservoir and adapted to sealably and releasably connect to said jet tube receiver of the housing.

The rocket assembly with the jet tube is releasably attachable to the housing with the jet tube coupled in fluid communication with the jet tube receiver by the latch mechanism, wherein the liquid may be stored within the rocket reservoir, and air may be pumped into the rocket reservoir and into the launcher vessel by means of actuating the pump. In addition, a substantial positive air pressure may be created within the rocket reservoir and within the vessel, after which the rocket assembly may be released by the release means and may advance away from the housing by the pressurized air in the vessel and by jet propulsion of the liquid and air contained within the rocket reservoir. In preferred embodiments the water to air ratio and the air pressure itself are such that the rocket assembly is launched in two different discrete phases, one being a positive air pressure thrust by the pressurized vessel and the other being a combination of air and liquid such as water to create a jet stream thrust from the rocket assembly.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

The present invention as described herein will be more fully understood and appreciated when taken in conjunction with the drawings appended hereto those drawings are as follows:

FIGS. 1(*a*), 1(*b*) and 1(*c*) show front elevation views, partially in vertical cross section, of a present invention toy, including a pump, a launcher and a liquid jet propelled rocket assembly;

FIG. 2 is a partial side elevation view, partially in vertical cross-section, of a present invention launcher base; and

FIGS. 3*a* and 3*b* show partial sectional views of a portion of the launcher shown in FIGS. 1*a*, 1*c* and 2 to illustrate the launch release mechanism.

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

The present invention toy has been developed to create a rocket assembly which is jet propelled and which may be launched by hand preferably utilizing a mixture of liquid (typically water) and air, e.g. a predetermined ratio, in a rocket assembly reservoir and enabling the user to effectively accomplish this in a manner which utilizes an air pressure built up in both a rocket assembly and a launcher, followed by jet propulsion caused by pressurized air with water exiting from the rocket assembly for thrust. Uniquely, the present invention toy includes a launcher which has a housing with a pressurizeable vessel, as well as a reservoir on the rocket assembly for additional pressurization. The rocket reservoir has a volume for a predetermined amount of liquid, with space left for air and subsequent pressurization.

Thus, it is an object of the present invention to provide an advanced toy for launching rocket assemblies and similar substantially vertically launched aerodynamic projectiles and any other form of substantially vertically launched transporters, which can be imagined or may yet to be developed in an exciting and efficient manner. (Thus the words "rocket" and "rocket assembly" should be taken to mean substantially vertically launched aerodynamic projectiles or transporters.)

Referring now to FIGS. 1(*a*), 1(*b*), 1(*c*) and 2, there is shown in FIGS. 1(*a*) and 1(*b*) front elevation views, partially in vertical cross-section, of a present invention toy **1**, including a launcher **11**, rocket assembly **101** and pump **39**. FIG. 1(*b*) shows an enlargement of a portion of the launcher and rocket assembly and FIG. 1(*c*) shows an enlargement of the pump system. In FIG. **2** is shown a partial side elevation view, partially in vertical cross-section, of a present invention launcher base (without showing supports such as supports **5**). Launcher **11** includes launcher housing **3** which has a plurality (e.g. three) base supports such as base supports **5** for support and stability as well as a housing vessel **7**. Vessel **7** includes a vessel inlet **9** which includes attachment stem **13** shown in FIG. **2**. Also shown in FIG. **2** is one way check valve **12** which allows air to flow into vessel **7** but, when vessel **7** is pressurized, prevents air from exiting vessel **7** through inlet **9**.

Facing upwardly from housing **3** is vessel outlet **15** connected directly to jet tube receiver **27**. As will be discussed below, the jet tube receiver **27** receives jet tube **77** of rocket assembly **101**. Jet tube receiver **27** includes an outlet **25**, as shown. Additionally, jet tube receiver **27** is itself an annulus or tubing or piping configuration and has a one way valve **31** which opens only to upward flow (e.g. air) through orifice **33**.

The housing **3** also includes a rocket assembly latch mechanism **17** which is biased by spring **19** to latch over lip **21**. Release means **23** is slidably moveable left to right and vice versa as shown in FIGS. 1(*a*) and 1(*c*). Release means **23** may be pushed against end **29** of latch mechanism **17** to release an otherwise latched rocket assembly for launching (discussed further below). Safety features such as encasement **35** prevent or deter premature or accidental launching by securing release mechanism **17** from accidental contact.

Also, shown in FIG. 1(*c*) is pump **39** with pump piston support **42** which includes a piston chamber **43** and a piston rod **45** and a piston **41**. Piston pump handle **47** extends beyond the outer end of piston rod **45** and may be reciprocated so as to pump air into the vessel **7** through one way O-ring valve **49** located around piston **41** and connected thereto, as shown. Piston housing cap **51** supports piston rod **45** and handle **47**. Optional spring **53** acts as a shock absorber between handle **47** and cap **51** during pumping. Air is taken into piston chamber **43** at the opening around piston rod **45** at cap **51**. This occurs when piston pump handle **47** is pulled outwardly and O-ring valve **49** moves away from the sealing position and allows air to pass by piston **41** such that air fills piston chamber **43**. When piston pump handle **47** is pushed inwardly, the air within the piston housing is forced by one way O-ring valve **49** past one way valve **55**, through cavity **57** located in support **42** through outlet **59**, down flexible tubing **61** and into vessel inlet attachment stem **13**, into vessel inlet **9** and into vessel **7**. The air also travels up jet tube receiver **27** and into rocket propulsion reservoir **75** of rocket assembly **101**. Further pumping increases the air pressure in the vessel **7** and in the reservoir **75** of the rocket assembly for subsequent propulsion. However, if a predetermined maximum acceptable pressure is reached, pressure release valve **60** prevents further pressure build up.

Release means **23** is, as mentioned, slidably mounted so that it may be pushed into end **29** of latch mechanism **17**. When jet tube **77** of the rocket assembly **101** is inserted onto jet tube receiver **27**, it may be secured in place via latch mechanism **17**. When the rocket propulsion reservoir **75** has water and the rocket propulsion reservoir of rocket assembly **101** and vessel **7** of launcher **11** are fully pumped up, e.g. with 60, 70, 80 or higher p.s.i., the user could press a release mechanism to launch. But here, a safety advantage is achieved because release means **23** is activated remotely. Flexible tubing **63** connects a second outlet **65** from pump piston support **42** to release inlet **67** of launcher **11**.

When spool valve **69** (or its equivalent) is shifted from right to left, air pressurizes tubing **63** instead of tubing **61** and pushes on release means **23** to release latch mechanism **29**. This causes rocket assembly **101** to launch and be propelled, first by the air pressure in the launcher vessel **7** of the rocket assembly **101**, and then by subsequent pressure release from inside jet tube **77** and rocket propulsion reservoir **75**. The initial air pressure from the launcher may be only for a fraction of a second or so while the released pressure and water jet stream from the jet tube **77** and reservoir **75** may last for a number of seconds, e.g. 10 or 20 seconds or more.

Rocket assembly **101** includes jet tube **77** with constricted jet orifice **73**, and threads **71**, for receiving reservoir **75**. In this case there is a foam cover for rocket propulsion reservoir **75**, as shown. Reservoir **75** includes threads **81** at orifice **95** for connection to jet tube threads **71**. Rocket assembly **101** is in the form of a simulated vehicle, in this case a rocket with fins such as fin **83** and brackets such as bracket **89**. The fins such as fin **83** may be removable, as here. While attachment of

the reservoir **75** is by threading, the threads are not essential and a snap on, clamped or sealed arrangement would work sufficiently. Propulsion reservoir orifice **95** attaches to constricted jet orifice **73** with a tight seal via washer **97**.

A user fills reservoir **75** with water to 50%, 60%, or so, of capacity while inverted (orifice **95** upward), and screws it onto jet tube **77**. The thus assembled rocket assembly **101** is then inverted and placed on jet tube receiver **27**. The assembly **101** is then snapped into a latched position and releasably latched by latch mechanism **17**. Air is pumped via pump **39** into the launcher vessel **7**, the jet tube receiver **27** and the rocket propulsion reservoir **75** and through the various connecting means. Valve **31** prevents water from emptying into vessel **7** from reservoir **75**. When the pump has been actuated a predetermined number of counts, e.g., twenty, the toy **1** is ready for launching.

The user next switches spool valve **69** by pressing or pulling it to the opposite position from that shown in FIG. **1**(*c*). By so doing, the user closes off outlet **59** and opens outlet **65**. Further pumping increases air pressing in tubing **63** and this continues to increase until adequate pressure is achieved to overcome the force of spring **19**, thereby pushing latch mechanism **17** to the open position and launching rocket assembly **101** as previously described. This pump releasing means adds significant play value to the toy, as it simulates the plunger activated detonation of explosives as frequently depicted in animations.

Significant safety advantages are achieved by the embodiment of the present invention shown in FIGS. **1** and **2**. As mentioned, encasement **35** prevents direct release of latch mechanism **17** and encourages remote release via pump **39**. Further, the "soft" rocket assembly **101**, comprising reservoir **75** covered with a foam nose cone **79**, limits any injury which could occur from accidental impact to a user or other person or property in the area. Further, a "tilt switch" **97** which would prevent release of the rocket unless it were kept in a substantially vertical position. This includes a ball valve **99** at outlet **103**. If toy **1** is tilted to an angle of greater than, say about 15° from the vertical or aimed at someone, or falls over, ball valve **99** will unseat and pressure pumped into tubing **63** will exit through outlet **103** and the user will be unable to release latch mechanism **17**. While this is an optional feature, it will prevent the use of the toy for firing at other people.

FIG. **3**a shows a partial sectional view of a portion along line **3**—**3** of FIG. **1** of launcher **11** with the upper part of encasement **35** removed. Parts identical to those shown in FIG. **1** are identically numbered. Guides **85** and **87** support latch mechanism **17** allowing it to be moved from left to right and vice versa, although it is biased to the left in its resting and latching position via spring **19**. Similarly, release means **23** is reciprocally movable within mounting flanges **91** and **93**. In this FIG. **3***a* and in FIG. **3***b*, rocket assembly **101** is shown in cut view and jet tube receiver **27**, jet tube **77** and lip **21** are shown. In FIG. **3***a*, latch mechanism **17** is over lip **21** of jet tube **77** and rocket assembly **101** are secured. When release means **23** is moved to the right as shown in FIG. **3***b*, latch mechanism **17** is moved off lip **17** and rocket assembly **101** is released to launch with the thrust discussed above.

The construction of the present invention toy is, typically, of various types of plastic and, once the invention is appreciated, the selection of soft and hard plastics for various components will be within the skill of the artisan. For example, high density polyethylene may be used for certain aspects whereas other plastics may be utilized, for example, tubing could be typical vinyl tubing and the fittings could be hard rubber fittings or otherwise. Additionally, some or all parts may be made of other materials such as materials typically available in the construction of toys, including rigid and flexible foams, metals, graphite, etc.

Obviously, numerous modifications and variations of the present invention are possible in light of the above teachings. It is therefore understood that within the scope of the appended claims, the invention may be practiced otherwise than as specifically described herein.

What is claimed is:

1. A liquid jet propelled rocket launcher and rocket toy, which comprises:

(a) a launcher having a housing which includes a vessel for holding pressurized air therein, an inlet to said vessel and an outlet from said vessel, said inlet and said outlet being separate; said housing further comprising a jet tube receiver extending from said outlet and adapted to connect with a jet tube of a rocket assembly;

(b) a pump connected to said vessel inlet of said housing, said pump being connected for and capable of pumping air into said vessel at a pressure sufficient to launch a rocket assembly;

(c) a first one way valve connected to said pump and permitting flow of air only from said pump to said vessel;

(d) a rocket assembly latch mechanism located on said housing;

(e) means for releasing said latch mechanism;

(f) a rocket assembly which includes a rocket reservoir for receiving liquid and subsequently receiving air under pressure from said pump by way of said launcher housing, a jet tube extending from said rocket reservoir and adapted to sealably and releasably connect to said jet tube receiver of said housing;

wherein said rocket assembly with said jet tube is releasably attachable to said housing with said jet tube coupled in fluid communication with said jet tube receiver by said latch mechanism, wherein liquid may be stored within said rocket reservoir, and air may be pumped into said rocket reservoir and into said launcher vessel by means of actuating said pump and further wherein a substantial positive air pressure may be created within said rocket reservoir and within said vessel, after which said rocket assembly may be released by said release means and may advance away from said housing by said pressurized air in said vessel and by jet propulsion of said liquid and air contained within said rocket reservoir.

2. The toy of claim **1**, wherein said rocket assembly is a two piece assembly having an upper section which includes a nose cone containing said rocket reservoir and having a lower section which includes said jet tube.

3. The toy of claim **2**, wherein said jet tube is removably connected to said upper section and includes a restricted outlet orifice to enhance jet propulsion upon launching.

4. The toy of claim **1**, wherein said jet tube receiver includes a one way valve which inhibits the flow of

liquid from said rocket reservoir to said launcher vessel but permits air to be pumped into said rocket reservoir.

5. The toy of claim 1, wherein said pump is a piston pump with a piston and chamber having a second one way valve, said second one way valve being connected to said piston.

6. The toy of claim 1, wherein said release means includes a depressible, spring loaded trigger.

7. The toy of claim 1, wherein said pump is connected by at least one flexible tube to said launcher vessel inlet so that said pump may be remotely located from said launcher and rocket assembly.

8. A liquid jet propelled rocket launcher and rocket toy, which comprises:

(a) a launcher having a housing which includes a base for resting on a horizontal surface, a vessel for holding a predetermined amount of air therein, a vessel air inlet, a vessel air outlet and said housing having a jet tube receiver connected to said vessel outlet and adapted to connect with a jet nozzle of a rocket assembly;

(b) a pump connected to said vessel inlet, said pump being connected for and capable of pumping pressurized air into said vessel, said pump being connected by one flexible tube to said launch vessel inlet and by another flexible tube to the releasing means recited below, so that said pump may be remotely located from said launcher and rocket assembly;

(c) a first one way valve connected to said pump and permitting flow of air only from said pump to said vessel inlet;

(d) a rocket assembly latch mechanism connected to either of said housing or rocket assembly;

(e) means for releasing said latch mechanism; and

(f) a rocket assembly which includes a propulsion rocket reservoir for receiving liquid and subsequently receiving air under pressure from said pump, and a jet tube extending from said propulsion rocket reservoir and adapted to sealably and releasably connect with said jet tube receiver of said housing;

wherein said rocket assembly with said jet tube is releasably attachable to said housing with said jet tube coupled in fluid communication with said jet tube receiver by said latch mechanism, wherein liquid may be stored within said rocket propulsion reservoir, and air may be pumped into said rocket propulsion reservoir and into said launcher vessel by means of actuating said pump and further wherein a substantial positive air pressure may be created within said rocket propulsion reservoir and within said vessel, after which said rocket assembly may be released by said release means and may advance away from said housing by said pressurized air in said vessel and by jet propulsion of said liquid and air contained within said rocket propulsion reservoir.

9. The toy of claim 8, wherein said rocket assembly is a two piece assembly having an upper section which includes a nose cone containing said rocket propulsion reservoir and having a lower section which includes said jet tube.

10. The toy of claim 9, wherein said jet tube is removably connected to said upper section and includes a restricted outlet orifice to enhance jet propulsion upon launching.

11. The toy of claim 8, wherein said jet tube receiver includes a one way valve which inhibits the flow of liquid from said rocket propulsion reservoir to said launcher vessel but permits air to be pumped into said rocket propulsion reservoir.

12. The toy of claim 8, wherein said pump is a piston pump with a piston and chamber having a second one way valve, said second one way valve being connected to said piston.

13. The toy of claim 8, wherein said release means is a depressible, spring loaded trigger.

14. The toy of claim 8, wherein said pump is connected by more than one flexible tube to said launcher vessel inlet so that said pump may be remotely located from said launcher and rocket assembly.

15. A liquid jet propelled rocket launcher and rocket toy, which comprises:

(a) a launcher having a housing which includes a vessel for holding pressurized air therein, an inlet to said vessel and an outlet from said vessel, said inlet and said outlet being separate; said housing further comprising a jet tube receiver extending from said outlet and adapted to connect with a jet tube of a rocket assembly;

(b) a pump connected to said vessel inlet of said housing, said pump being connected for and capable of pumping air simultaneously into said vessel and into a rocket reservoir recited below and into a jet tube recited below, at a pressure sufficient to launch a rocket assembly;

(c) a first one way valve connected to said pump and permitting flow of air only from said pump to said vessel;

(d) a rocket assembly latch mechanism located on said housing;

(e) means for releasing said latch mechanism;

(f) a rocket assembly which includes a rocket reservoir for receiving liquid and subsequently receiving air under pressure from said pump by way of said launcher housing, a jet tube extending from said rocket reservoir and adapted to sealably and releasably connect to said jet tube receiver of said housing;

wherein said rocket assembly with said jet tube is releasably attachable to said housing with said jet tube coupled in fluid communication with said jet tube receiver by said latch mechanism, wherein liquid may be stored within said rocket reservoir, and air may be pumped into said rocket reservoir and into said launcher vessel by means of actuating said pump and further wherein a substantial positive air pressure may be created within said rocket reservoir and within said vessel, after which said rocket assembly may be released by said release means and may advance away from said housing by said pressurized air in said vessel and by jet propulsion of said liquid and air contained within said rocket reservoir, and further wherein said rocket assembly is a two piece assembly having an upper section which includes a nose cone containing said rocket reservoir and having a lower section which includes said jet tube.

16. The toy of claim 15, wherein said jet tube is removably connected to said upper section and includes a restricted outlet orifice to enhance jet propulsion upon launching.

17. The toy of claim 15, wherein said jet tube receiver includes a one way valve which inhibits the flow of

liquid from said rocket reservoir to said launcher vessel but permits air to be pumped into said rocket reservoir.

18. The toy of claim **15**, wherein said release means is a depressible, spring loaded trigger.

19. The toy of claim **15**, wherein said pump is connected by at least one flexible tube to said launcher vessel inlet so that said pump may be remotely located from said launcher and rocket assembly.

20. The toy of claim **19**, wherein said pump is connected by two flexible tubes, one of said two flexible tubes being connected to said launcher vessel inlet and a second of said two flexible tubes being connected to a launcher release inlet so that said pump may be remotely located from said launcher and rocket assembly.

* * * * *