



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PARNAÍBA
CURSO LICENCIATURA EM FÍSICA**

VITOR DE SOUSA RODRIGUES

**FOGUETEMODELISMO: ANÁLISE DO MOVIMENTO DE UM MINIFOGUETE
UTILIZANDO UM SENSOR DE ALTITUDE**

**PARNAÍBA
2022**

VITOR DE SOUSA RODRIGUES

FOGUETEMODELISMO: ANÁLISE DA TRAJETÓRIA UTILIZANDO UM SENSOR DE
ALTITUDE

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para
obtenção do diploma do Curso de Licenciatura
em Física do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí. Campus
Parnaíba.

Orientador: Prof. Me. Bruno Pires Sombra.

PARNAÍBA
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Rodrigues , Vitor de Sousa

R696f Foguetemodelismo : análise do movimento de um minifoguete utilizando um sensor de altitude / Vitor de Sousa Rodrigues . - 2022.
88 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Instituto Federal do Piauí, Campus Parnaíba, 2022.

Orientador : Prof. Me. Bruno Pires Sombra.

1. Física . 2. Minifoguete. 3. Sistema de sensoriamento . I.Título.

CDD - 530

Elaborado por Micheline Angélica Aragão Gouveia CRB 3/1244

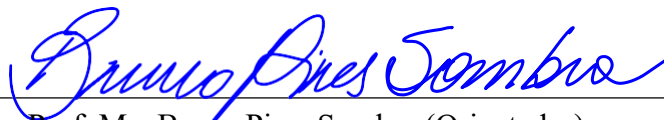
VITOR DE SOUSA RODRIGUES

FOGUETEMODELISMO: ANÁLISE DO MOVIMENTO DE UM MINIFOGUETE
UTILIZANDO UM SENSOR DE ALTITUDE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial
para obtenção do diploma do Curso de Licenciatura em Física do
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, *Campus*
Parnaíba.

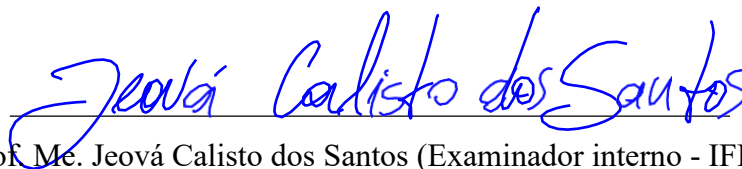
Professor Orientador: Me. Bruno Pires Sombra

Aprovado pela banca examinadora em 15 de fevereiro de 2022.



Prof. Me. Bruno Pires Sombra (Orientador)

Presidente IFPI/*Campus* Parnaíba-PI



Prof. Me. Jeová Calisto dos Santos (Examinador interno - IFPI)

IFPI/*Campus* Parnaíba-PI



Profa. Dra. Karine dos Santos Dias (Examinador externo)

IFPI/*Campus* Corrente-PI

Dedico, acima de tudo a Deus que é bom o tempo todo, a Rosemeire Açucena Rodrigues minha companheira, namorada, futura noiva e esposa e ao meu melhor amigo Eduardo Freitas Cardozo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Meu Deus todo poderoso, que nunca me abandonou nos momentos mais difíceis. Ele sempre me deu sabedoria, paciência e determinação para nunca desistir dos meus objetivos. Também agradeço a ajuda de toda a minha família, minha mãe Marluce, meu pai Raimundo, eu sei que vocês sempre fizeram inúmeros sacrifícios para que eu pudesse estudar e fazer uma faculdade, espero que estejam orgulhosos de mim hoje. Também quero deixar registrado meu carinho para meus irmãos Ryan e Rayssa Vitória, vocês são demais!

Agradeço ainda a minha namorada, Rosemeire Açucena Rodrigues, por ser essa companheira maravilhosa, você é incrível. Também agradeço a meu grande amigo Eduardo Cardozo, por ter me incentivado a entrar no curso de física e me acompanhado durante toda essa trajetória, para ele uma vida longa e próspera.

Com grande admiração, que agradeço meu professor e orientador Bruno Pires Sombra, que entrou nesse desafio comigo, e em momento nenhum abandonou o barco, minha sincera gratidão e respeito. Quero lembrar também do Grupo Observacional de Astronomia (GOA) e a Alpha Scorpí por terem dado todo o suporte necessário para realizar esse trabalho, foram de fundamental importância na minha formação acadêmica e na minha formação quanto ser humano.

Aos meus grandes amigos que viveram bons momentos, deixo meu muito obrigado: Eduardo, Rose, Wiclei Brandão, Diego Conceição, que por sinal me ajudou a modelar as peças para o minifoguete e a minha madrinha acadêmica Bruna Pamela. Ao demais amigos que conviveram comigo no curso: Lucas Vieira, Thalia Santos, Isabela Carvalho e Willan.

Agradeço também a todos os professores que tive o prazer de ser orientado, nas disciplinas de Física, de Ensino de Física e nas disciplinas pedagógicas. A lembrança especial as professoras Maria de Fátima e Vilma Dias e ao professor Lucas Izídio e Jeová Calisto.

Não poderia esquecer de citar o meu grande mestre, professor Ademar Luiz Rodrigues, por plantar uma semente de curiosidade e fascinação em mim quando estudava no ensino médio, grande parte do que penso que sei de Física hoje, é devido a ele.

Agradeço também a todos os demais funcionários do IFPI, campus Parnaíba.

“Não se pode aprender nada de uma lição que não venha acompanhada da dor. Já que não se pode conseguir nada sem sacrifício. Mas quando se aguenta essa dor e a supera, as pessoas conseguem um coração que não perde para nada. Sim, um coração de aço.”

(Edward Elric, Alquimista de Aço)

RESUMO

Os minifoguetes são ferramentas que fazem parte do cotidiano escolar em diversas escolas no Brasil. Popularizado pela Mostra Brasileira de Foguete, competição nacional de lançamentos de foguetes, os minifoguetes já são ferramentas educacionais, principalmente no ensino de ciências da natureza. Pensando nisso, este trabalho tem como objetivo estudar o movimento vertical de um minifoguete de dois estágios impulsionado por propulsão à combustível sólido. Para isso, coletamos dados de altitude em função do tempo, assim como utilizamos de equações de movimento de foguetes para encontramos parâmetros que ajudam a entender esse movimento. A descrição do movimento foi realizada por um sistema de sensoriamento composto por Arduino Nano, um sensor de pressão e temperatura BMP280 (altímetro), um módulo leitor de cartão SD e uma fonte de alimentação. Este estudo visa ainda, comparar a curva do movimento vertical proveniente dos lançamentos do minifoguete, com a curva teórica construída a partir de equações de movimento de sistemas impulsionados e sujeitos ao campo gravitacional e a resistência do ar. Os métodos de coleta de dados são provenientes dos sistemas de sensoriamento, que foi lançado juntamente com o minifoguete, coletando dados de altura e tempo de voo. Os dados foram descritos, analisados e confrontados com a modelagem matemática desenvolvida a partir de equações de movimento. Foi utilizando para a elaboração dos gráficos o *Excel* (pacote office). Essa comparação foi necessária para encontrar certos parâmetros físicos, como velocidade de escape dos gases e fluxo de massa, assim como pontos importantes do movimento, como o apogeu. A partir da descrição da curva do movimento vertical e dos parâmetros, podemos entender melhor o funcionamento desses sistemas.

Palavras-chave: Minifoguetes. Sistema de Sensoriamento. Movimento Vertical.

ABSTRACT

Mini rockets are tools that are part of everyday school life in several schools in Brazil. Popularized by the Brazilian Rocket Show, a national rocket launch competition, mini-rockets are already educational tools, especially in the teaching of natural sciences. With that in mind, this work aims to study the vertical motion of a two-stage mini-rocket powered by solid fuel propulsion. For this, we collected altitude data as a function of time, as well as using rocket motion equations to find parameters that help to understand this movement. The description of the movement was performed by a sensing system composed of Arduino Nano, a BMP280 pressure and temperature sensor (altimeter), an SD card reader module and a power supply. This study also aims to compare the curve of the vertical movement from the launches of the mini-rocket, with the theoretical curve built from the equations of motion of systems driven and subject to the gravitational field and air resistance. The data collection methods come from the sensing systems, which were launched together with the mini-rocket, collecting height and flight time data. The data were described, analyzed and confronted with the mathematical modeling developed from equations of motion. Excel (office package) was used for the elaboration of the graphs. This comparison was necessary to find certain physical parameters, such as the escape velocity of gases and mass flow, as well as important points of motion, such as apogee. From the description of the vertical motion curve and parameters, we can better understand the functioning of these systems.

Keywords: Rockets. Sensing System. vertical movement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 – Campos Multidisciplinares.....	27
Figura 2 – Campos Interdisciplinares.....	28
Figura 3 – Campos Transdisciplinares.....	29
Figura 4 – Alunos do IFPI/Parnaíba participando da MOBFOG/2021	32
Figura 5 – Sistema σ nos instantes t e $t + dt$	41
Figura 6 – As três fases de movimento do minifoguete	47
Figura 7 – Placa Arduino nano visão lateral e frontal	53
Figura 8 – Sensor de temperatura e pressão BMP280.....	54
Figura 9 – módulo leitor de cartão micro SD	55
Figura 10 – Instalação da biblioteca Adafruit BMP280	57
Figura 11 – Função loop do código modificado.....	57
Figura 12 – minifoguete <i>Rose 1</i> versão sem ajustes.....	60
Figura 13 – Versão inicial do sistema de sensoramento	61
Figura 14 – Sistema de Sensoramento	61
Figura 15 – Peça impressa na impressora 3D.....	62
Figura 16 – Minifoguete <i>Rose 1</i> adaptado com novo estágio de carga	62
Figura 17 – 6 fases do movimento do minifoguete	63
Figura 18 – Minifoguete <i>Rose 2</i>	66
Figura 19 – Estágios de ignição do minifoguete <i>Rose 2</i>	67

GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico de altura em função do tempo plotado no programa <i>Excel</i>	64
Gráfico 2 – Velocidade em função do tempo obtido via derivada do gráfico 1	65
Gráfico 3 – Curva do movimento vertical do minifoguete <i>Rose 2</i>	68
Gráfico 4 – Velocidade em função do tempo obtido via derivada do gráfico 1	68
Gráfico 5 – Curvas teóricas e a curva do movimento vertical do <i>Rose 2</i>	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações técnicas do Arduino nano	53
Tabela 2 – Especificações do minifoguete <i>Rose 1</i>	63
Tabela 3 – Dados coletados do minifoguete <i>Rose 1</i>	64
Tabela 4 – Especificações do minifoguete <i>Rose 1</i>	66
Tabela 5 – Dados coletados do minifoguete <i>Rose 2</i>	67
Tabela 6 – Parâmetros encontrados	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
PSSC	Physical Science Study Committee
OBA	Olimpíada Brasileira da Astronomia e Astronáutica
MOBFOG	Mostra Brasileira de Foguetes
GREEM	Grupo de Estudos do Ensino de Matemática
SBM	Sociedade Brasileira de Matemática
OBF	Olimpíada Brasileira de Física
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
OIAA	Olímpiada Internacional de Astronomia e Astronáutica
OLAA	Olimpíada Latino-Americana de Astronomia e Astronáutica
GOA	Grupo Observacional de Astronomia
IFPI	Instituto Federal do Piauí
IDE	Integrated Development Environment
MFE	Minifoguetes Experimentais
FM	Foguetemodelo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 A EXPERIMENTAÇÃO NO PROCESSO FORMATIVO DOCENTE NO ENSINO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA	17
2.1 DOS PRIMÓRDIOS DA EXPERIMENTAÇÃO AO SEU USO NO MÉTODO CIENTÍFICO	17
2.2 A FORMAÇÃO DOS PROFESSORES DE CIÊNCIAS E A EXPERIMENTAÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA O ENSINO	21
3 ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA E SEU PAPEL INTERDISCIPLINAR NO ENSINO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA.....	24
3.1 BREVE PANORAMA SOBRE O CURRÍCULO DO ENSINO DE CIÊNCIA DA NATUREZA	24
3.2 MULTI, INTER E TRANSDICIPLINARIDADE	26
3.3 O PAPEL EDUCACIONAL DAS OLIMPÍADAS DO CONHECIMENTO NO BRASIL	30
3.4 OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA E A MOSTRA BRASILEIRA DE FOGUETES	31
4 A EVOLUÇÃO DA ASTRONÁUTICA	34
4.1 ASTRONÁUTICA	34
4.2 A ORIGENS DOS FOGUETES E A SUA UTILIZAÇÃO NAS CIVILIZAÇÕES ANTIGAS	35
4.3 O NASCIMENTO DA CIÊNCIA DOS FOGUETES	36
5 FÍSICA DOS FOGUETES: SISTEMA DE MASSA VARIÁVEL.....	41
6 DINÂMICA DOS FOGUETES: EQUAÇÕES DE MOVIMENTO	44
6.1 PESO DO MINIFOGUETE	44
6.2 COEFICIENTE DE ARRASTO DO AR.....	44
6.3 EQUAÇÃO DIFERENCIAL DO FOGUETE.....	46
6.4 SOLUÇÕES ANALÍTICAS PARA EQUAÇÃO DIFERENCIAL DO FOGUETE.....	46
6.4.1 Solução I: deslocamento de subida com ação do motor	47
6.4.2 Solução II: Deslocamento de subida sem ação do motor até o apogeu	49
7 ARDUINO, SENSORES E PROGRAMAÇÃO.....	52
7.1 ARDUINO NANO.....	52
7.2 SENSOR DE PRESSÃO E TEMPERATURA BMP280.....	53
7.3 MÓDULO LEITOR DE CARTÃO MICRO SD	55
7.4 PROGRAMAÇÃO EM LINGUAGEM C++	56
8 METODOLOGIA	58
9 RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
9.1 LANÇAMENTOS DOS MINIFOGUETES.....	60
9.2 ESTUDO TEÓRICO DO MOVIMENTO VERTICAL E AJUSTE DOS PARÂMETROS FÍSICOS	69
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS	74
APÊNDICE A – CÓDIGO COM ALTERAÇÕES.....	80
APÊNDICE B – DIARIOS DE BORDO	81
ANEXO A – CÓDIGO SEM ALTERAÇÕES	87

1 INTRODUÇÃO

Os foguetes sempre foram objetos que sempre fascinaram os seres humanos. Desde da descoberta da pólvora, pelos chineses no séc. XIII, que o ato de lançar algo para cima em chamas cativa e estimula o imaginário. Foi na França no séc. XIX, que Júlio Verne publicaria a sua obra prima, contando a aventura de três tripulantes que iriam à Lua numa espécie de máquina, que rasgavam o céu deixando um rastro de fumaça e esperança para a população da Terra.

Atualmente, grandes empresas e agências espaciais mandam foguetes ao espaço. Essa revolução começou na grande guerra de 1930, o começo da era espacial. Satélites, máquinas, telescópios, robôs e até pessoas. Os foguetes são essenciais para o desenvolvimento científico de hoje e do futuro. Mas, como essas grandes máquinas funcionam?

Mesmo sendo máquinas sofisticadas e modernas, a Física por trás dos foguetes é bastante clássica. Partiu de Issac Newton (1643 – 1727) a noção de que a variação do momento linear, ou seja, da velocidade seria causado por uma força, que no caso dos foguetes é chamada de empuxo. Engana-se quem pensa que as chamas que saem pelo bocal do foguete é que causa aceleração do mesmo. O movimento do foguete ocorre devido os gases que são expelidos durante a queima do combustível. Esses gases saem em alta velocidade, empurram o foguete para frente, esse fenômeno obedecendo diretamente a 3ª Lei de Newton, a Lei da Ação e Reação.

A relação dos foguetes com o ensino de física, é evidente, além da mecânica newtoniana, a termodinâmica e hidrodinâmica. Como forma de tornar mais acessível o estudo de foguetes dentro de ambientes educacionais, uma alternativa é utilizar uma versão em miniatura dos foguetes, os chamados minifoguetes. Enquanto os foguetes podem chegar a comprimentos de prédios de 25 andares, os minifoguetes estão ao alcance das mãos.

Os Minifoguetes (MF) são foguetes de pequeno porte, constituído de estágios, aletas (ou empanas), uma ogiva (ou bico) e um reservatório para o propelente sólido, que geralmente é uma mistura de componentes combustíveis e oxidantes. Com exceção dos materiais que usados na estrutura, um minifoguete é exatamente igual a um foguete real de grande porte. Por sua semelhança com os protótipos em grande escala, os minifoguetes estão ganhando mais espaço dentro das escolas e universidades. Uma crescente no número de entusiastas, vem motivando cada vez mais o estudo desses objetos, principalmente os fenômenos físicos contidos neles.

Grande parte dessa crescente, é graças a Olimpíadas de Astronomia e Astronáutica

(OBA) e a Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG). Esses são eventos científicos organizados pela Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) com parceria da Agência Espacial Brasileira (AEB). Essas competições tem por objetivo aguçar o interesse dos jovens pelas ciências espaciais: Astronomia e Astronáutica, e ciências afins para proporcionar a divulgação dos conhecimentos de forma recreativa, onde os discentes são estimulados a resolver questões elaboradas e pensadas para despertar a curiosidade, reconstruir experimentos e experiências feitos por cientistas no passado e construir foguetes para participar de uma disputa com outros estudantes. Ao trabalhar com o foguetemodelismo, os estudantes colocam em prática conceitos como as leis de Newton, momento linear, estudo de trajetória e velocidades, além de simulações computacionais.

Tendo em mente as considerações feitas, o presente trabalho teve como objetivo estudar o movimento vertical de um minifoguete de dois estágios impulsionado por propulsão à combustível sólido. Para isso, coletamos dados de altitude em função do tempo, assim como utilizamos de equações de movimento de foguetes para encontramos parâmetros que ajudam a entender esse movimento. Esses dados foram analisados por um software gráfico (Excel), e a partir deles, foram gerados gráficos com curvas provenientes do movimento vertical dos minifoguetes.

A coleta de dados para estudar o movimento vertical do minifoguete foi realizada por meio de um sistema de sensoriamento composto por Arduino Nano, sensor de pressão e temperatura BMP280 (altímetro), um módulo leitor de cartão SD e uma fonte de alimentação. Esse sensor de pressão e temperatura, também trabalha com valores de altitude, servindo assim como um altímetro, por isso sua utilização nesse trabalho. Este estudo visa ainda, comparar a curva do movimento vertical proveniente dos lançamentos do minifoguete, com a curva teórica construída a partir de equações de movimento de sistemas impulsionados e sujeitos ao campo gravitacional e a resistência do ar.

O trabalho está dividido em 10 capítulos: A experimentação no processo formativo docente no ensino de ciências da natureza, Astronomia e Astronáutica e seu papel interdisciplinar no ensino da natureza, A evolução da Astronáutica, Sistema de massa variável, Dinâmica dos Foguetes: Equações de Movimento, Arduino, Sensores e Programação, Metodologia, Resultados e Discussões e Conclusão.

No capítulo dois, somos apresentados a gênese do significado de experimentação, as discussões vão desde da filosofia grega de Aristóteles, perpassando a trinca de pensadores: Bacon, Descartes e Galileu. O capítulo é finalizado com a visão de experimentação que

concebemos nas salas de aulas atualmente, uma visão de verdade absoluta e inquestionável.

O papel educacional das ciências irmãs, Astronomia e Astronáutica são assuntos no capítulo 3. Inicialmente, abordamos como estar estabelecido o currículo do ensino de ciências da natureza à Luz das diretrizes oficiais da educação, revelando o caráter fragmentado e desestimulado do currículo das escolas. Em seguida, foi feita uma análise sobre os três campos disciplinares existentes hoje: Multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade, criando um contexto para falarmos sobre as olimpíadas do conhecimento, em especial a OBA e a MOBFOG.

No capítulo 4, temos uma visão histórica a luz da invenção da Astronáutica, dos foguetes e das grandes cientistas por trás dessas descobertas. No capítulo falamos sobre os três eixos da Astronáutica clássica: Konstantin Tsiolkvsky, Robert H. Goddard e Hermann Oberth, pontuamos ainda o papel crucial da Segunda Guerra Mundial no desenvolvimento científico dos foguetes.

Os capítulos cinco e seis são dedicados a discutir a física e a matemática que envolvem os lançamentos dos foguetes. Nesses tópicos estamos interessados em entender como ocorre a propulsão do foguete no vácuo e na presença de forças externas, como a resistência do ar e a gravidade. Nesse capítulo serão discutidas as equações de movimento que utilizamos para os cálculos teóricos.

Os dispositivos que foram usados no trabalho, assim como a metodologia seguida estão descritos nos capítulos sete e oito, respectivamente.

No capítulo nove são mostrados os resultados obtidos dos lançamentos feitos com os minifoguetes *Rose 1* e *Rose 2*, além de descrever todas as variáveis e parâmetros envolvidos no cálculo da curva do movimento vertical, como: apogeu, tempo de voo, massa do foguete e velocidade de escape dos gases. Os gráficos das curvas do movimento do minifoguete e das curvas teóricas são evidenciados e analisados detalhadamente, de modo que a descrição seja fiel aos resultados coletados.

2 A EXPERIMENTAÇÃO NO PROCESSO FORMATIVO DOCENTE NO ENSINO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

Frente as demais metodologias de ensino, a experimentação no Ensino de Ciências é caracterizada por ser motivadora, lúdica, e essencialmente vinculada a facilitação da visualização dos fenômenos em estudo. Do ensino básico ao ensino superior, a experimentação visa potencializar a capacidade de aprendizado, pois funciona como meio de ambientar o aluno nos temas que estão em pauta. Sua forte ligação com o método científico, dá crédito a essa ferramenta pedagógica, introduzida nas salas de aulas como uma alternativa ao professor e aos alunos na construção de um pensamento científico concreto e coerente com o mundo em que vivem (GRUBBA, 2012; GIORDAN, 1999).

2.1 DOS PRIMÓRDIOS DA EXPERIMENTAÇÃO AO SEU USO NO MÉTODO CIENTÍFICO

Em termos gerais, a experimentação é mencionada desde a antiguidade. O filósofo grego Aristóteles defendia a experiência quando reiterava que “quem possua a noção de experiência, e conheça a universal ignorando o particular nele contido, enganar-se-á muitas vezes no tratamento” (ARISTÓTELES, 1979). Segundo Giordan (1999), Aristóteles reconhecia o caráter particular da experiência, sua natureza física como elemento imprescindível para se atingir um conhecimento universal. Ter uma possível resposta sem a experiência, resgata em certo ponto, a temática de se debater as causas sem que se tome contato com os fenômenos empíricos, o que significa ignorar o particular e correr o risco de formular explicações equivocadas.

Esse método investigativo ocupou um papel importante na consolidação das Ciências Naturais a partir da transição do século XVII para XVIII. As leis e teorias formuladas, deveriam passar pelo crivo das situações empíricas propostas, dentro de um processo lógico de elaboração de hipóteses e verificação de consistência. Foi nesse período que ocorreu uma quebra com as práticas de investigação vigentes, que consideravam ainda uma relação dos fenômenos da natureza como uma ligação entre o Homem e o Divino, e que estavam consideravelmente impregnadas pelo senso comum (GIORDAN, 1999).

É dentro dessa perspectiva de reformulação do caráter científico e da construção de uma ciência moderna que nascem duas ramificações do método científico, utilizando a experimentação com centro norteador ou como finalidade causal, o empirismo de Francis

Bacon e o Racionalismo de René Descartes.

Na ciência indutivista (empirista), tendo um dos seus grandes admiradores o inglês Francis Bacon (1561 – 1626), pressupõe-se que todo conhecimento científico, que se projeta a descobrir algo verdadeiro sobre a natureza, deve ser experimental. Bacon entende que o homem só interprete a natureza e a conhece por meio da interpretação dos fenômenos e pelo trabalho da mente, conjuntamente. Nem um, nem outro podem, isoladamente, conduzir à verdade científica, mas unicamente de maneira conjunta; a isso chamamos de indução (BACON, 2003).

De acordo com os estudos de Giordan (1999), para o método baconiano, o acúmulo de observações e dados, ambos decorrentes do estágio de experimentação, permite a elaboração de enunciados mais genéricos que podem adquirir o estágio de leis ou teorias, dependendo do grau de abrangência da questão em estudo e da quantidade de experimentos concordantes. “O processo de formular enunciados mais gerais às custas de observações e coletas de dados sobre o particular, contextualizado no experimento, é a essência da indução” (GRUBBA, 2012, p.6108). Num trecho da sua obra mais famosa¹, Francis Bacon resume, com suas palavras, a filosofia do método:

Só há e só pode haver duas vias para a investigação e para a descoberta da verdade. Uma, que consiste no saltar-se das sensações e das coisas particulares aos axiomas mais gerais e, a seguir, a descobrirem-se os axiomas intermediários a partir desses princípios e de sua inamovível verdade. A outra, que recolhe os axiomas dos dados dos sentidos e particulares, ascendendo contínua e gradualmente até alcançar, em último lugar, os princípios de máxima generalidade. Este é o verdadeiro caminho, porém ainda não instaurado. (BACON, p. 16, 1989).

As ideias de Bacon para um método científico baseado na experimentação como martelo da verdade, foi estudado por muitos filósofos da época, inclusive os pensadores que o próprio Bacon abominava. Mas o método em si não se justificou por completo durante os séculos, perdendo força no meio científico (GRUBBA, 2012).

Na visão de Popper (1993), o método indutivo é falível em decorrência da generalização de axiomas² de fatos particulares, não é correto deduzir enunciados universais de enunciados singulares, assim, então:

[...]está longe de ser óbvio de um ponto de vista lógico, haver justificativa no inferir enunciados universais de enunciados singulares, independentemente de quão numerosos sejam estes; com efeito, qualquer conclusão colhida desse modo sempre pode revelar-se falsa; independentemente de quantos cisnes brancos possamos observar, isso não justifica a conclusão de que todos os cisnes são brancos. (Popper, 1993, p. 27-28).

¹ Publicada em 1620, *Novum Organum* é uma obra dedicada a explicar o funcionamento do método científico fundado por Bacon, o método experimental.

² O axioma, no meio científico, é uma ideia considerada óbvia e tomada como verdade, mesmo sem provas para tal. Na matemática, esses axiomas servem de base para demonstração de outras verdades.

No que alcança propriamente a base experimental, o conhecimento científico, conforme afirmou Einstein (1982), não pode ser construído apenas de observações, pois ela necessita de invenção livre, sendo que somente após essa invenção é que deve ser confrontada com a experiência para que tenhamos conhecimento da sua utilidade. No pensamento indutivista não há espaços para contradições, ou seja, as evidências experimentais devem todas concordar com os enunciados mais genéricos.

Como contraponto ao empirismo baconiano, o racionalismo cartesiano, defendido por René Descartes (1596 - 1650), propõe o acesso ao conhecimento por meio da lógica dedutiva. Descartes designava um novo papel para experimentação, diferente do proposto pelo seu contemporâneo Bacon. O meio para a obtenção do conhecimento, segundo suas ideias, era por um processo dedutivo, que se baseava na determinação de uma influência causal de pelo menos um enunciado geral sobre um evento particular e dessa maneira, entre o percurso existissem eventos experimentais. Em outras palavras, o conhecimento, assim, emerge de um movimento orientado que parte “do geral para o particular” sendo a verdade apenas conhecida através de uma argumentação formal que vem de certas premissas consideradas axiomáticas (GAUER, 2007).

No trecho a seguir retirado da sexta parte – “Que Coisas são Requeridas para Avançar na Pesquisa da Natureza” – do livro *Discurso do Método*, é nítido uma inversão na proposta de Descartes do método científico, comparando-se com aquele feito por Bacon, pois não é mais o acúmulo de evidências particulares que validam o enunciado geral, a lei e a teoria, já que:

[...]às experiências, notei também que elas são tanto mais necessárias quanto mais avançado estamos no conhecimento. Pois no início mais vale nos servirmos apenas daqueles que se apresentam por si mesma a nossos sentidos, e que não poderíamos ignorar (...) a razão é que as mais raras amiúdes enganam, quando ainda não sabemos as causas comuns, e as circunstâncias de que dependem são quase sempre particulares e tão pequenas que é difícil percebê-las (DESCARTES, 2001, pg. 70-71).

Vale destacar a característica de controle que a experimentação passa a exercer com a transformação da Ciência. Esse controle, exercido sobre as variáveis é de certa forma um aval para a validação de um enunciado ou uma lei. O empírico ganha consistência, e o ponto de vista aristotélico, visto no início do tópico, perde força, já que aguçar os sentidos na abordagem dos fenômenos é menos preciso que refinar as variáveis e as medidas instrumentais para torná-las mais exatas e passíveis de reprodução extemporânea, ou seja, que não depende do tempo ou da situação em que ocorre.

Outro grande pensador, o italiano Galileu Galilei (1564 - 1642), edificou de forma

mais ampla a ideia de que a experimentação e a instrumentação têm um papel central no fazer científico, o de legitimar ou orientar nossos saberes.

A partir desses três pensadores, é que a Ciência moderna se estrutura com base numa metodologia científica onde a experiência é planificada com base num labor racional. Suas ideias foram retomadas, já em meados do século XIX, pelo filósofo e sociólogo Auguste Comte (1798 – 1857). No seu tratado *Curso de Filosofia Positiva*, Comte cita o momento em que a Ciência se consolida por meio do método:

[...]É impossível determinar com exatidão a origem precisa dessa revolução, [...], no entanto, já que convém fixar uma época para impedir a divagação das ideias, indicarei a data do grande movimento impresso de Bacon, das concepções de Descartes e das descobertas de Galileu, como o momento em que o espírito da filosofia positiva começou a pronunciar-se no mundo, [...], que as concepções positivas se desprenderam nitidamente do amálgama supersticioso e escolástico que encobria, de certo modo, o verdadeiro carácter de todos os trabalhos anteriores (COMTE, 1983, p.20).

A *práxis* positivista influenciou e ainda influencia as práticas pedagógicas na área de Ensino de Ciências, já que “o positivismo admite apenas o que é real, verdadeiro, inquestionável, aquilo que se fundamenta na experiência” (SKANDAR & LEAL, 2002, p.3). Na escola, as práticas pedagógicas na área de Ensino de Ciências são multidisciplinares, fragmentadas e sustentadas pela aplicação do método científico: seleção, hierarquização, observação, controle, eficácia e previsão. Essa fragmentação do conhecimento em tese ajudaria o aprendiz, pois existiriam especializações em áreas do saber, por meio de uma classificação das Ciências Exatas (Matemática, Astronomia, Física, Fisiologia e Sociologia³).

Nesse âmbito, a experimentação começou a ser utilizada como ferramenta pedagógica, nas escolas tecnicistas da década de 60, como a palavra final sobre o entendimento dos fenômenos naturais estudados. Desenvolver nos alunos o “poder” de observação e extração de dados foi o principal objetivo da experiência no Ensino de Ciências, e de Física em particular, nessa época. Montar o experimento, observar e anotar as variáveis, foram as supostas etapas que os alunos ficaram confinados a realizar, dando uma falsa impressão de que indutivamente assimilariam o conhecimento adjacente e subjacente ao tema central de sua pesquisa (SOUSA, 2012).

Segundo Giordan (1999) e Skandar e Leal (2002), é fácil identificar nos tempos modernos, ainda no pensamento de Comte, os prejuízos que a transposição cega e irrefletida do

³ Mesmo Sociologia sendo uma Ciência Humana, o carácter científico para os estudos sociais, tornava-a um meio termo entre as duas áreas do saber.

método científico e o papel atribuído à experimentação nesse processo, reservam às práticas educacionais no Ensino de Ciências. Comte ao desprezar o carácter filosófico e metafísico, nega o exercício da busca das causas geradoras dos fenômenos, por acreditar que, somente a experimentação pode oferecer as soluções para as explicações positivistas. Para a educação científica, as ideias positivistas demandam de uma fundamentação pedagógico-científica aprofundada, por desconsiderar que o aluno em Ciências é uma representação do mundo, entre outras tantas, que se constroem de forma espontânea ou dirigida por uma *práxis* sócio-histórico-cultural⁴ distinta daquela legitimada pela comunidade acadêmica.

2.2 A FORMAÇÃO DOS PROFESSORES DE CIÊNCIAS E A EXPERIMENTAÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA O ENSINO

O declínio do Ensino de Ciências foi notado pela primeira vez na década de 60, primeiro nos Estados Unidos, e depois na América Latina. Como dito por Rosa e Rosa (2012), o Ensino de Ciências, principalmente ensino de Física, tornaram-se objeto de análise detalhada, após a implementação do projeto *Physical Science Study Committee*, o PSSC. A problemática da época era pautada na busca por soluções aos problemas, que ironicamente, ainda são enfrentados nos dias atuais: baixo desempenho dos alunos, a má formação dos professores e a falta de finalidade e foco nos conteúdos ensinados. A situação atual ainda se torna pior, com o descaso das políticas públicas do governo brasileiro e suas tentativas de sabotar a educação.

Perpassado o século XX, o Ensino de Ciências atualmente é um emaranhado de técnicas e metodologias para efetivar o ensino-aprendizagem de Ciências nas escolas brasileiras. À frente dessas metodologias, a Base Nacional Comum Curricular – BNCC, orienta e articula os objetos de estudo dessa área do conhecimento. É partindo desse documento, idealizado nos moldes da Lei de Diretrizes e Bases da Educação (Lei 9394/1996) que entendemos os rumos do Ensino de Ciências no Brasil.

A BNCC considera o Ensino de Ciências uma integração entre o desenvolvimento científico e tecnológico da sociedade contemporânea, bem como os vínculos que se estabelecem entre ciência, tecnologia, modos de vida e organização social.

⁴ Um dos primeiros teóricos da educação a usar esse termo foi Lev Vygotsky (1896 – 1934), quando pressupõe um ambiente social da aprendizagem, ou seja, é por meio das interações sociais, histórias e culturais que o indivíduo desenvolve suas funções e habilidades superiores (REGO, 2013).

O documento considera ainda que:

Para debater e tomar posições sobre alimentos, medicamentos, combustíveis, transportes, comunicações, contracepção, saneamento e manutenção da vida na Terra, entre muitos outros temas, são imprescindíveis tanto conhecimento éticos, políticos e culturais quanto científicos. Isso por si só já justifica, na educação formal, a presença da área de Ciências da Natureza, e de seu compromisso com a formação integral dos alunos (BRASIL, 2018, p.321).

Assim como nos objetivos do Ensino de Ciências da Natureza, a BNCC traz algumas habilidades que são essenciais para às crianças e jovens durante sua jornada, sendo elas a “diversidade ao conhecimento histórico-científico”, “aproximação gradativa aos processos, práticas e procedimentos de investigação científica”, assim como “fazer escolhas pautadas nos princípios da sustentabilidade e do bem comum”. É destacado ainda princípios metodológicos, como contextualização, problematização, planejamento e implementação de ações investigativas e intervenção na realidade (BRASIL, 2018).

De acordo com a BNCC é essencial que haja “o desenvolvimento do letramento científico, que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico)”. Ou seja, o aluno que estuda Ciências deve figurar como um personagem que está inserido num ambiente, e que tenha plena capacidade de compreendê-lo e interpretá-lo, seja qual for a demanda. E como os alunos irão fazer isso?

No trecho retirado do documento, uma das formas essenciais seria por meio da investigação:

[...] é imprescindível que eles (alunos) sejam progressivamente estimulados e apoiados no planejamento e na realização cooperativa de atividades investigativas, bem como no compartilhamento dos resultados dessas investigações. Isso não significa realizar atividades seguindo, necessariamente, um conjunto de etapas predefinidas, tampouco se restringir à mera manipulação de objetos ou realização de experimentos em laboratório (BRASIL, 2018, p.322).

Mesmo tendo como parâmetro chave para o aprendizado a experimentação, durante todo o documento, essa é uma das poucas vezes que o termo “experiência” ou “experimentação” é citado como uma habilidade ou competência. Ao todo, os dois termos aparecem apenas seis (6) vezes no texto, o motivo teria duas explicações, ou a experimentação não tem mais valor na prática curricular, ou a nomenclatura está inserida em outros termos. O que sabemos é que, a experimentação é essencial para cumprir os objetivos educacionais, principalmente no Ensino das Ciências da Natureza.

Como qualquer feramente pedagógica, a experimentação necessita de uma metodologia centrada no aprendizado do estudante, e é papel do professor fazer com que isso ocorra. Estamos, a partir dessa situação, diante de um dos problemas crônicos da educação

brasileira, a falta de formação continuada e capacitação dos professores de Ciências (ESTÁCIO, 2015).

Para Melo (2021) alguns fatores são determinantes para justificar a falta de práticas experimentais na sala de aula, são eles: A falta de materiais e equipamentos; a falta de local adequado que possibilite a atividade experimental; falta de tempo para sua montagem e execução; e a deficiente formação acadêmica e pós-acadêmica do professor de ciências. O que concorda com Moreira (2018), o qual acrescentam que a deficiência dos professores, em especial da disciplina de Física, provém de uma formação deficiente e fraca, de modo que as aulas em sua maioria ainda são tradicionais, com modelos expositivos, listas de problemas e condução repetitiva de experimentos em laboratório. Para o autor, o professor de Física, não chega a desfrutar de física moderna e contemporânea durante o período de sua formação superior, limitando-se a física do século XVIII e XIX.

Contudo, GATTI *et al.* (2019) afirma que a formação dos professores, nessa nova era, estar intimamente interrelacionada com a sua progressão na carreira, o que os autores chamam de formação continuada. Para eles, mesmo com um déficit na formação inicial, os professores procuram especializar-se em áreas adjacentes as suas, ou mesmo, áreas “inovadoras” como instrumentos didáticos, libras e história da ciência. Portanto, segundo Gatti *et al.* (2019), os professores de física que não tiveram sua formação inicial ideal, podem realizar inovações dentro da sala de aula, inclusive com auxílio da experimentação.

Há, sem dúvidas, uma grande demanda sobre os professores em formação, em termos de saberes que ele precisa dominar. É sensato pensar que nenhum curso de formação básica – por mais incrível que seja – é capaz de “esgotar” esses saberes, que se renovam instantaneamente. Diante disso, seria imprudente pensar que formação profissional de professores de Ciências deva se restringir a um curso de licenciatura com 4 – 5 anos de duração. A formação docente deve ser pensada como um *continuum*, mediante as situações e interações com os estudantes, a escola ou instituições formadoras (MARTINS, 2005; GHEDIN; OLIVEIRA; ALMEIDA, 2018; GATTI *et al.*, 2019).

3 ASTRONOMIA E ASTRONAÚTICA E SEU PAPEL INTERDISCIPLINAR NO ENSINO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

Como visto no tópico anterior, a distribuição curricular entre disciplinas de diferentes áreas do conhecimento, causou em certo nível um conflito entre integração do aprendizado e a especificação do saber. O que seria mais importante para a escola ensinar? Passar uma mensagem de que as disciplinas são harmônicas e se completam, ou passar uma ideia de que as disciplinas, mesmo com certas semelhanças, não podem ser integradas num eixo comum de ensino, causando assim no aluno uma sensação de aprendizagem incompleta? Nessa seção aprofundaremos essa discussão, abordando os pontos positivos de uma educação em ciências da natureza transdisciplinar e de um currículo integrador.

3.1 BREVE PANORAMA SOBRE O CURRÍCULO DO ENSINO DE CIÊNCIA DA NATUREZA

As Ciências da Natureza surgiram da necessidade global do ser humano de buscar sobreviver e evoluir. Desde os períodos mais remotos, o conhecimento científico foi edificando-se e penetrando de forma indiscutível na vida dos seres humanos. As ciências naturais nos direcionam ao conhecimento, as descobertas e à exploração dos fenômenos da natureza, tornando a utilização dessa área do saber essencial no meio educacional e no meio social.

Nas escolas, as ciências da natureza estão presentes desde do ensino fundamental, perpassando o ensino médio e até no meio acadêmico. Segundo a BNCC (2018), essa área do conhecimento é organizada em diversas disciplinas, tais como: Biologia, Física, Química, Astronomia e Geologia. No ensino médio, em particular, a divisão é evidenciada dentre as três primeiras, sendo Astronomia inter-relacionada com a Física. A seguir faremos uma breve discussão sobre os objetivos de cada disciplina à luz da BNCC.

A Biologia, ou Ciência Biológica, é caracterizada pelo estudo da estrutura da vida em toda sua diversidade de demonstrações, caracterizada por processos inter-relacionados que estudam desde os níveis celulares até as relações entre macroorganismos e o meio abiótico. As subáreas estudadas na Biologia, perpassam a Biologia Clássica: botânica, ecologia, citologia e genética e as discussões contemporâneas, como a utilização de tecnologias que envolvem o aproveitamento sustentável dos recursos naturais, as manipulações genéticas e a importância da preservação da biodiversidade (BRASIL, 1999; BNCC, 2018).

O ensino de Química, por sua vez, tem tendências voltadas ao entendimento dos fenômenos químicos, que são transformações da natureza na escala cotidiana, industrial e laboratorial. No processo de ensino, são considerados alguns parâmetros para estudar essas transformações químicas que envolvem fórmulas, convenções e códigos. Os ramos da química no ensino médio vão desde da Química inorgânica, passando pela Química do carbono (orgânica) e estabelecendo conexões com a Física, no estudo da Físico-química (BRASIL, 1999; BNCC, 2018).

A Física, sendo a mais antiga dentre as três ciências, trabalha no âmbito do currículo escolar, as relações existentes no mundo microscópico das partículas fundamentais que compõem a matéria até as leis da gravitação que envolvem a cosmologia do mundo macroscópico, a fim de que estudantes compreendam os processos dinâmicos do universo. Como o conhecimento de Física está ancorado na explicação da natureza, a utilização de grandezas universais, equações e teorias são abordadas em todos os seus ramos. No currículo escolar, os ramos da Física são divididos em: mecânica newtoniana, astronomia (Kepler, Newton e Galileu), termodinâmica, óptica, ondulatória, eletromagnetismo e física moderna (Einstein e Planck⁵) (BRASIL, 1999; BNCC, 2018).

Mesmo sabendo que inúmeros astrônomos e cientistas fizeram importantes contribuições para o desenvolvimento da Astronomia, no ensino médio apenas as Leis de Kepler e a Lei da Gravitação Universal são estudadas, deixando tópicos essenciais de Astronomia de fora da experiência educacional dos estudantes.

Barrios (2010) ressalta a importância da Astronomia para o desenvolvimento dos alunos, para o autor essa disciplina é:

[...] uma das áreas do conhecimento científico que possui um grande potencial educativo, principalmente porque permite tratar problemas da natureza do cosmos e do homem. Apesar disso, não encontrou ainda seu espaço no sistema educativo. Talvez, pelas dificuldades próprias que a área apresenta, considerando a ignorância sobre os conhecimentos de observação básicos, a forte influência das crenças pessoais, os aspectos místicos e religiosos, a deficiência no raciocínio espacial, ou talvez, pela culpa da grande parte dos astrônomos e astrofísicos, que, pouco preocupados com o aspecto educativo desta ciência, não se dedicaram à busca de metodologias que facilitem seu ensino. Este problema se agrava pelo fato de que a Astronomia raramente é trabalhada nos currículos (BARRIO, 2010, p. 161).

Bernardes, Iachel e Scalvi (2008) acrescentam que a Astronomia e Astronáutica são áreas da ciência capazes de “atrair e despertar a curiosidade das pessoas desde de sua formação escolar”. Essas duas disciplinas no currículo escolar, conversam com todas as áreas da ciência

⁵ Geralmente, no ensino médio das escolas públicas, a visão da física do século XX é abordada de forma breve e qualitativa, deixando de fora comentários sobre a relatividade geral e a mecânica quântica.

da natureza, integrando-se a Física, Química, Biologia e até matemática. Por esse aspecto que a Astronomia e a Astronáutica são potencialmente uma área de estudos interdisciplinar, multidisciplinar e transdisciplinar.

3.2 MULTI, INTER E TRANSDICIPLINARIDADE

Uma disciplina dentro do contexto escolar, poderá ser trabalhada de forma a favorecer a sua relação com as demais disciplinas. Essas relações podem ser empregadas em três níveis de organização, que de acordo com Silva e Tavares (2005) são a multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e a transdisciplinaridade. O surgimento desses aportes teórico-pedagógicos é vinculado a necessidade de reconexão entre as disciplinas, devido a organização fragmentada e desarticulada do currículo escolar (FRIGOTTO, 1995).

A multidisciplinaridade, como sua nomenclatura já sugere, é a agregação de várias (multi) disciplinas com o objetivo de entender uma temática comum, vários pontos de vista, exames ou avaliações acerca de um único objeto. Nogueira (2001, p.140) aponta que na perspectiva multidisciplinar “não há indícios de nenhuma relação entre as disciplinas, assim como todas estariam no mesmo nível sem a prática de um trabalho cooperativo”. Almeida (1997, p.11) ressalta ainda que “Na Multidisciplinaridade as disciplinas do currículo escolar, estudam perto, mas não colaboram juntas”.

Ainda na visão de Almeida (1997), a multidisciplinaridade:

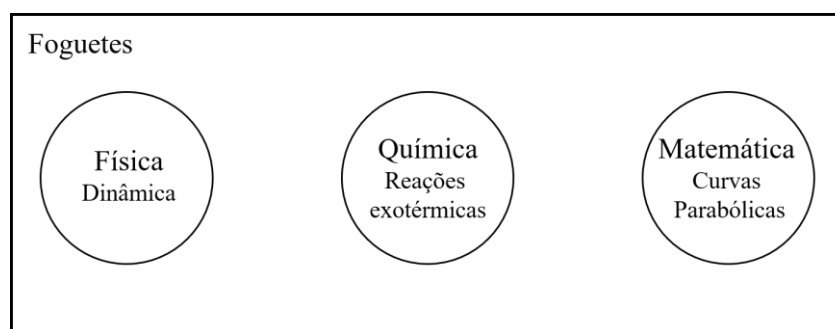
[...] além de ser uma palavra comprida, que soa bem e impressiona audiências incautas seduzidas por novidades, a única certeza que temos sobre ela é que se refere a um conceito em busca de sistematização. É um sistema que funciona através da justaposição de disciplinas em um único nível, estando ausente uma cooperação sistemática entre os diversos campos disciplinares. (ALMEIDA, 1997, p.11).

Na perspectiva multidisciplinar, segundo Silva e Tavares (2005, p.8), “recorremos a informações de várias áreas para estudar um determinado elemento, sem preocupação de interligar as disciplinas entre si”.

A representação esquemática desta situação encontra-se na Figura 1, onde os círculos menores indicam os diferentes campos disciplinares - Física (Dinâmica), Química (Reações exotérmicas) e Matemática (Curvas Parabólicas) - dispostas isoladamente, porém incorporadas por um campo temático representado pelo conteúdo disciplinar “Foguetes”. Na seção seguinte, voltaremos a trabalhar a ideia da Astronáutica como campo disciplinar, e principalmente os

foguetes como objetivo central de estudo.

Figura 1 – Campos Multidisciplinares



Fonte: Elaborado pelo autor

No campo da pedagogia interdisciplinar, os processos metodológicos são baseados na integração (inter) de várias disciplinas com a finalidade de atingir um objetivo comum a todas. É uma abordagem de ensino que agregada conceitos, teorias e fórmulas na tentativa de compreensão por inteiro o conteúdo que será escolhido como objeto central da aprendizagem. Nas palavras de Silva e Tavares (2005, p.9) “As disciplinas interagem entre si em distintas conexões, existe uma coordenação, onde o professor tentará formar o seu aluno a partir de tudo que ele estudou na sua vida”.

Nessa perspectiva da necessidade de integração entre as diversas disciplinas, Pires (1998) afirma que:

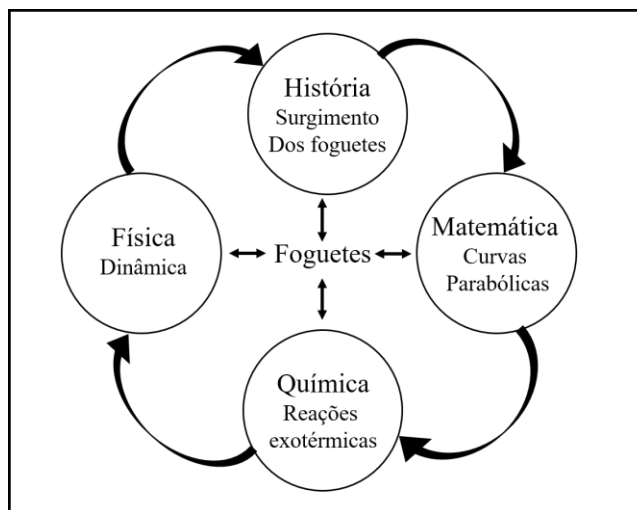
[...] a interdisciplinaridade pode ser tomada como uma possibilidade de quebrar a rigidez dos compartimentos em que se encontram isoladas as disciplinas do currículo escolar. No entanto, ela não deve ser vista como uma superação das disciplinas, mas, uma etapa superior das disciplinas, disciplinas essas que se constituem como um recorte mais amplo do conhecimento em uma determinada área. Este recorte tem o objetivo de possibilitar o aprofundamento de seu estudo, é uma necessidade metodológica legítima e necessária, porém insuficiente para garantir a formação integral dos indivíduos (PIRES, 1998, p.177).

Pelo fato das ferramentas interdisciplinares não serem suficientes para englobar toda a formação dos alunos na sala de aula, o ensino por projetos, as feiras de ciências e as olimpíadas do conhecimento são aliadas dessa pedagogia interdisciplinar. A Figura 2, representa de forma esquemática essa integração entre as disciplinas levando em consideração uma abordagem interdisciplinar e coordenada; atente-se às setas interligando cada tópico, elas representam justamente as conexões estabelecidas entre cada área do saber.

A esquematização da Figura 2, mostra ainda uma vantagem da metodologia interdisciplinar, em relação a multidisciplinaridade – pelo fato de ser uma integração entre disciplinas – outras áreas do conhecimento podem ser agregadas ao conjunto de saberes, mesmo

que essas disciplinas não estejam interligadas de forma curricular. É o caso da história da ciência, que segundo Silva (2011, p.159) “pode contribuir para uma melhor compreensão de diversos aspectos relativos à natureza da ciência”.

Figura 2 – Campos Interdisciplinares



Fonte: Elaborado pelo autor

O ensino/aprendizagem das Ciências, principalmente na educação básica, requer uma prática pedagógica que venha a tornar esse processo mais energético, possibilitando uma articulação, contextualização, religação e globalização dos conteúdos a serem desenvolvidos em sala de aula, de maneira que o aluno seja capaz de entender suas próprias competências, seu próprio conhecimento sobre os problemas do mundo que o acerca – e além. É nessa perspectiva global do aprendizado, que surge na pedagogia contemporânea o ensino transdisciplinar (SILVA, 2011).

Edificado nas ideias do sociólogo da complexidade, Edgar Morin (1921 – atual), a transdisciplinaridade, diferentemente das duas metodologias anteriores, tenta quebrar as fronteiras impostas pelo currículo escolar. Morin (2002) explica que a adoção de uma fragmentação disciplinar agravou problemas de épocas anteriores a nossas, como a especialização e “superespecialização” em disciplinas básicas. Na visão do autor, termos com “Eu sou bom em Matemática, e péssimo em Física” já esclarece essa ruptura do conhecimento científico.

Ainda na visão de Morin (2002), é necessária uma discussão acerca da disciplinaridade em exagero, já que:

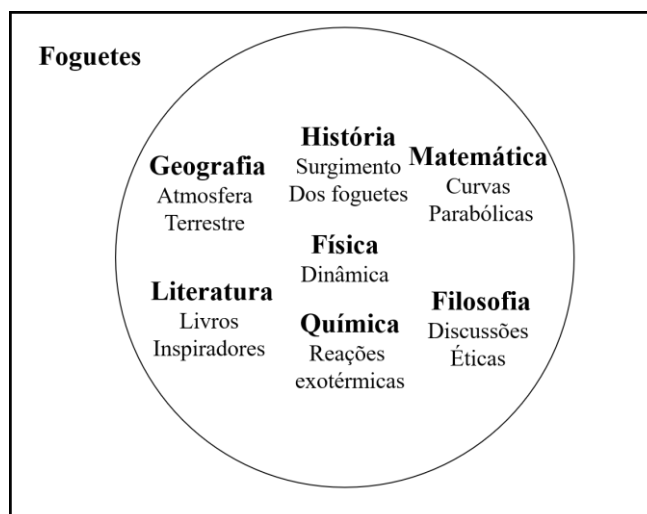
A fronteira disciplinar, com sua linguagem e com os conceitos que lhe são próprios, isola a disciplina em relação às outras e em relação aos problemas que ultrapassam as disciplinas. Desse modo, o espírito hiperdisciplinar corre o risco de se consolidar, como o espírito de um proprietário que proíbe qualquer circulação estranha na sua

parcela de saber (MORIN, 2002, p.40).

Não apontado como uma solução definitiva, mas como uma possibilidade de transpassar as barreiras do saber disciplinar único, a transdisciplinaridade pressupõe a ideia de uma reforma do pensamento dentro do processo de ensino e aprendizagem. A concepção é usar a complexidade do conhecimento moderno para fazer interagir a maior diversidade de disciplinas possível, mas não como setores separados, como na interdisciplinaridade, mas realmente um conjunto integrado de conhecimentos.

A representação indicada na Figura 3 exemplifica, segundo os conceitos de Morin (2002) e Nogueira (2001), os campos transdisciplinares em relação ao conteúdo disciplinar central “foguetes”. Percebemos que na transdisciplinaridade não existem limites (círculos menores) isolando as disciplinas, já que como citado por Morin (2002) “para que nos serviriam todos os conhecimentos parcelares se não os confrontássemos uns com os outros, afim de formar uma configuração capaz de responder às nossas expectativas?”.

Figura 3 – Campos Transdisciplinares



Fonte: Elaborado pelo autor

No Brasil, umas das maneiras encontradas para integrar as disciplinas, principalmente no ensino básico, são as chamadas olimpíadas do conhecimento. Das diversas existentes, destacamos no próximo tópico a importância das Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA) e a Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG).

3.3 O PAPEL EDUCACIONAL DAS OLIMPIADAS DO CONHECIMENTO NO BRASIL

As olimpíadas do conhecimento⁶, dentro do sistema educacional brasileiro, estão sendo um trunfo positivo para atrair a atenção dos estudados do ensino fundamental e médio.

As olimpíadas do conhecimento, segundo Silva (2016, p.21) “são competições intelectuais entre estudantes, normalmente de ensino fundamental ou ensino médio, que consiste na realização de provas e trabalhos”. No Brasil, a primeira dessas olimpíadas aconteceu no estado de São Paulo em 1967 organizada pelo GEEM (Grupo de Estudo do Ensino da Matemática). Nacionalmente, a primeira Olimpíada Brasileira de Matemática foi realizada em meados da década de 80 (CAMPAGNOLO, 2011, p.13).

Inspiradas pela Sociedade Brasileira de Matemática (SBM), outras sociedades científicas começaram a dedicar-se na organização de suas próprias olimpíadas de conhecimento, como a Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA - 1998) e a Olimpíada Brasileira de Física (OBF - 1999). A partir dessa iniciativa, uma verdadeira enxurrada de olimpíadas surgiu por todo Brasil (CAMPAGNOLO, 2011, p. 14)

Atualmente, essas olimpíadas do conhecimento são consideradas pela sociedade científica, momentos ímpares para divulgação, alfabetização e iniciação científica. Na visão do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq):

O caráter competitivo estimula a inventividade dos alunos e professores, além de fornecer elementos fundamentais ao Ministério da Educação para avaliar estudantes brasileiros em relação aos alunos de outros países. Como benefício adicional, muitas olimpíadas incentivam o trabalho em equipe, reforçando hábitos de estudo, o despertar de vocações científicas e os vínculos de cooperação entre equipes de estudantes e professores. (CNPq, 2015).

Além dos prêmios, das medalhas e dos diplomas de participação, outro ponto importante que devemos considerar é qual o tipo de atitude pretende-se formar nos alunos durante todo o percurso de preparação para as olimpíadas. A formação científica, como Ostermann e Rezende (2012, p.252) ressalta, “não pode se restringir a despertar o interesse pela ciência, mas precisa ter, como objetivo, promover o espírito crítico individual e coletivo em relação ao empreendimento científico”.

⁶ O termo olimpíadas do conhecimento também poderá ser entendido como olimpíadas científicas ou olimpíadas de Ciências da Natureza, Língua Portuguesa, Matemática e Ciências Sociais.

3.4 OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA E A MOSTRA BRASILEIRA DE FOGUETES

Não é novidade que a Astronomia e a Astronáutica são ramos das Ciências que foram esquecidas pelo currículo escolar no seu processo de desenvolvimento. Mas por que a necessidade de mais disciplinas no ensino básico? Soler e Leite (2012) explicam:

A Astronomia sempre despertou curiosidade na humanidade, por esse motivo ela possui qualificação de alto nível em meio ao ensino. Com sua grande variedade de conhecimentos, a Astronomia se mostra uma poderosa ferramenta nas mãos do professor dentro da sala de aula, onde adequadamente causa nos alunos enormes impactos da curiosidade e inquietação, além de entusiasmo e prazer diante de temas sobre a natureza do universo (SOLER E LEITE, 2012).

Outra justificativa para entender o papel da Astronomia na sala de aula, é analisando seu caráter interdisciplinar e sua possibilidade de integração com outras disciplinas. Para Dias e Rita (2008, p.58) “os conteúdos de Astronomia podem proporcionar aos alunos uma visão menos fragmentada do conhecimento, pensando mais adiante, esta disciplina ainda poderia atuar como integradora de conhecimentos”.

Sabendo dessa perspectiva integradora que essa antiga ciência poderia trazer para a educação brasileira, Daniel Fonseca Lavouras, juntamente com prof. João Batista Canale idealizaram a primeira olimpíada de conhecimento especialmente focada no ensino de Astronomia e Astronáutica do Brasil. Nas palavras do próprio Lavouras (1998, p.3) “a ideia de realizar uma Olimpíada de Astronomia nasceu da conjunção do interesse pelo desenvolvimento da ciência, com a oportunidade de trazer para o Brasil um evento científico-educacional consolidado”.

A primeira edição das olimpíadas aconteceu em 1998, com participação de 21 escolas de 8 cidades. Atualmente, segundo o último relatório divulgado em 2019, a olimpíada, tradicionalmente conhecida como OBA bateu recordes de participação, com cerca de 884.979 alunos e 9.965 escolas de todos os estados brasileiros. Como consequência, uma equipe de 5 alunos participou da XIII Olimpíada Internacional de Astronomia e Astronáutica (XIII IOAA), trazendo para o Brasil três medalhas de bronze e duas menções honrosas. No mesmo ano, o Brasil também participou da XI Olimpíada Latino-Americana de Astronomia e Astronáutica (XI OLAA), com destaque para as quatro medalhas de ouro e uma de prata (CANALLE, 2019).

Para a organização das olimpíadas, os efeitos de 23 anos dessa competição científica já estão surtindo os progressos esperados “temos observado que os professores das escolas cadastradas ministram mais aulas de Astronomia antes da prova, justamente para deixar seus

alunos mais bem preparados para OBA” (CANALLE, 2019, p.4).

Mas, segundo a própria organização, existem dentro da escola pública e particular diversos tabus com relação a prática de estudar por prazer e dedicação, e consequentemente, conquistar os prêmios da olimpíada:

Acreditamos que a valorização da obtenção das medalhas possa servir para mostrar a todos os alunos que a dedicação aos estudos leva ao sucesso e ao reconhecimento deste sucesso por todos. Infelizmente, parece haver uma inversão de valores em nossas escolas, onde os melhores alunos são taxados de “nerds” como se isso fosse algo ruim, que deve ser evitado por todos. Por outro lado, quanto menos “nerd”, ou seja, menos vitorioso nos estudos, mais popular é o aluno, o que, obviamente, é um comportamento absurdo. Esperamos que este reconhecimento público do sucesso dos medalhistas sirva para contribuirmos com a valorização da dedicação aos estudos (Canalle, 2019, p.21).

Simultaneamente à realização da OBA, acontece a Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG), que consiste na construção e lançamento de foguetes artesanais por equipes participantes de cada escola inscrita na competição.

A divisão da competição é feita por séries, que vão desde do ensino fundamental até os anos finais do ensino médio. As classes de foguetes construídos são: foguetes de canudinhos lançados por impulsão simples (1º ano ao 3º ano), foguetes de folha de papel por impulsão simples (4º e 5º ano), foguetes de garrafa pet com combustível a base de água e ar pressurizado (6º ao 9º ano). Para os alunos do Ensino médio, é requisitado um foguete mais complexo com base de lançamento, calibragem de pressão e combustível de vinagre e bicarbonato de sódio (ver Figura 4) (CANALLE, 2019, p.33).

Figura 4 – Alunos do IFPI/Parnaíba participando da MOBFOG/2021



Fonte: Arquivo Pessoal.

Em 2019, um total de 154.578 alunos participaram da XIII MOBFOG, aproximadamente 2.786 escolas escreveram suas equipes com seus respectivos foguetes. A

principal diferença entre a OBA e a MOBFOG dá-se no sentido do trabalho em equipe promovido pela mostra de foguetes, a colaboração entre os membros da equipe, ressaltando Canalle (2019, p.33), “são motivo de grande união entre os alunos de cada grupo e entre estes e seus respectivos professores orientadores”.

Os foguetes usados na MOBFOG, são da classe de foguetes construídos a partir de uma garrafa plástica de refringente, com aerodinâmica simples, composta por uma coifa (bico), um corpo (estágio) e empenas de plástico. Dentro do estágio do foguete, será introduzido o combustível que impulsionará o foguete durante todo voo. Essa mistura provocará uma liberação de gases que modificará a pressão interna do foguete; ao ser lançado, essa diferença de pressão causará uma força resultante que modificará a posição do foguete (FONSECA et al, 2018).

O alcance dos foguetes é medido do ponto de lançamento ao ponto de aterrissagem do foguete. Geralmente, os professores orientadores e os alunos voluntários utilizam uma fita métrica de longo comprimento, para medir as distâncias. Segundo o site oficial das olimpíadas, os recordes nos alcances dos foguetes foram estabelecidos durante a jornada de foguetes em 2019, um evento que ocorre no estado do Rio de Janeiro com as melhores equipes do circuito de lançamentos da MOBFOG. O recorde atual no nível 4 (para alunos do Ensino Médio) é de 363,00 metros, conquistado pelos representantes da cidade de Sorocaba, em São Paulo (OBA, 2019; Canalle, 2019).

Potencializado pela falta de investimentos em ciência e educação, pela falta de repertório dos professores do ensino básico e pela necessidade de resgatar nos alunos uma motivação para estudar, as olimpíadas do conhecimento, com destaque para OBA e MOBFOG, são encaradas como uma alternativa metodológica para o ensino interdisciplinar de ciências no Brasil. Projetos científicos como esses, são capazes de criar opções de atividades colaborativas para as disciplinas de ciências da natureza, colocando os modelos tradicionalista e mecanicistas em segundo plano.

4 A EVOLUÇÃO DA ASTRONÁUTICA

Em seus primórdios, a astronáutica⁷ era puramente uma teoria que aliava conceitos de dinâmica Newtoniana com a Matemática das equações diferenciais. Antes mesmo de se tornar possível enviar foguete, sondas e telescópios para o espaço, a questão do voo espacial e da magia que era pensar numa viagem espacial interessou figuras como Júlio Verne e H.G. Wells, ambos autores consagrados de ficção científica. No começo do século XX, Konstantin Tsiolkovsky derivou a famosa equação do foguete que tornou possível calcular a velocidade final de um foguete em função da massa final do foguete, esse seria o marco que colocaria a ciência das navegações espaciais como uma das principais fontes de pesquisa e investimentos dentre as grandes áreas de estudo do mundo moderno.

4.1 ASTRONÁUTICA

A Astronáutica pode ser entendida como a ciência que trata da navegação no exterior da atmosfera terrestre. Ela engloba desde a navegação até a construção de máquinas que operam fora das fronteiras da atmosfera, sejam elas tripuladas ou não. A astronáutica, mesmo sendo uma ciência jovem, já contribuiu em diversos aspectos da evolução da ciência e da tecnologia usadas hoje em dia, destacando desde computadores sofisticados a sistemas de telecomunicação global (MOURÃO, 1967; NOGUEIRA, 2009).

Tais descobertas devem-se a Astronáutica, que surge da necessidade do homem em sair da atmosfera terrestre para observar melhor os astros e assim buscar entender o universo e suas origens. Ela, enquanto ciência, desenvolve tecnologias, técnicas e meios para a navegação e estudo do espaço interestelar, bem como auxilia no desenvolvimento de materiais diversos, cuja a utilização não servirá apenas para fins da astronáutica, mas para uma ampla utilização em outras áreas da ciência e da vida. Entretanto, para que fosse possível toda essa evolução se fazia necessário um meio para sair das extremidades do planeta Terra, logo, surge outro personagem no desenvolvimento dessa ciência: Os Foguetes (NOGUEIRA, 2009).

⁷ Do grego, náutica (nautiké) significa ciência da navegação ou arte da navegação. Portanto, astronáutica seria uma espécie de ciência de navegação nos astros. O termo foi proposto em 1927, pelo escritor francês Joseph Genri Rosny (MOISES, 2009)

4.2 A ORIGENS DOS FOGUETES E A SUA UTILIZAÇÃO NAS CIVILIZAÇÕES ANTIGAS

Os grandes foguetes espaciais que são lançados nos dias de hoje, são resultados de aproximadamente 1500 anos de invenções, experiências, erros e descobertas. Frequentemente perdidos nas sombras do esquecimento, os primeiros pioneiros no uso dos foguetes “ultrapassaram os limites” criando dispositivos que possibilitavam a propulsão e consequentemente o voo de objetos e pessoas. Quando as leis que governam o movimento foram descobertas, os foguetes deixaram de ser brinquedos e novidades a dispositivos sérios para o comércio, política, guerra, viagens e pesquisa. Os foguetes levaram a muitas das descobertas mais incríveis de nosso tempo (NASA, 2020).

Arquitas (428 a 347 a.C.), um filósofo, matemático e astrônomo grego, nascido na cidade de Tarento⁸, teria construído e voado em pequenos dispositivos em formato de ave que era impulsionado por uma rajada de vapor ou ar comprimido. Essa “ave” pode ter sido o primeiro dispositivo relatado a usar propulsão de foguete (BORLIN, 2008).

Embora não seja em essência um foguete, a ideia central por trás da propulsão de foguetes foi empregada em uma máquina a vapor inventada por Herão de Alexandria⁹ (10 d.C. – 80 d.C.). A máquina tinha o nome de Eolípila, também denominada máquina de Herão, é uma esfera oca de cobre com dois tubos em formato de L, abastecida por uma bacia com água, que ao ser aquecida por uma fogueira, produzia vapor, fazendo com que este produza movimento. “A esfera girava rapidamente na direção oposta dos jatos de vapor que saíam pelos tubos, e como consequência transformou-se em um brinquedo divertido e seu potencial não foi aproveitado por mil anos” (TRAVER, 2002).

Há divergências em relação ao período em que a pólvora tenha sido descoberta e utilizada. Segundo Mason (1962), os monges taoístas ou alquimistas, que procuravam o elixir da imortalidade, na China no final do período Thang, século XV, poderiam ser os precursores dessas substâncias explosivas. Mas, já no final do período Sung, século XIII, já haviam registros rudimentares de mistura de salitre, enxofre e pó de carvão que produziam faíscas coloridas e fumaça na China. O pó foi usado para fazer fogos de artifício. Tubos de bambu e couraça, fechados em uma das extremidades, foram embalados com pólvora. A depender da quantidade

⁸ Cidade colonial grega no sul da Itália, nas costas do mediterrâneo.

⁹ Herão foi um geômetra e engenheiro grego, responsável pela fórmula que leva seu nome e se aplica ao cálculo da área do triângulo.

de pó e do tamanho da abertura, uma fonte de faíscas ou um estrondo resultaria quando o pó fosse aceso. Assim, o foguete nasceu (NASA, 2020; MASON, 1962).

O primeiro uso de foguetes em guerra foi em 1232 d.C., quando o exército chinês batalhou contra os mongóis, na cidade de Kai-Feng-Fu. Os foguetes primitivos foram anexados a flechas e usados para afastar e abater os invasores. Mesmo sendo armas muito poderosas para época, esses foguetes tornaram-se obsoleto, sendo posteriormente substituído por armas de fogo e canhões (PÔRTO, 2012).

O renascimento dos foguetes como arma militar só veio acontecer 500 anos depois, nas batalhas de Seringapatam¹⁰, na Índia. O chefe militar indiano Tipu Sahib lançou, na diversos foguetes contra as tropas inglesas. Um desses foguetes lançados pelas tropas de Tipu Sahib está exposto no Real Museu de Artilharia, na capital da inglesa, nos registros esses foguetes tinham, um alcance de aproximadamente 300 metros (PÔRTO, 2012).

4.3 O NASCIMENTO DA CIÊNCIA DOS FOGUETES

Até meados do século do século XVI, as explicações sobre o movimento dos foguetes eram baseadas na filosofia natural dos gregos antigos e na matemática elementar. Um dos primeiros cientistas da época renascentista a explicar o movimento de objetos que sofrem influência da gravidade da Terra foi o italiano Galileu Galilei (1564 – 1642). Galileu além de suas outras realizações, entre diversos campos das ciências, promoveu na comunidade científica da época uma revolução com ideias e proposições que incomodaram até a maior instância de poder da época, a igreja católica. Nos seus estudos sobre a movimentos dos objetos, provou que um ponto material em movimentação não precisa da aplicação contínua de força para manter seu estado de movimento. Em seu livro o Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo, Galileu desenvolve de forma mais acurada a sua visão sobre esse fenômeno no movimento dos corpos, que ele chamou de “Inércia” (GALILEU, 2001).

No ano da morte de Galileu Galilei, nasce no condado de Lincolnshire, na Inglaterra, Isaac Newton (1642 – 1726). Sir Isaac Newton condensou toda a ciência dos foguetes em três elegantes leis científicas do movimento dos corpos, em sua primeira lei, a Inércia discutida por Galileu se faz presente. Publicadas originalmente no *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, suas leis, anteriormente compreendidas intuitivamente pelos primeiros amantes dos foguetes, forneceram a base para toda a ciência moderna desses sistemas. Além de Isaac

¹⁰ Esse conflito fazia parte da Quarta Guerra Anglo-Mysore, que aconteceu entre 1798 e 1799.

Newton e Galileu Galilei, os astrônomos Johnnanes Kepler (1571 -1630) e Tycho Brahe (1546 – 1601) foram essenciais para despertar na comunidade científica e na imaginação popular o desejo de viajar para fora da Terra e descobrir os mistérios do universo (NASA, 2020).

Com o avanço dos telescópios e de métodos de catalogação de estrelas e planetas, a conquista do espaço tornou-se um sonho que poderia ser alcançado pela humanidade. Após as descobertas dos planetas Urano e Saturno, nos séculos XVIII e XIX, respectivamente, e dos corpos menores do sistema solar, diversos escritores e dramaturgos começaram a explorar esses elementos nas suas histórias, usando esses elementos como plano de fundo para envolver as pessoas no sonho de viajar pelo espaço.

É no início do século XIX, que a literatura de ficção científica entra no cenário da literatura mundial, falando ao público quais as maneiras e ferramentas de escapar do planeta Terra e viajar pelo universo. Embora tenha sido o escritor francês Archille Eyraud quem primeiro imaginou o emprego dos foguetes como modo de sair do planeta Terra, como relatado no seu livro *Voyage à Vênus*, publicado em 1863, foi o francês Júlio Verne (1828 – 1905) um dos grandes divulgadores da ideia que influenciaram os pioneiros da astronáutica (DINIVO, 2016).

Em seu *De la Terre á la Lune*, Verne usa um canhão gigante para disparar um projétil tripulado em direção à Lua. Embora não seja um foguete convencional, o projétil tinha alguns paralelos com o programa espacial americano Apollo. O projétil era chamado de Columbiad¹¹ e continha uma tripulação de três pessoas. Foi disparado contra a Lua, da Flórida. A cápsula da Apollo 11 foi chamada de Columbia, continha uma tripulação de três pessoas e foi lançada da Flórida. Verne descreveu corretamente como a tripulação se sentiria “sem peso” em sua viagem. Certamente, a tripulação na “nave” não teria sobrevivido à aceleração inicial do tiro do canhão. No entanto, Verne, um dos primeiros visionários da exploração espacial, despertou a imaginação de muitos aspirantes a foguetes e futuros astronautas, entre eles Konstantin Tsiolkvsky (NASA, 2020; DIVINO, 2016).

Inspirado pelas histórias de ficção científica de Júlio Verne, o russo Konstantin Tsiolkvsky é considerado “o pai da cosmonáutica teórica e aplicada” e sua equação do foguete foi um marco para a engenharia espacial. Nascido na Rússia, em 1857, Tsiolkvsky começou sua jornada escrevendo contos de ficção científica, onde introduzia elementos de ciência e tecnologia ao enredo de suas histórias, como a interação de um foguete movendo entre campos gravitacionais. Dentre as diversas publicações ao longo de sua vida, *Exploration of the Outer*

¹¹ O nome é uma referência clássica a um canhão utilizado na guerra de 1812, durante a campanha das tropas napoleônicas na Rússia.

*Spaces by Reactive Devices*¹² (1903) e *Aims of Astronauts* (1914) são as mais notáveis, pois elas são provavelmente as primeiras publicações científicas relacionada a dinâmica dos foguetes (MAHLER, 2013).

Em 1903, Tsiolkvsky apresenta a revista de aviação russa a equação do foguete, também denominada como fórmula de Tsiolkvsky. Essa fórmula estabelece, usando a dinâmica newtoniana, as relações entre a velocidade do foguete, a velocidade do gás na saída e a massa variável do foguete. Esta equação tornou-se a base de grande parte da engenharia e física de naves espaciais feitas na atualidade. Seis anos antes da sua morte, em 1935, ele publicou sua teoria de foguetes com vários estágios, com base em seus estudos da dinâmica de propulsão (DUNBAR, 2010).

Contemporâneo de Tsiolkovsky, Robert H. Goddard (1882 – 1945), foi um importante entusiasta da nova ciência dos foguetes, que se estabelecia no meio científico. Goddard, conduzia experimentos físico com foguetes, motivado pelo modo como se poderia atingir maiores altitudes usando esses veículos diferentes dos balões de ar. Em 1919, Goddard apresentou um panfleto¹³ onde descrevia o funcionamento dos foguetes e métodos matemáticos de otimização de suas trajetórias, foi nesse panfleto¹³ que ele afirmou que essas máquinas conseguem funcionar com maior eficiência no vácuo que no ar. Entusiasta dos estágios, suas pesquisas, em 1914 foram pioneiras para a construção dos foguetes de múltiplos estágios, já que Goddard previa que com múltiplos estágios, eles poderiam atingir o que conhecemos hoje como velocidade de escape (GARNER, 2017).

Financiado pelas forças armadas, Goddard verificou que existiam diversas limitações no uso de propelentes sólidos (pólvora) como meio para impulsão dos foguetes. Com o auxílio do investimento que recebeu do Instituto Smithsonian, ele desenvolveu um pequeno motor de combustível líquido, que seria acoplado em seu primeiro foguete usando esse tipo de impulsão: o protótipo era feito de uma armação araneiforme de três metros de comprimento. O combustível líquido, oxigênio líquido e gasolina, ficam preso em tanques e eram ligados ao motor por tubos de metal soldado, no seu lançamento, atingiu uma altura de 56 metros, alcançando uma velocidade de 102 km/h, provavelmente o antecessor de todos os foguetes modernos (GARNER, 2017; NASA, 2020).

Em 1929, um de seus voos de foguete levavam a bordo a primeira carga científica, um barômetro e uma câmera, para registrar as variáveis dinâmicas no decorrer da trajetória. Durante

¹² Em português: Investigações do espaço sideral por dispositivos reativos. O trabalho teve sua primeira reimpressão em 1911

¹³ Panfleto intitulado “*A Method of Reaching Extreme Altitudes.*”

a Segunda Guerra Mundial, Goddard ofereceu seus serviços e foi designado pela marinha dos Estados Unidos para produção de motores de foguete de propelente líquido e decolagem orientada por jato prático com empuxo variável. Goddard morreu em 1945, mas seu legado se desenvolveu dentro das grandes potências do eixo e na Alemanha Nazista, os foguetes V-2¹⁴ são um dos exemplos disso, atualmente ele é frequentemente referido como o “pai dos foguetes modernos”.

Outra figura central no desenvolvimento dos foguetes modernos, foi o romeno naturalizado alemão, Hermann Oberth (1894 – 1989). Oberth começou seus estudos em medicina, mas com o início da Primeira Guerra Mundial, percebeu que seu talento não era na área médica, mas, em Matemática e Física. Em 1922, já na faculdade de física da Universidade de Heidelberg, apresentou aos pares sua tese de doutorado sobre design de foguetes. Sua pesquisa foi rejeitada, e então, deixou a academia para se dedicar aos estudos dos veículos e do espaço planetário, onde em 1923, publicaria a primeira versão de *The Rocket into Planetary Space*¹⁵ (DUNBAR, 2014; REED, 2013).

Em seu trabalho, Oberth demonstrava matematicamente a capacidade de um foguete de deixar a órbita da Terra, assim como fez Goddard em 1920. Segundo Neufeld (2012), os trabalhos de Oberth e Goddard mesmo contemporâneos são considerados independentes, já que no período entre guerras, as tensões político-militares não facilitavam as trocas de informações entre nações, principalmente as científicas. Oberth também cita nos seus estudos os efeitos potenciais das viagens espaciais no corpo humano e a possibilidade de lançar satélite em órbita.

Para Reed (2013), Hermann Oberth carrega um legado misto. Por um lado, Oberth abriu caminho para o desenvolvimento da construção técnico-científica de foguetes, como o Saturno V, que levou os americanos Neil Armstrong, Edwin “Buzz” Aldrin e Michael Collins a serem os primeiros seres humanos a pisarem na Lua. Por outro lado, ele foi um dos desenvolvedores, juntamente com seu ex-aluno Von Braun, do foguete V-2 para a Alemanha Nazista. O foguete batizado pelo ministro da comunicação nazista, Joseph Goebbels, de arma de vingança, tinha um peso de 120 mil newtons e era capaz de carregar ogivas em uma velocidade incrível para a época. Esses foguetes foram lançados durante a Segunda Guerra, e caíram sobre a Grã-Bretanha, matando quase 3 mil pessoas e ferindo outros milhares.

¹⁴ Utilizado durante a Segunda Guerra Mundial, o *Vergeltungswaffe* (arma de vingança), mas conhecido como foguete V-2, foi um dos primeiros mísseis balísticos, foi usado para bombardear a costa da Inglaterra e a Bélgica.

¹⁵ Esse é o principal trabalho de Oberth, essa mesma obra seria expandida para uma versão com 429 páginas.

Atualmente, a grande maioria dos estudiosos como, Reed (2013), Neufeld (2012), Dunbar (2014) e Garder (2017), creditam a notável contribuição do russo Tsiolkovsky, do americano Goddard e do alemão Oberth para a viabilidade científica e tecnológica do voo espacial e a criação da Astronáutica no fim do século 19 e início do século 20. Seus estudos e criações desencadearam a formação de sociedades espaciais e estimularam outros teóricos a publicarem suas próprias contribuições sobre os elementos da Astronáutica.

Dentre alguns cientistas e engenheiros que tiveram estudos visionários na área de voo espacial, podemos citar o francês Robert Esnault-Pelterie, o alemão Walter Hofmann e o ucraniano Yuri Kondratyuk, todos tendo desenvolvido seus trabalhos em meados do século XX.

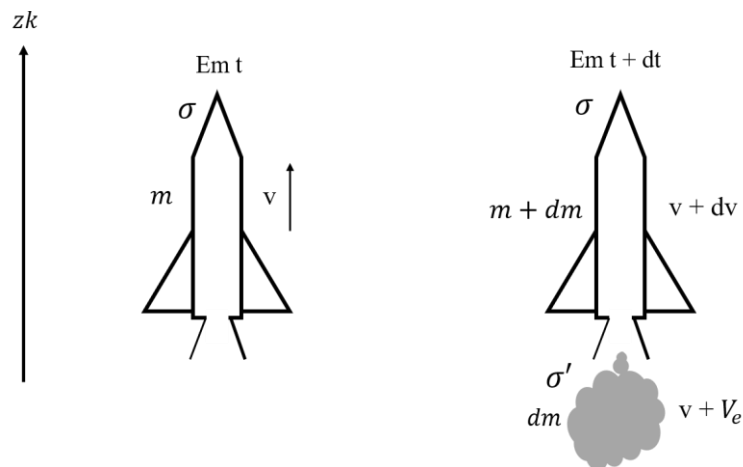
5 FÍSICA DOS FOGUETES: SISTEMA DE MASSA VARIÁVEL

Os foguetes são sistemas bastante estudados em física, principalmente no que se refere as aplicações das leis da mecânica newtoniana. Tratar de um sistema de massa variável. Isso ocorre por que parte da massa de um foguete, antes do lançamento, é constituída de combustível, que é posteriormente queimado e ejetado pelo sistema de propulsão.

Com a finalidade de entender a dinâmica do lançamento dos foguetes, vamos obter as duas equações para o movimento do foguete, uma delas trata da sua trajetória e a outra sua velocidade. Inicialmente, vamos tratar o movimento no vácuo, livre da influência do campo gravitacional e de qualquer força de atrito. Esse caso inicial, nos ajudará a compreender os casos mais complexos e que são de interesse dessa pesquisa.

Consideremos o sistema num determinado instante de tempo t , com uma massa m e uma velocidade v (chamaremos v o módulo do vetor velocidade)¹⁶. Se esse sistema evoluir no tempo $t + dt$, sua velocidade, esperamos, aumenta numa taxa $v + dv$ e sua massa diminui em uma taxa dm , ou seja, $m + dm$, sendo que dm é uma função diferencial dependente do tempo dt . Os produtos de exaustão liberados pelo foguete durante dt têm massa $-dm$ e velocidade de exaustão em relação ao referencial do observador $v + V_e$, onde V_e é a velocidade de escape dos gases.

Figura 5 – Sistema σ nos instantes t e $t + dt$



Fonte: Inspirado em ALVES et al. (2020)

¹⁶ Qualquer grandeza será tratada pelo seu módulo, portanto não discutiremos problemas vetoriais, apenas problemas escalares

O sistema (σ) é fechado e isolado, já que não existem forças externas atuando sobre ele, logo, podemos aplicar o teorema da conservação do momento linear durante dt ,

$$P(t) = P(t + dt) \quad (5.1)$$

No instante t , o sistema tem momento linear $m \cdot \mathbf{v}$, já no instante $t + dt$, teremos a soma do momento do foguete com o momento dos produtos liberados na queima,

$$m \mathbf{v} = (-\mathbf{v} + V_e) dm + (m + dm) (\mathbf{v} + d\mathbf{v}) \quad (5.2)$$

$$m \mathbf{v} = -\mathbf{v} dm + V_e dm + m \mathbf{v} + m d\mathbf{v} + \mathbf{v} dm + dm d\mathbf{v} \quad (5.3)$$

Se considerarmos, o produto $dm d\mathbf{v} \approx 0$, já que se tratam de taxas infinitesimais, podemos reescrever a equação (5.3) como sendo,

$$m d\mathbf{v} = -V_e dm \quad (5.4)$$

Derivando ambos os lados em relação a t , obtemos a expressão para a aceleração do sistema,

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -V_e \frac{dm}{dt} \quad (5.5)$$

Notemos que o lado esquerdo da expressão (5.5) remete a força resultante (F), de acordo com o princípio fundamental da dinâmica de Newton. Isso nos diz que o produto $-V_e \frac{dm}{dt}$ é a força atuante no foguete, denominada de empuxo (T).

Se resolvemos a equação (5.5) pelo método de separação de variáveis e por integração básica,

$$\int_{v_0}^v dv' = -V_e \int_{m_0}^m \frac{dm'}{m'} \quad (5.6)$$

Encontramos a famosa equação do foguete de Tsiolkovsky, citada no capítulo 4,

$$\Delta \mathbf{v} = V_e \ln \frac{m_0}{m} \quad (5.7)$$

Essa equação mostra que no espaço livre de forças externas ou campos gravitacionais, para um $\Delta \mathbf{v}$, quaisquer parâmetros específicos do motor ou da estrutura do foguete não

importam, tudo que interessa é a massa inicial (m_0), a massa final (m) e a velocidade de escape efetivamente constante (V_e) (ULRICH, 2018, p. 39 - 40).

6 DINÂMICA DOS FOGUETES: EQUAÇÕES DE MOVIMENTO

Para avaliarmos o modelo teórico de um foguete lançado num campo gravitacional (g), ou seja, simulando um lançamento real, devemos inicialmente abordar as peculiaridades desse problema. Alguns fatores dinâmicos são determinantes para nosso modelo, principalmente envolvendo o peso do foguete e o coeficiente de arrasto dinâmico.

6.1 PESO DO MINIFOGUETE

O módulo do peso do foguete é determinado pela equação de Newton,

$$p = m g \quad (6.1)$$

Onde, m é a massa do sistema, que depende especialmente do tempo. Como iremos considerar um tempo de queima de propelente muito pequeno em comparação ao tempo total do voo do foguete, podemos aproximar a massa do sistema para seu valor médio, que será constante em toda a trajetória. No capítulo 9 especificamos os valores iniciais e finais da massa do minifoguete e detalhamos seu valor médio durante o voo (ALVES et al., 2021).

Com relação ao módulo do vetor aceleração da gravidade (g), é necessário considerar três pontos: sentido do vetor, o ponto de atuação da força peso e sua magnitude. No que concerne ao sentido do vetor, nas equações posteriores, sempre iremos considerar a força peso com sentido voltado para o centro da terra, e atuando sempre no centro de gravidade do foguete¹⁷. A magnitude considerada foi encontrada levando em consideração a tabela de valores da aceleração de gravidade, em função da latitude e altitude, de Lopes, 2008. Para a altitude e latitude da cidade de Parnaíba-PI, temos que $g = 9,78 \text{ m/s}^2$. Nos cálculos foram desprezados quaisquer efeitos de variação da aceleração em função da altitude, a fim de descomplicar os resultados finais.

6.2 COEFICIENTE DE ARRASTO DO AR

Durante o voo de um minifoguete, ou qualquer objeto que esteja viajando dentro da atmosfera com uma determinada velocidade, este colide constantemente com pequenas partículas de gás ou poeira, e à vista disso, sua dinâmica é alterada por uma força de arrasto ou força de resistência do ar (F_{drag}). Essa força de arrasto (F_{drag}) é causada principalmente pela

¹⁷ Na seção referente aos resultados do lançamento do modelo experimental, abordaremos de forma mais aprofundada a questão do centro de gravidade.

transferência de momento linear entre as partículas e o minifoguete (ALVES et al., 2021; WATERS, 2014)

A força de arrasto do ar é função da velocidade do minifoguete (v), e geralmente é descrita como sendo proporcional a n -ésima potência da velocidade,

$$F_{drag} = -b \cdot v^n \quad (6.2)$$

essa constante b é sempre positiva, e é descrita por:

$$b = \frac{\rho \cdot C_D \cdot A}{2} \quad (6.3)$$

onde ρ é a densidade do ar, A é a área da seção reta do minifoguete que é normal à direção do movimento e C_D é uma constante adimensional que representa o coeficiente de arrasto. Segundo Waters (2014) para foguetes e minifoguetes de pequenas proporções, podemos considerar $C_D \approx 0,75$.

No caso do movimento dos foguetes e minifoguetes, existem duas possibilidades para o valor do parâmetro n na equação (6.2): ou dependência linear, onde $n = 1$, ou dependência quadrática, onde $n = 2$. O parâmetro que regula essa dependência é conhecido como número de Reynolds (Re)¹⁸, definido pela equação (6.4):

$$Re = \frac{\rho \cdot \ell \cdot v}{\mu} \quad (6.4)$$

em que ℓ é o comprimento do objeto, ρ é a densidade do Ar e μ é a viscosidade dinâmica do fluido. Algumas estimativas feitas por Alves *et al.* (2020) e Alves *et al.* (2021) considera que para valores muito grandes do número de Reynolds ($Re > 10^3$), a força de arrasto do ar, equação (2.2), depende de v^2 . De forma simplista, se consideramos as condições normais de temperatura e pressão, a densidade média do ar $\rho \approx 1,20 \text{ kg/m}^3$ e $\mu \approx 2,18 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, para velocidades médias de um minifoguete nessas condições ($v \approx 30 \text{ m/s} - 50 \text{ m/s}$), pode-se estimar o número de Reynolds superior a 10^3 , com uma margem desprezável de erro, demonstrando que a melhor escolha será considerar um arrasto quadrático para o voo de subida do minifoguete (ALVES et al., 2021; Rodrigues et al., 2009).

¹⁸ O número de Reynolds exprime a razão entre as forças de inércia e de atrito no escoamento do fluido (PALMERIO, 2017).

No entanto, vale ressaltar que próximo ao apogeu, a velocidade do foguete é aproximadamente nula e a F_{drag} não obrigatoriamente é da forma quadrática. Desse modo, o módulo de F_{drag} é descrito como:

$$F_{drag} = -b \cdot v^2 \quad (6.5)$$

6.3 EQUAÇÃO DIFERENCIAL DO FOGUETE

Na seção 5 discutimos a dinâmica de um foguete livre de forças externas. Agora, iremos considerar um sistema que se movimenta na atmosfera da Terra, sujeito a ação do campo gravitacional e da resistência do ar. Seja a equação (5.5) a somatória de forças que atuam em um foguete com condições idênticas as já apresentadas na seção 5. Se incluirmos nela as equações (6.1) e (6.5), teremos:

$$m \frac{dv}{dt} = -V_e \frac{dm}{dt} - mg - bv^2 \quad (6.6)$$

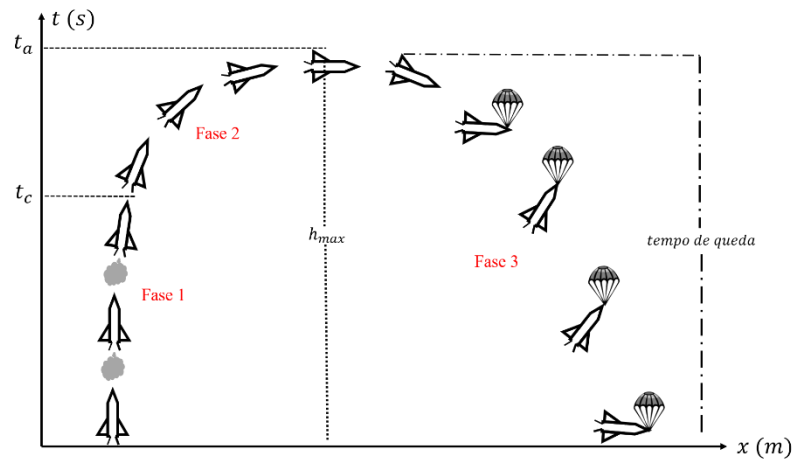
o produto entre a massa restante do foguete ($m = m(t)$) e a derivada temporal da velocidade do sistema é interpretado como a somatória de todos os agentes externos que atuam no sistema. O termo $-V_e \frac{dm}{dt}$, como já dito anteriormente é o módulo do empuxo (T). Vale notar que $dm/dt < 0$, já que a massa do foguete está diminuindo conforme o tempo. O empuxo do motor pode ser obtido mediante testes estáticos, no entanto, para as finalidades deste trabalho, iremos considerar um estado estacionário do motor. Nessa hipótese, tanto a velocidade de escape (V_e) quanto o fluxo de massa (dm/dt) são valores que não sofrem alteração, ou seja, são constantes durante o voo do sistema (ALVES *et al.*, 2020; ALVES *et al.*, 2021; ULRICH, 2018).

6.4 SOLUÇÕES ANALÍTICAS PARA EQUAÇÃO DIFERENCIAL DO FOGUETE

Nessa seção iremos resolver a equação (6.6), afim de obter equações que descrevam a velocidade $v(t)$ e a posição $z(t)$ do minifoguete. Algumas considerações serão necessárias antes de começarmos a resolver a equação de forma analítica.

A princípio, iremos utilizar a abordagem teórica descrita por Abate *et al.* (2014) e Alves *et al.* (2020), que levam em consideração uma divisão da trajetória do foguete em três fases. Sendo a primeira fase – (1) deslocamento de subida do foguete a partir do acionamento do motor até a queima total do propelente, (2) deslocamento de subida do foguete sem ação do motor, apenas com ação das forças de gravidade e de arrasto do ar e (3) deslocamento de queda do foguete¹⁹. A figura 6 mostra de forma ilustrativa as fases do movimento vertical do foguete, sendo que a fase 1 e 2 são durante a subida, e a fase 3 durante a decida do foguete

Figura 6 – As três fases de movimento do minifoguete



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma das principais vantagens de usar esse método de divisão por fases é a simplicidade que teremos nas integrações das funções $v(t)$ e $z(t)$. Sempre utilizaremos de integrações de substituição e integrações tabeladas, que estarão de acordo com o manual de tabelas e integrais de Gradshteyn e Ryzhik (2014).

6.4.1 Solução I: deslocamento de subida com ação do motor

A equação (6.6) é uma equação diferencial não linear em v de primeira ordem. É uma equação diferencial por conter derivadas de funções de $v(t)$, não linear por não poder ser escrita como uma equação linear ($a_0 y^n + a_1 y^{n-1} + \dots + a_n y = g(x)$) e de primeira ordem, pois a sua maior derivada em v é de ordem 1 (BOYCE, DIPRIMA e MEADE, 2021).

Como dito anteriormente, utilizaremos de alguns recursos para simplificar o desenvolvimento matemático de nossas equações. O primeiro deles é considerar a massa

¹⁹ Veremos que não discutiremos nenhuma equação de queda do minifoguete, apenas no capítulo 9 iremos citar as curvas teóricas que nos levam a resultados sobre a etapa de queda do protótipo.

constante durante todo o processo, mesmo sabendo que existam variações, e utilizar uma média entre a massa inicial e a massa final,

$$m = \frac{m_i + m_f}{2} \quad (6.7)$$

Onde m_i e m_f são as massas do foguete no estágio inicial e estágio final do voo. Utilizaremos uma mudança de variável, com o intuito de assingelar as operações matemáticas a frente. Consideremos então,

$$\gamma = -V_e \frac{dm}{dt} - mg \quad (6.8)$$

Dessa forma, a equação (6.6) poderá ser escrita como:

$$m \frac{dv}{dt} = \gamma - bv^2 \quad (6.9)$$

Aplicando o método de separação de variáveis e integrando do repouso [$v = 0, t = 0$] até [v, t], teremos:

$$\int_0^t dt = \int_0^v \frac{m}{\gamma - bv'^2} dv' \quad (6.10)$$

O lado direito da equação é uma integral do tipo substituição trigonométrica triangular, onde faremos uma mudança de variável da forma $vb/\gamma = tgh(\theta)$. Assim, após certas manipulações algébricas, obtemos:

$$t = \frac{m}{\sqrt{\gamma b}} \operatorname{arctgh} \left[\left(\sqrt{\frac{b}{\gamma}} v \right) \right] \quad (6.11)$$

Isolando v na equação (6.11), podemos obter uma função do tipo $v_I(t)$, para a primeira parte da trajetória:

$$v_I(t) = \sqrt{\frac{\gamma}{b}} tgh \left[\left(\frac{\sqrt{\gamma b}}{m} \right) t \right] , t \in [0, t_c] \quad (6.12)$$

O intervalo de tempo em que $v_I(t)$ ocorre é justamente entre o acionamento do motor, enquanto o minifoguete está em repouso na base, e a queima total do combustível do motor em um tempo t_c . Aplicando o método de integração das funções hiperbólicas - Gradshteyn e

Ryzhik (2014, p.110) - na equação (6.12), podemos encontrar a posição vertical do minifoguete $z_I(t)$ para a primeira etapa de voo:

$$z_I(t) = \int_0^v v' dt = \int_0^t \sqrt{\frac{\gamma}{b}} t gh \left[\left(\frac{\sqrt{\gamma b}}{m} \right) t' \right] dt' \quad (6.13)$$

Cuja solução está descrita na equação (6.14):

$$z_I(t) = \frac{m}{b} \ln \left\{ \cosh \left[\left(\frac{\sqrt{\gamma b}}{m} \right) t \right] \right\}, \quad t \in [0, t_c] \quad (6.14)$$

6.4.2 Solução II: Deslocamento de subida sem ação do motor até o apogeu

Analisaremos agora, as soluções $v(t)$ e $z(t)$ para a segunda etapa do voo do foguete, onde não temos ação do empuxo do motor, logo, $-V_e \frac{dm}{dt} = 0$. Nesse caso, o foguete estará apenas sob ação da gravidade e da força de resistência do ar, e por consequência, seu movimento será retardado por ambas as forças até que sua velocidade se anule no apogeu da trajetória. Estamos interessados aqui em saber qual é a altura máxima da trajetória (h_{max}), ou seja, a altura do apogeu.

Inicialmente, reescreveremos a equação (2.5), considerando o termo do empuxo nulo:

$$m \frac{dv}{dt} = -mg - bv^2 \quad (6.15)$$

Façamos novamente a separação de variável, e a integração de ambos os membros da equação (6.15):

$$\int_{t_c}^t dt' = -\frac{m}{b} \int_{v_c}^v \frac{dv}{\left(\frac{mg}{b} + v^2 \right)} \quad (6.16)$$

Ao realizarmos a integração, de acordo com Gradshteyn e Ryzhik (2014, p.68), obtemos:

$$(t_c - t) \sqrt{\frac{bg}{m}} = \arctg \left(\sqrt{\frac{b}{mg}} v \right) - \arctg \left(\sqrt{\frac{b}{mg}} v_c \right) \quad (6.17)$$

Colocando a expressão acima em função de v , podemos escrever a expressão para $v_{II}(t)$:

$$v_{II}(t) = \sqrt{\frac{mg}{b}} \operatorname{tg} \left[\sqrt{\frac{bg}{m}} (t_c - t) + \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{b}{mg}} v_c \right) \right], \quad t \in [t_c, t_a] \quad (6.18)$$

Onde t representa o intervalo de tempo entre o final da queima do propelente e o instante em que o minifoguete atinge o apogeu.

Note, que quando o minifoguete chega no apogeu, em t_a , a sua velocidade será nula, ou seja, $v_{II}(t_a) = 0$. Se usarmos esse fato na equação (6.18), teremos condições de explicitar o instante em que o foguete atinge o apogeu, somente em função de t_c, m, b, g e v_c :

$$t_a = t_c + \sqrt{\frac{m}{bg}} \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{b}{mg}} v_c \right), \quad t \in [t_c, t_a] \quad (6.19)$$

Doravante, substituindo a equação (6.19) na equação (6.18), vamos obter uma solução para $v_{II}(t)$ mais explícita em função de t_a :

$$v_{II}(t) = \sqrt{\frac{mg}{b}} \operatorname{tg} \left[\sqrt{\frac{bg}{m}} (t_a - t) \right], \quad t \geq t_c \quad (6.20)$$

Para encontrarmos a posição final do foguete, ou seja, o apogeu do minifoguete, devemos realizar uma integração da equação (6.20). Essa integral é simples, pois trata-se de uma função trigonométrica. Façamos, portanto a diferença entre $z_{II}(t)$, que corresponde a posição do minifoguete em qualquer lugar entre $t \geq t_c$ e $z_I(t_c)$, que corresponde a exata posição onde o motor queima totalmente seu combustível. Dessa forma teremos que:

$$z_{II}(t) - z_I(t_c) = \int_{t_c}^t \sqrt{\frac{mg}{b}} \operatorname{tg} \left[\sqrt{\frac{bg}{m}} (t_a - t') \right] dt' \quad (6.21)$$

Essa integração, disponível em Gradshteyn e Ryzhik (2014, p.64), resulta em:

$$z_{II}(t) = z_I(t_c) + \frac{m}{b} \ln \left\{ \frac{\cos \left[\sqrt{\frac{bg}{m}} (t_a - t) \right]}{\cos \left[\sqrt{\frac{bg}{m}} (t_a - t_c) \right]} \right\} \quad (6.22)$$

Obtemos a altura máxima h_{max} , fazendo $t = t_a$ na equação (6.23), ou seja, a posição do apogeu:

$$h_{max} = z_I(t_c) - \frac{m}{b} \ln \left\{ \cos \left[\sqrt{\frac{bg}{m}} (t_a - t_c) \right] \right\}, \quad t_a = t \quad (6.23)$$

As equações (6.14) e (6.22) são os resultados que utilizaremos nas abordagens teóricas e na elaboração de uma modelagem gráfica que será encontrada nos resultados e considerações finais dessa pesquisa. As deduções e considerações matemáticas dessas equações podem ser encontradas nos trabalhos de Alves *et al.* (2020), Alves *et al.* (2021), Abate *et al.* (2014) e Rodrigues *et al.* (2009). Cada autor teve uma contribuição importante para as soluções citadas, mesmo que utilizando técnicas diferentes.

7 ARDUINO, SENSORES E PROGRAMAÇÃO

As aquisições de dados da trajetória do minifoguete serão feitas através de um sistema de monitoramento desenvolvidos por membros do Grupo Observacional de Astronomia (ALFA SCORPII/GOA/IFPI). O sistema é integrado, um arduino nano é responsável por controlar os dois sensores que estão acoplados. O primeiro sensor é o de pressão e temperatura BMP280 (altímetro²⁰), o segundo componente é um módulo leitor de cartão micro SD; o sistema será alimentado por uma bateria de 9V. A seguir, falaremos detalhadamente da função de cada componente eletrônico do sistema de monitoramento e do código em linguagem C++ que foi desenvolvido.

7.1 ARDUINO NANO

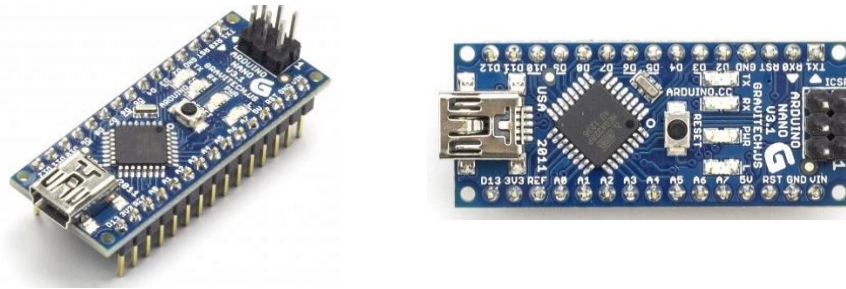
O Arduino é um hardware baseado nos microcontroladores AVR da Atmel, e segundo Banzi (2011), é uma plataforma de computação física de fonte aberta, com base em placa simples de entrada/saída (*input/output*). Essa plataforma foi desenvolvida para promover a interação física entre o ambiente e o computador utilizando dispositivos eletrônicos de forma simples e baseada em software e hardwares livres.

De forma resumida, a plataforma consiste em uma placa de circuitos com entradas e saída para um microcontrolador AVR. Esse microcontrolador é constituído principalmente de um microprocessador, memória e periféricos de saída e entrada e pode ser programado para funções específicas, como por exemplo, piscar leds, controlar máquinas de pequeno/médio porte e coletar dados do ambiente, como temperatura e pressão (CAVALCANTE, TAVOLARO, MOSALINI, 2011).

Dos diversos tipos de Arduino que existem no mercado, Uno, Mega 2560, Micro, Leonardo, Duemilanove, Nano, Pro Mini, Lilypad e Trinket, alguns destacam-se pela praticidade no uso embarcado em sistemas móveis, como o caso do voo em minifoguetes. Dentre as opções, iremos utilizar na pesquisa o Arduino Nano, pelo seu baixo custo, sua alta disponibilidade no mercado e simplicidade de conexões a computadores de diversos sistemas operacionais.

²⁰ É um instrumento para medir altitudes, baseado na reflexão de ondas sonoras ou na medição da variação da pressão local.

Figura 7 – Placa Arduino nano visão lateral e frontal



Fonte: Store. Arduino.cc.com.br

O Arduino Nano, visto na Figura 7, é uma versão compacta da versão Duemilanove. Pode ser acoplada a uma *protoboard* com uma porta miniUSB acoplada. Como o sistema de monitoramento tem que ser minimizado o máximo possível para ser inserido dentro do minifoguete, o Arduino Nano atende especificações que permitem essa minimização. Na Tabela 1 encontram-se algumas especificações da placa do Arduino Nano.

Tabela 1 – Especificações técnicas do Arduino nano

Características do modelo	Arduino nano
Microcontrolador	ATmega328
Tensão operacional	5 V
Memória flash	32 KB
Velocidade de Clock	16 MHz
Pinos In analógicos	8
EEPROM	1 KB
Tensão de entrada	7-12 V
Pinos de E/S digitais	22
Tamanho PCB	18 mm x 45 mm
Peso	7 g

Fonte: Store. Arduino.cc.com.br.

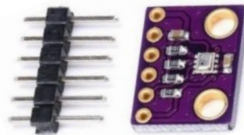
7.2 SENSOR DE PRESSÃO E TEMPERATURA BMP280

O sensor de temperatura e pressão atmosférica escolhido será o BOSCH BMP280, ver Figura 7. Esse sensor realiza medições de pressão com uma precisão ± 1 hPa e temperatura com

precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$, com esses valores, será possível medir altitudes com margens de erro de ± 1 metro. A faixa de medições que o BMP280 efetua corresponde à uma faixa de 300 a 1100 hPa, que equivale uma faixa de altitudes de + 9000 metros à - 500 metros (BOSCH, 2015).

Esse sensor, visto na Figura 8, foi escolhido para integrar o sistema por ser o dispositivo, atualmente, mais completo para sua função, superando o antigo BMP180.

Figura 8 – Sensor de temperatura e pressão BMP280.



Fonte: filipeflop.com

O BMP280 foi projetado para ser conectado diretamente a um microcontrolador de um dispositivo móvel através do barramento I2C²¹. Além da comunicação I2C, também dispõe de um módulo piezo-resistivo²², um conversor AD e uma unidade de controle, o próprio dispositivo possui um sistema de calibragem, a fim de compensar falhas ou dependência da temperatura e outros parâmetros do sensor (BOSCH, 2015).

Inicialmente, para medição de pressão e/ou temperatura, o microcontrolador envia uma sequência inicial de dados para aferir as medidas das grandezas a serem calculadas. Após a conversão das medidas e a detecção pelo sensor, a pressão e/ou temperatura podem ser lidas através da interface serial do arduino. Para os dados de temperatura em $^\circ\text{C}$ e a pressão em hPa ($1\text{hPa} = 100\text{Pa}$), os dados de calibração devem ser usados.

A altitude (h), que será o foco principal desse trabalho, pode ser obtida a partir do cálculo da pressão atmosférica local (p) e da pressão atmosférica ao nível do mar ($p_0 = 1013,25\text{ hPa}$), utilizando a fórmula barométrica internacional, descrita pela equação (7.1).

$$h = 44330 \left(1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{5.225}} \right) \quad (7.1)$$

²¹ O Barramento I2C é um barramento de comunicação serial que utiliza apenas dois fios, SDA e SCL, e alimentação (VCC), tipicamente de 3.3V ou 5V. Sua simplicidade é compensada por uma rápida velocidade de comunicação.

²² O módulo piezo-resistivo utiliza um diafragma de medição semicondutora de silício com estruturas seletivamente fundidas. Basicamente, a medição é feita através da variação da resistência elétrica nos materiais semicondutores causada pelo alongamento ou compressão do módulo. (DERENCIO, 2018).

Dessa forma, cada variação de pressão de 1hPa corresponde a uma variação de $\approx 8,40$ metros ao nível do mar. No código desenvolvido, precisamos apenas informar a pressão local e o programa processa em *loop* as variações de pressão e altitude no decorrer do tempo e da trajetória do minifoguete. Qualquer flutuação nos dados é corrigida pelo sistema de calibragem do sensor BMP280 (BOSCH, 2015).

A equação (7.1) é válida num regime de temperatura constante, ou seja, durante a coleta de dados, não iremos considerar mudanças de temperatura de acordo com a variação de altitude. De acordo com as teorias da hidrodinâmica atmosférica, a temperatura e a altitude são grandezas inversamente proporcionais: uma variação de 150 metros na altitude local, partindo ao nível do mar, pode causar uma queda de aproximadamente 1°C . Como iremos trabalhar numa faixa de lançamento abaixo de 100 metros de altitude, podemos desprezar essas pequenas variações (CHRISTOPHERSON, 2012; TULER, 2014).

7.3 MÓDULO LEITOR DE CARTÃO MICRO SD

O módulo leitor de cartão micro SD, ver figura 9, é um dispositivo de armazenamento de dados de fácil conexão com periféricos externos, principalmente computadores e notebooks.

Figura 9 – módulo leitor de cartão micro SD



Fonte: Flipflop.com

A sua função no sistema é ser utilizada como um *Datalogger*, que é basicamente um sistema de registro e armazenagem de dados. Ao ser ligado ao arduino e ao sensor BMP280, o módulo irá armazenar os dados coletados do sensor por meio da interface I2C. O módulo irá criar a partir disso uma planilha de dados em um documento no formato .txt, que após verificação serão analisados em um programa de modelagem gráfica como *Excel* e *Python*.

Na linha de armazenamento de dados por Arduino, existem dois métodos mais conhecidos: um deles é por meio da utilização de memória SD, método que será utilizado nesse trabalho, ou através da memória EEPROM que é uma memória específica e interna do próprio microcontrolador. A única desvantagem da utilização da EEPROM é sua falta de acessibilidade

para verificações externas, já que não possui conexões junto ao computador e envio de dados para um arquivo .txt para leitura em programas de análise de gráficos. Por esse motivo, optamos por utilizar o módulo SD junto com um cartão de memória de 8 GB, a fim de facilitar a leitura e o tratamentos dos dados.

7.4 PROGRAMAÇÃO EM LINGUAGEM C++

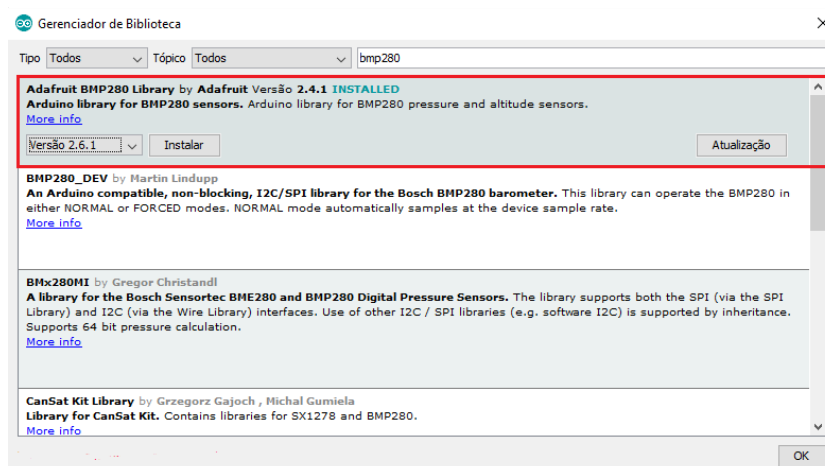
A linguagem C++ é uma das linguagens mais populares dos últimos anos, principalmente entre usuários de microcontroladores, como o Arduino. O código que controla e repassa as instruções para o sistema de monitoramento foi criado utilizando essa linguagem juntamente com o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE²³) do Arduino. O código original e sem modificações encontra-se no anexo A. Com o intuito de facilitar a compreensão dos leitores dessa pesquisa, e principalmente para aqueles que irão reproduzir os resultados, nessa secção iremos comentar sobre a instalação da biblioteca que gerencia o sensor BMP280 e as modificações feitas no código original afim de melhorar a performance dos sensores.

O código foi desenvolvido utilizando cinco bibliotecas, dentre elas a biblioteca (<Adafruit_BMP280.h>), que é responsável por executar as tarefas relacionadas ao sensor BMP280, como configurar o altímetro, ler os dados de temperatura e pressão e fazer a conversão de pressão em altitude por meio da relação (3.1). Essa biblioteca pode ser instalada na IDE do arduino usando a referência “*bmp280 library*” no gerenciador de bibliotecas, ver figura 10.

Com a biblioteca instalada, a configuração do código torna-se simples. Na guia de exemplos de biblioteca personal, estão disponíveis os modelos para a biblioteca *Adafruit BMP280 library* com a opção de código “*bmp280test*”. A partir desse código, é possível a aquisição dos dados de temperatura, pressão e altitude. Porém, o código original, gerado pela biblioteca *Adafruit BMP280* não integra a marcação de tempo, que é um dos fatores mais importantes na análise da trajetória. Devido a esse fator, modificamos o código original.

²³ Do inglês *Integrated Development Environment*

Figura 10 – Instalação da biblioteca Adafruit BMP280



Fonte: IDE do arduino.

No apêndice A foi disponibilizado o código com as alterações tanto para a inclusão de um marcador de tempo, para registrar a altitude em função do tempo decorrido, quanto para inserção do código para armazenamento de dados no cartão SD. Essas mudanças foram realizadas no código disponibilizado “bmp280test”, a figura 10 revela as alterações das linhas de código dentro da função *loop*. Tanto o marcador de tempo “tempoInicio = millis()” quanto a função de armazenamento “data = SD.open” foram as principais modificações feitas.

Figura 11 – Função loop do código modificado

```
void loop() {

    tempoInicio = millis();

    data = SD.open("DadoLOG.txt", FILE_WRITE);    //identificando o Arquivo MetData.txt e abrindo
    if (data) {
        Serial.print(tempoInicio / 100);
        Serial.print("\t");
        Serial.print((bmp.readAltitude(SEALEVELPRESSURE_HPA))-15.5);
        Serial.println(" ");

        data.print(tempoInicio / 100);
        data.print("\t");
        data.print((bmp.readAltitude(SEALEVELPRESSURE_HPA))-15.5); //registrando os valores de Altitude
        data.println(" ");
        data.close();
    } else {
        Serial.println("Erro ao abrir o arquivo datalog.txt");
    }

    tempoFim = millis();
    delay(100 - (tempoFim - tempoInicio));
}
```

Fonte: IDE do arduino.

8 METODOLOGIA

O propósito central dessa pesquisa é estudar o movimento vertical de um minifoguete de dois estágios com propulsão a combustível sólido. No que concerne ao estudo do movimento do minifoguete, estamos em busca de descrever as variáveis que influenciam na sua curva vertical, em especial a altitude em função do tempo, o apogeu, tempo de voo, massa do foguete e velocidade de escape dos gases.

Para coleta de dados, foram utilizados um sistema de monitoramento acoplado ao minifoguete durante todo o voo. Esse sistema foi desenvolvido pelo Grupo Observacional de Astronomia (GOA/IFPI) e testado em minifoguetes dentro da região da cidade de Parnaíba-PI durante os meses de janeiro e fevereiro de 2022. A ideia para a construção do sistema acarretou nesta pesquisa, e a posteriori em pesquisas que serão desenvolvidas pelo grupo nos próximos meses, focando principalmente nas olimpíadas de conhecido: OBA e MOBFOG.

Os dados foram coletados através do sensor de pressão e temperatura BMP280 e armazenados em formato .txt no módulo SD. Essas operações foram controladas por meio de um Arduino Nano, como já citado na seção 7 deste trabalho. Esses dados foram analisados, modelados utilizando o Excel (pacote office), escolhemos esse gerenciador de dados pelo fato de ser fácil de manusear e por ser um dos softwares gráficos com mais disponibilidade para professores e alunos. O tratamento dos dados no Excel constituiu-se de gerar duas tabelas com dados, uma das tabelas continha os dados com o tempo de cada marcação de altitude, e na outra tabela integrava os dados de altitude. Dessa forma, cada valor de tempo correspondia a um valor de altitude registrado pelo sistema dentro do minifoguete. A partir disso, utilizando os recursos do software conseguimos plotar os gráficos de altitude em função do tempo, como veremos na seção 9.

Estes gráficos foram confrontados com os resultados teóricos que foram desenvolvidos durante todo capítulo 6 da pesquisa. O objetivo foi comparar o modelo teórico exposto com os resultados experimentais provenientes dos lançamentos que foram realizados junto ao minifoguete. A partir dessa comparação, foi possível ajustar parâmetros teóricos essenciais que estão presentes nas equações matemáticas (6.14) e (6.23), e assim entender as diferenças existentes entre um modelo teórico ideal e um experimento realizado em condições reais. Ainda, utilizando os gráficos, pudemos gerar os gráficos de velocidade em função do tempo, a partir da derivada da curva vertical. Esses gráficos também são expostos na seção dos resultados da pesquisa.

A pesquisa foi realizada utilizando de uma abordagem descritiva e experimental para atingir os propósitos e objetivos. De acordo com Gil (2002), uma pesquisa descritiva tem como aspecto fundamental a descrição das características de determinado fenômeno e o estabelecimento de relações entre as variáveis que o compõe. Esse *design* de pesquisa, aliado com a pesquisa experimental – que segundo o mesmo autor, é uma forma de pesquisa que busca centralizar um objeto de estudo e caracterizar suas variáveis mais importantes afim de observá-las e controlá-las – seria, portanto, um modelo metodológico ideal para os propósitos da análise e coletas de dados dessa pesquisa (GIL, 2002, p.47).

Além do mais, fez parte do cerne desse trabalho produzir um diário de bordo (Ver Apêndice B) com os relatos de cada tentativa de lançamento do minifoguete, mostrando os erros cometidos, as falhas mecânicas e os ajustes do experimento, assim como descrever nesse diário as informações e observações que possam vir ajudar aos interessados na reprodução desse experimento. Utilizamos essa abordagem com a finalidade de exibir o potencial que esse estudo possa ter dentro do ambiente do ensino de ciências da natureza na educação básica, principalmente no novo Ensino Médio que se foi iniciado em 2022. Nosso objetivo não é propor um instrumento didático, mas mostrar por meio dos resultados obtidos que o minifoguete com o módulo de sensoriamento é um produto educacional interdisciplinar que pode ser construído por professores e alunos e a partir dele, pode-se realizar um estudo sistemático dos fenômenos físicos que o cercam.

9 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados relativos à aquisição de dados de altitude proveniente dos lançamentos realizados pelos minifoguetes *Rose 1* e *Rose 2* e seu sistema de sensoriamento remoto. Além disso, serão discutidos os modelos matemáticos a respeito da trajetória do minifoguete, utilizando como base os parâmetros dos dois minifoguetes e as variáveis descritas no capítulo 6. Os resultados são discutidos, com objetivo de analisar a validação da experimentação realizada com respeito a teoria físico-matemática abordada, além de relatar o funcionamento do sensor e seu uso nos minifoguetes.

9.1 LANÇAMENTOS DOS MINIFOGUETES

Durante a etapa de desenvolvimento e obtenção dos resultados dessa pesquisa, utilizamos dois tipos de minifoguetes, o *Rose 1*, primeiro minifoguete lançado e que obteve êxitos na aquisição dos dados e o *Rose 2*, que foi o minifoguete posterior ao *Rose 1*, com melhor performance de voo e melhor aquisição dos dados referentes a variação de altitude. Inicialmente, iremos analisar os resultados obtidos pelo primeiro, e em seguida, estenderemos a análise para o minifoguete *Rose 2*.

O minifoguete *Rose 1* se encaixa na classe de foguetes denominado minifoguetes experimentais (MFE), que difere dos foguetemodelo (FM) por ser livre de restrições quanto aos materiais utilizados e a potência útil do motor. Esse tipo de minifoguete, como destaca Alves et al (2020), são utilizados tanto no ensino de ciências, para trabalhar conceitos da Física, Química e Astronomia, quanto em competições oficiais de foguetemodelismo²⁴. *Rose 1* foi adquirido juntamente ao uma loja virtual especializada em fabricação e venda de minifoguetes²⁵.

Figura 12 – minifoguete *Rose 1* versão sem ajustes



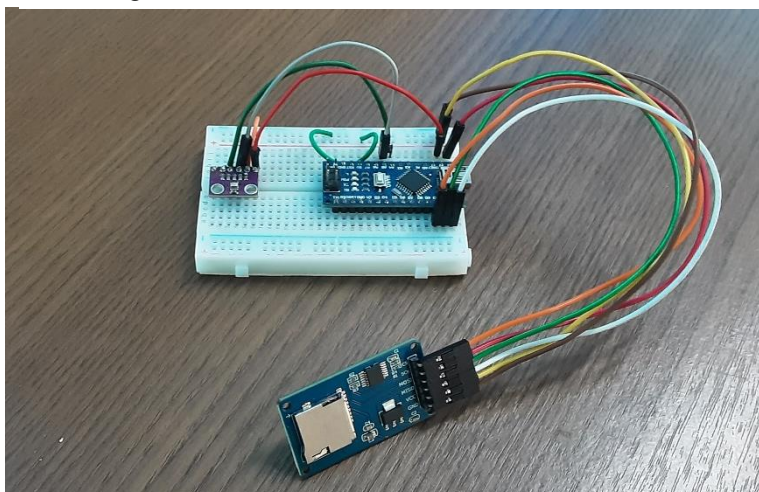
Fonte: Arquivo Pessoal.

²⁴ O foguetemodelismo é a prática de cunho educacional, profissional e esportivo que se destina ao projeto, construção e lançamento de modelos de foguetes ou minifoguetes.

²⁵ O minifoguete foi adquirido pelo grupo Bandeirantes da empresa Boa Vista Modelismo Ltda. O *Rose 1* pertence a classe de minifoguetes espaciais educativos ORION.

Na figura 12, além da fotografia do Rose 1 montado, também podemos ver um Arduino Nano, próximo da ogiva do minifoguete. Inicialmente, pensamos em montar o sistema de monitoramento, com o sensor de pressão e temperatura BMP280, módulo micro SD, a bateria de 9 V e o Arduino Nano, acoplados numa protoboard, como ilustrado na figura 13.

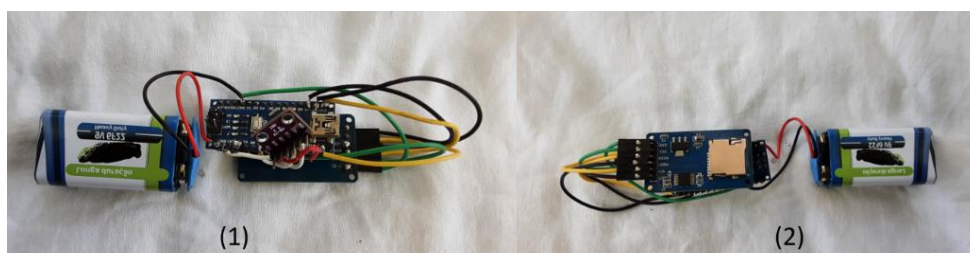
Figura 13 – Versão inicial do sistema de sensoriamento



Fonte: Arquivo Pessoal.

A ideia de usar a protoboard logo foi descartada, já que o minifoguete não comportou o sistema, por conta de sua largura e sua massa. Logo, necessitaríamos retirar a protoboard do protótipo, e fazer a soldagem dos componentes diretamente na placa arduino, juntamente com a fonte de alimentação do sistema. Na figura 14, temos o resultado final do sistema de sensoriamento, esse mesmo protótipo foi usado nos demais testes, tanto no *Rose 1* versão adaptada como veremos a seguir, como na versão *Rose 2*.

Figura 14 – Sistema de Sensoriamento



Fonte: Imagem tira do arquivo pessoal do autor.

O sistema superou as expectativas iniciais, tanto nas funções de coleta de dados, quanto na sua resistência a impactos com o solo. A única desvantagem encontrada foi na parte elétrica; como estamos trabalhando com solda em componentes eletrônicos muito pequenos e muito próximo, pode haver o risco de mal contato ou curto circuito. Em testes iniciais o sistema não fazia as coletas corretamente, após verificação da soldagem do circuito esse problema foi

solucionado.

Mesmo com a minimização do sistema de sensoriamento remoto, medindo 3 cm largura por 10 cm de comprimento, o minifoguete *Rose 1* ainda assim não suportou a entrada sistema, já que o diâmetro máximo do foguete era 2,45 cm. Dessa forma, com auxílio de uma impressora 3D, modelamos uma peça que pudesse suportar a entrada do sistema de sensoriamento, e ao mesmo tempo ser um estágio adicional ao minifoguete da figura 12. A modelagem consistiu em projetar um cilindro de diâmetro de aproximadamente 3,4 cm e altura de 11 cm, capaz de comportar o sistema, sem danificá-lo.

Figura 15 – Peça impressa na impressora 3D



Fonte: Arquivo Pessoal.

Dessa forma, teríamos que adaptar o foguete original a nova peça impressa. Sabíamos que ao colocar uma peça extra no minifoguete perderíamos a qualidade de fábrica, mas as alterações foram necessárias afim de coletar os dados do *Rose 1*. A figura 16 mostra como ficou a adaptação que fizemos para encaixar a nova peça.

Figura 16 – Minifoguete *Rose 1* adaptado com novo estágio de carga



Fonte: Arquivo Pessoal

As especificações técnicas do minifoguete estão informadas na tabela 2. Nela estão contidos os dados sobre massa, altura, potência do motor e centro de gravidade.

Tabela 2 – Especificações do minifoguete *Rose I*

Minifoguete <i>Rose I</i>	Medidas
Massa do Estágio 1	49,00 g $\pm$ 0,001 g
Massa do Estágio 2	70,10 g $\pm$ 0,001 g
Massa do Sistema de Sensoriamento	60,74 g $\pm$ 0,001 g
Massa do motor B6-5	17,38 g $\pm$ 0,001 g
Massa total	176,21 g $\pm$ 0,001 g
Comprimento total	38 cm
Impulso total	5 N·s
Centro de gravidade	20 cm (com origem no motor)

Fonte: Medições feitas pelo autor.

Foram três as tentativas de lançamento do minifoguete *Rose I*. Nas duas primeiras, tivemos problemas com a estabilidade do foguete na base, na haste de sustentação do foguete e principalmente na potência do motor, já que como recomendado pelo fabricante, esse motor é apropriado para impulsionar foguete até 120 gramas, e nosso minifoguete já estava com 46% a mais da massa total permitida. Somente no terceiro lançamento que conseguimos coletar os dados de altitude. A figura 17 exibe a sequência de cortes entre o momento do lançamento, até aterrisagem no solo.

Figura 17 – 6 fases do movimento do minifoguete



Fonte: Arquivo Pessoal

Na tabela 3 estão os dados referentes a esse lançamento, a seguir discutiremos os resultados para o lançamento do *Rose 1*.

Tabela 3 – Dados coletados do minifoguete *Rose 1*

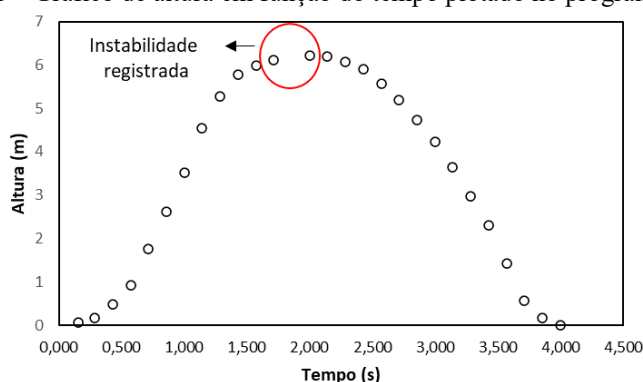
Minifoguete <i>Rose 1</i>	Medidas
Tempo total de voo	4 s $\pm$ 0,150 s
Tempo do Apogeu	2,00 s $\pm$ 0,150 s
Apogeu do voo	6,22 m $\pm$ 0,50 m

Fonte: Dados coletados pelo autor.

Com já havíamos dito anteriormente, o minifoguete *Rose 1* sofreu uma alteração na sua estrutura. Essa modificação implicou diretamente no lançamento do minifoguete, principalmente no que se refere a sua estabilidade na base de lançamento e pelo fato do impulso gerado pelo motor ser insuficiente para que o projétil alcançasse o apogeu esperado.

Para o minifoguete com as adaptações, a expectativa do tempo de voo era de 10 segundos, da decolagem até a aterrissagem, no entanto, o que registramos foi um tempo de voo de aproximadamente 4 segundos, como visto na tabela 3. Outra expectativa que tínhamos era um apogeu na faixa de 70 metros – 80 metros, como indicado nas previsões do fabricante do foguete. O apogeu do minifoguete obtido pelo sensor, encontra-se numa faixa de valores: 5,72 metros – 6,72 metros, essa imprecisão na medida pode ser devida à fatores de calibragem do próprio sensor, ou à fatores climáticos aos quais o dispositivo apresenta sensibilidade.

Gráfico 1 – Gráfico de altura em função do tempo plotado no programa *Excel*

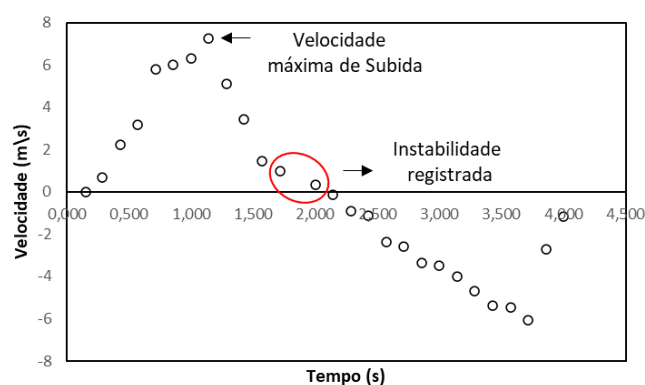


Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico 1 representa o que chamamos de curva do movimento vertical do minifoguete, que é a curva obtida traçando a relação entre cada ponto de altitude registrado pelo sensor em função do tempo. Esse gráfico nos permite descrever a real trajetória vertical de um minifoguete sofrendo aceleração da gravidade e atrito por conta da resistência do ar, a partir dos dados coletados pelo sensor.

No gráfico 1 é possível notar ainda um pequeno espaçamento lateral (marcado com um círculo vermelho), com uma duração estimada de $\approx 0,28$ s, referindo se a um instante de instabilidade registrado durante a chegada do protótipo ao apogeu. Essa instabilidade na coleta pode ter sido provocada por meio de três fatores, como cita Alves *et al.* (2020): (1) uma pequena brisa ou fluxo de vento no instante da passagem do foguete, (2) vibração das empenas do minifoguete, causando uma leve turbulência e (3) um rápido movimento do sensor no interior do minifoguete. Essa instabilidade também pode ser vista no gráfico 2 que mostra a derivada do gráfico 1, ou seja, a função velocidade do minifoguete.

Gráfico 2 – Velocidade em função do tempo obtido via derivada do gráfico 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

No que se refere ao gráfico 2, podemos fazer duas considerações importantes em relação a velocidade e a trajetória do foguete. Primeiramente, durante a subida do minifoguete, existe um ponto onde a velocidade é máxima ($\approx 7,25$ m/s), e que a partir desse ponto, ocorre uma desaceleração do foguete, o que indica que o motor queimou todo o seu propelente, e as forças da gravidade e resistência do ar estão mais intensas que a força de empuxo do minifoguete que é nula a partir desse ponto.

Podemos perceber ainda, que existem diversas perturbações na curva de velocidade, proveniente de fatores já citados nas análises da trajetória, no entanto, somos capazes de constatar que após o período de instabilidade registrada a velocidade assume uma tendência de função linear decrescente, evidenciando uma mudança e sentido na componente vertical do vetor velocidade do foguete.

Como tivemos alguns percalços com relação aos lançamentos do minifoguete *Rose 1*, que além de modificar sua estrutura original, não teve potência suficiente para alcançar as altitudes esperadas, vamos agora analisar o lançamento do minifoguete *Rose 2*, um sucessor direto do *Rose 1*.

O minifoguete *Rose 2*, diferentemente do *Rose 1*, é um protótipo com dois estágios, um

deles, junto da ogiva, possui uma seção de carga útil para comportar no seu interior componentes eletrônicos e acessórios de medição; é pertencente a linha de minifoguetes QUASAR, dos mesmos fabricantes dos minifoguetes ORION.

Figura 18 – Minifoguete Rose 2



Fonte: Arquivo Pessoal.

Além de usar outro modelo de minifoguete, também utilizamos outro tipo de motor, uma classe de propelentes mais potente, capaz de impulsionar uma maior carga útil que o propelente utilizado no protótipo anterior. Acompanhe na tabela 4 as especificações técnicas do minifoguete *Rose 2*.

Tabela 4 – Especificações do minifoguete *Rose 1*

Minifoguete <i>Rose 2</i>	Medidas
Massa do estágio	54,0 g $\pm$ 0,1 g
Massa do motor antes da queima (m_{q_1})	21,0 g $\pm$ 0,1 g
Massa do motor após a queima (m_{q_2})	12,5 g $\pm$ 0,1 g
Massa do Sistema de Sensoriamento	60,7 g $\pm$ 0,1 g
Massa inicial (m_i)	135,7 g $\pm$ 0,1 g
Massa final (m_f)	123,2 $\pm$ 0,1 g
Comprimento total	59,2 cm
Diâmetro	3,2 cm
Área da seção reta	8,04 cm ²
Impulso total	10 N·s
Centro de gravidade	30 cm (em relação ao motor)

Fonte: Medições feitas pelo autor.

Diferentemente do minifoguete *Rose 1*, os problemas encontrados no lançamento do minifoguete *Rose 2*, estavam sempre ligados a falhas na queima ou ativação do motor. Ao todo fizemos 4 lançamentos, sendo que em um deles obtivemos exímios resultados. A seguir vamos examinar um dos lançamentos em que tivemos êxito.

Figura 19 – Estágios de ignição do minifoguete *Rose 2*



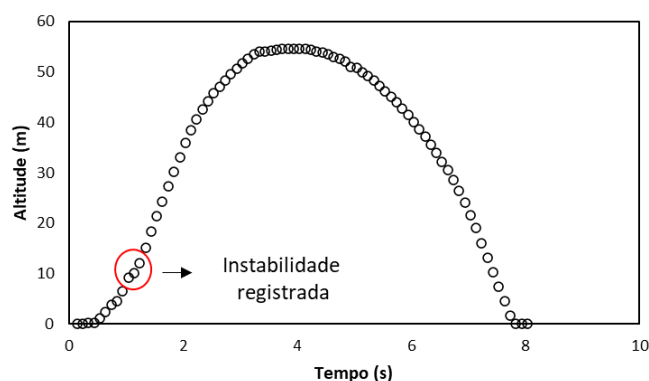
Fonte: Arquivo Pessoal.

O lançamento que vamos examinar foi, dentre todas as tentativas, o que teve a melhor performance, tanto em relação a velocidade de subida, quanto ter o maior apogeu, e o melhor tempo de voo. Os resultados pontuais do teste podem ser visualizados na tabela 5, e a curva do movimento vertical está apresentada no gráfico 3 como forma de expressar os valores coletados pelo sistema de sensoriamento.

Tabela 5 – Dados coletados do minifoguete *Rose 2*

Minifoguete <i>Rose 2</i>	Medidas
Tempo total de voo (t_f)	$(8,03 \pm 0,01) s$
Tempo de queima (t_c)	$(0,94 \pm 0,01) s$
Tempo do Apogeu (t_a)	$(3,94 \pm 0,01) s$
Apogeu do voo (h_{max})	$(54,65 \pm 0,20) m$
Velocidade de subida máxima (v_s)	$32,0 m/s$
Velocidade de decida máxima (v_d)	$-29,1 m/s$

Fonte: Dados coletados pelo autor.

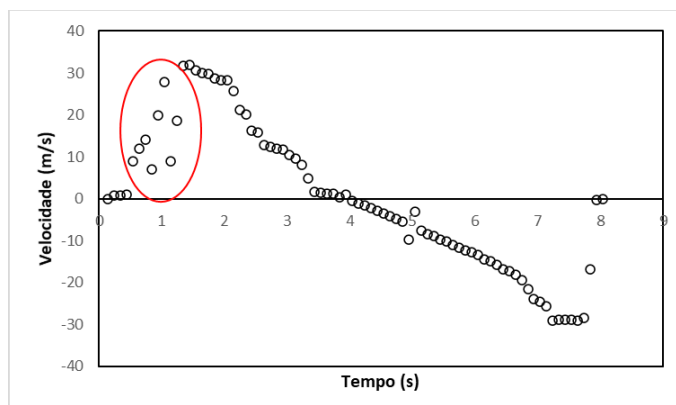
Gráfico 3 – Curva do movimento vertical do minifoguete *Rose 2*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em comparação ao gráfico 1, a curva do movimento vertical do minifoguete *Rose 2*, mostrou-se bastante superior, visto uma maior quantidade de pontos de coletas de dados, ao todo 80 pontos de altitude detectados. Percebemos, semelhantemente aos gráficos anteriores, e a curva característica dos lançamentos de projéteis (que são gráficos de trajetória do tipo $y(x)$ e x), que é uma parábola com concavidade para baixo. Notamos ainda, uma instabilidade registrada semelhante a já vista nessa seção. Essa perturbação na leitura do sensor, altera sensivelmente o intervalo de tempo da coleta de dados. Isso fica evidente quando olhamos para o gráfico da velocidade em função do tempo (gráfico 4).

A elipse em vermelho no gráfico 4 tem relação com a instabilidade registrada no gráfico 3, já que na mesma faixa de intervalo de tempo, a curva da trajetória sofre uma “falha”, gerando então um breve efeito caótico nos dados de velocidade. Analisando o gráfico 4, notamos que é durante o tempo de queima (t_q) do propelente que a velocidade passa por um máximo e depois existe uma diminuição com um tempo, já que o objeto ainda sofre frenagem por causa do peso e da resistência quadrática do ar.

Gráfico 4 – Velocidade em função do tempo obtido via derivada do gráfico 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

9.2 ESTUDO TEÓRICO DO MOVIMENTO VERTICAL E AJUSTE DOS PARÂMETROS FÍSICOS

A partir dos dados coletados pelo minifoguete *Rose 2*²⁶, iremos determinar alguns parâmetros importantes para a descrição matemática do fenômeno. Esses parâmetros podem ser estimados, quando considerando que eles não sofreram bruscas taxas de variação durante o movimento, ou seja, que durante todo o percurso eles foram constantes.

A estimativa do fluxo de massa do foguete (dm/dt) pode ser aproximada pela variação temporal da massa ($\Delta m/\Delta t$) durante a queima do propelente, já que só existe variação de massa enquanto o minifoguete está em fase de queima do combustível. Assim, pode-se determinar ($\Delta m/\Delta t$) como:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{m_{q_2} - m_{q_1}}{t_a - t_0} \quad (9.2)$$

As medidas de massa encontram-se na tabela 4, enquanto as especificações de tempo de voo estão registradas na tabela 5. A medição da massa foi realizada com uma balança digital que tem incerteza na faixa de 0,1 g. Os valores medidos para as massas do propelente são encontrados na tabela 4, e os dados para o tempo de queima desse propelente são encontrados na tabela 5. Dessa forma, por meio da equação (9.2), obtemos que $dm/dt = (-0,009 \pm 0,001) \text{ kg/s}$.

Já havíamos discutido no capítulo 6, que para fins de simplificar o desenvolvimento matemático consideraríamos que a massa do minifoguete não sofre variações ao longo da sua trajetória, já que as variações que existem são desprezíveis. Portanto, conforme a equação (6.7) e os dados da massa total do minifoguete estão disposto na tabela 5, a massa m do minifoguete será a média simples entre a massa inicial e final do foguete, e corresponde a $(0,129 \text{ kg} \pm 0,001 \text{ kg})$.

O valor teórico da constante b presente na equação (6.3) pode ser estimado utilizando os parâmetros já estabelecidos no capítulo 6: $C_D \approx 0,75$, $A = 0,0008 \text{ m}^2$ e $\rho \approx 1,20 \text{ kg/m}^3$, assim temos que $b \approx 0,00036 \text{ N s}^2/\text{m}^2$.

Com os parâmetros calculados, foram elaboradas as curvas teóricas de acordo com as equações de movimento (6.14) e (6.22), usamos o programa *Excel* (pacote office), para gerar a curva teórica. Segundo Alves *et al.* (2021), as curvas teóricas são importantes na análise de

²⁶ Usamos dados coletados pelo minifoguete *Rose 2* por ter coletados uma maior quantidade de dados, e ter tido uma melhor performance no lançamento.

gráficos reais, pois ajudam a ajustar melhor parâmetros de difícil detecção ou análise. Um dos parâmetros que buscamos encontrar foi a velocidade de escape dos gases do minifoguete (V_e), pois é uma variável extremamente complexa de medir. Na tabela 6 estão dispostos os parâmetros encontrados a partir da análise dos gráficos 3 e 4.

Tabela 6 – Parâmetros encontrados

Minifoguete <i>Rose 2</i>	Medidas
Massa média do minifoguete (m)	$(0,129 \pm 0,001) \text{ kg}$
Fluxo de massa (dm/dt)	$(- 0,009 \pm 0,001) \text{ kg/s}$
Constante de atrito (b)	$(0,00036 \pm 0,0001) \text{ N s}^2/\text{m}^2$.
Velocidade de escape (V_e)	$(74,46 \pm 0,50) \text{ m/s}$

Fonte: Dados coletados pelo autor.

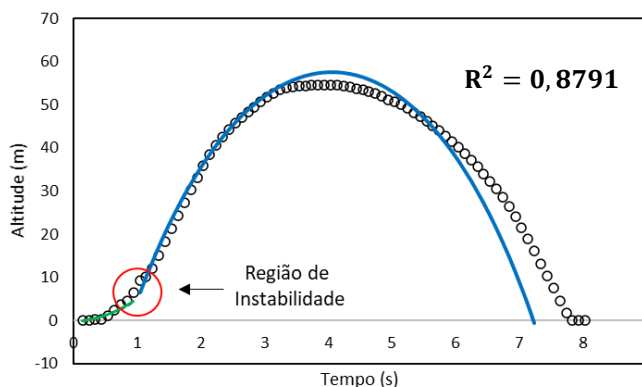
A velocidade de escape, pode ser estimada utilizando os dados coletados pelo sensor e utilizando os parâmetros que já foram ajustados anteriormente. No caso em questão, foram utilizados os valores de m , dm/dt e b , assim como o tempo de queima do foguete (t_c) e a equação (6.14). Primeiramente, isolamos V_e que está dentro da variável γ na equação (6.14), após isso substituímos os valores dos parâmetros. Para esse cálculo, utilizamos $z_l(t_c) = 6,45 \text{ m}$, valor que o sensor registrou na coleta de dados como sendo a altitude em que o motor esgota o combustível.

No entanto, fazendo uma comparação entre os dados coletados pelo sensor e o resultado teórico, chegamos em uma inconsistência para o valor da velocidade de escape dos gases. Usando as equações matemáticas, chegamos no valor que é mostrado na tabela 6, por outro lado, se usarmos os ajustes da curva teórica, ver gráfico 5, o valor encontrado para $V_e \approx 140,25 \text{ m/s}$.

Essa inconsistência já era apontada por Alves et al. (2020) e Smiley (2005), visto que a precisão para valores de velocidade de escape dos gases desconsidera sistemas com perda de momento, variação do fluxo de gás, e a existência de um bocal ideal. Ou seja, para saber o real valor da velocidade de escape, necessitaríamos de diversos testes estáticos, testes de pressão no bocal no minifoguete, teste de variação do fluxo de gás e verificações sobre a pureza do combustível. Como o objetivo do trabalho é descrever o funcionamento do sensor e registrar o a curva do movimento vertical, não nos aprofundamos nesse ponto.

Por fim, usamos os parâmetros visto na tabela 6 para construirmos uma curva teórica, baseada nas equações (6.14) e (6.23). Substituímos os parâmetros nas equações $z_I(t)$ e $z_{II}(t)$, que corresponde, respectivamente, para a função que descreve a subida do minifoguete com ação do motor e a função que descreve a subida do minifoguete sem ação do motor até o apogeu.

Gráfico 5 – Curvas teóricas e a curva do movimento vertical do *Rose 2*



Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico 5, nós temos novamente a representação da curva do movimento vertical do minifoguete *Rose 2* (círculos pretos), e duas curvas teóricas. A primeira curva (em verde) é referente a equação (6.14) aplicado no intervalo entre a decolagem do minifoguete até o momento em que o motor para de funcionar. Já a segunda curva está relacionada com a equação (6.23), no intervalo de tempo em que o minifoguete estar somente sob ação da gravidade e da resistência do ar, onde ele atinge o apogeu, e desce até atingir o solo no tempo final do voo.

Ao observar o gráfico, notamos que a curva em verde se adequa aos dados experimentais em quase toda sua extensão. Isso significa que os parâmetros e o modelo matemático da equação (6.14) revelam uma taxa de imprecisão muito baixa com relação ao modelo gerado pelo sistema de sensoriamento.

Em destaque na figura, a mesma região de instabilidade vista nos gráficos posteriores, justamente no vínculo entre as duas curvas teóricas. Com relação a curva em azul, que mostra a atuação do minifoguete sem empuxo, pode-se constatar que a aproximação entre a curva e a curva do movimento vertical do minifoguete é aceitável, até pouco depois do apogeu. A estimativa para o apogeu, usando essa curva teórica foi de 57,57 m, uma diferença percentual de 5% com relação ao apogeu atingido pelo protótipo.

O remanescente da curva azul, depois do apogeu, sofre maiores desvios em relação ao resultado experimental. Note que a curva decai mais rapidamente e menos acentuadamente, fazendo com que ela chegue no solo quase 1 segundo antes. Concordando com Alves *et al.*

(2020), dois motivos podem influenciar o desvio entre as duas curvas: (1) a instabilidade ou turbulências podem ter afetado a trajetória do foguete, fazendo com que ele não conseguisse chegar ao apogeu de 57,57 m ou (2) a velocidade de escape pode não está ajustada o suficiente para a curva teórica se adequar aos resultados do protótipo. Tendemos a admitir que isso pode ser uma influência combinada dos fatores.

O parâmetro de erro que utilizamos na comparação entre as três curvas foi o R-quadrado. Esse parâmetro indica uma medida estatística da proximidade dos dados entre curvas analisadas. O parâmetro é responsável por indicar quão próximos essas curvas estão sendo que: 0% indicam curvas divergentes e 100% curvas convergentes. Para o caso analisados, na figura 5, obtemos uma resposta de $\approx 88\%$. Isso indica uma taxa elevada de proximidade entre as curvas.

Vale evidenciar que, as curvas azul e verde, provenientes das equações de movimento, são válidas apenas para $t \leq t_a$, ou seja, após o apogeu essas equações não são ajustadas pelos mesmos parâmetros. Dessa forma, podemos, esse seria um dos motivos pelo qual o R-quadrado encontrando não foi mais elevado.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de foguetemodelismo nas escolas é uma excelente abordagem para impulsionar o aprendizado em Ciências no Brasil, uma vez que a Astronáutica é uma área interdisciplinar e transversal a diversas temáticas importantes e atuais. Aliados a projetos como a Olimpíada Brasileira de Astronomia e a Mostra Brasileira de Foguetes, a ciências dos foguetes tem papel educacional fundamental, mas ainda pouco explorado.

Por esse motivo, a proposta experimental de desenvolver um sistema de sensoriamento com arduino para acoplar em um minifoguete visa possibilitar que estudantes do ensino fundamental e ensino médio conheçam conceitos da física newtoniana como, trajetória, altitude, velocidade, aceleração média, força, empuxo, impulso e, por consequência os desafios de se construir um experimento. A jornada de tirar um experimento do papel e desenvolve-lo, por muito, é mais vantajoso e educativo que somente analisar os resultados.

A escolha pelo arduino foi exclusivamente pelo seu baixo preço, sua disponibilidade e praticidade. Num Brasil que sofre com carência de laboratório de ciências, ou mesmo laboratórios didáticos, construir um experimento de baixo custo que seja eficiente e simples ainda é uma tarefa muito difícil para os professores, principalmente de escolas públicas. A vista disso, no decorrer de todo a referência teórica e nos resultados, tentamos ao máximo explicar e sistematizar todo o passo-a-passo, afim de que os leitores do trabalho se sintam motivados a melhora-lo e aperfeiçoa-lo. Escolhemos analisar a trajetória de um minifoguete e modelar os gráficos, justamente por seu apelo visual, para que aluno e professor possam comparar o lançamento real do minifoguete com os gráficos gerados pela modelagem matemática.

Uma variedade de estudos e pesquisas podem ser construídas a partir deste trabalho. Além do cálculo da trajetória, pode-se aprofundar no estudo da variação da velocidade, na termodinâmica envolvida no processo de combustão, podem estudar a eficiência dos motores em testes estáticos ou acoplar um sensor de giroscópio para monitorar a declinação do foguete. Para os professores que irão participar da MOBFOG, o sistema desenvolvido nesse projeto, também pode ser usado nos foguetes de garrafa pet que são usados na competição, seja para aferir a medida do apogeu, seja para verificar melhorias no seu foguete.

REFERÊNCIAS

- ABATE, M *et al.* Correlation Between Simulated, Calculated, and Measured Model Rocket Flight. 2014.
- ALMEIDA, N. **Transdisciplinaridade e saúde coletiva**. Ciência & Saúde Coletiva. II, 1997.
- ALVES, A. L. et al. Minifoguete a propelente sólido: aspectos teóricos e propostas experimentais para o ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020.
- ALVES, A. L.; BENTO, S. S.; MARCHI, C. H. Movimento Vertical de Minifoguetes: Equações de Trajetórias e Análises Gráficas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021.
- ARDUINO NANO. Arduino Store, 2022. Disponível em < <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano/>>. Acesso em 10. fev. 2022.
- ARISTÓTELES. **Ética a Nicômaco**. São Paulo: Abril Cultural, 1979. p. 45-236 (Os Pensadores)
- BACON, F. **Novum Organum ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza**. Pará de Minas: M&M Editores, 2003.
- BANZI. M. **Getting Started with Arduino**. Sebastopol: O'Reilly, 2011
- BARRIO, J. B. M. A investigação educativa em astronomia: os planetários como espaço de ensino e aprendizagem. In: LONGHINI, M. D. **Educação em astronomia**: experiências e contribuições para a prática pedagógica. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010. p.159-178.
- BERNARDES, T. O.; IACHEL, G.; SCALVI, R. M. F. Metodologia para o ensino de Astronomia e Física através da construção de telescópios. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, p. 103-117. 2008.
- BORLIN, H. **Resolução do problema da duplicação do cubo utilizando o origami**. 2008. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Departamento do Matemática, Florianópolis, 2008.
- BOSCH, Sensortec. **Datasheet: BMP280 Digital Pressure Sensor**. Publicação Eletrônica, 2015. Disponível em: <https://www.boschsensortec.com/media/boschsensortec/downloads/product_flyer/bst-bmp280-fl000.pdf>. Acesso em: 24. jan. 2022
- BOYCE, W. E.; DIPRIMA, R. C.; MEADE, D. B. **Elementary differential equations and boundary value problems**. John Wiley & Sons, 2021.
- BRASIL. MEC. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: MEC/SEMTEC, 1999.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Resolução nº 03 de 26/06/1998**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Brasília: MEC/ CEB/CNE, 2018.

CAMPAGNOLO, J. C. N. **Caráter Incentivador das Olimpíadas de Conhecimento: Uma Análise Sobre a Visão dos Alunos da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica Sobre a Olimpíada**. 2011. 71 f. Monografia (Graduação em Física) – Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

CANALLE, J. B. G. *et al.* **Resultados da XXII Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica**. I Olimpíada Brasileira de Astronomia. Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 39-42, 2019. Disponível em: http://www.oba.org.br/sisglob/sisglob_arquivos/Relatorio.pdf. Acesso em: 30 jul.2021

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos avançados**, v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 4, 2011.

CNPq, **Olimpíadas científicas**. 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/cnpq/pt-br/assuntos/popularizacao-da-ciencia/olimpiadas-cientificas>. Acesso em: 30 jul. 2021.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas: Uma Introdução à Geografia Física**. 7 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

DESCARTES, R. **Discurso do Método**. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

DERENCIO, R. Os princípios de medição mais comuns para sensores de pressão: thin-film, thick-film e sensores piezoresistivos. **Blog Wika**, 2018. Disponível em: <https://blog.wika.com.br/know-how/os-principios-de-medicao-mais-comuns-para-sensores-de-pressao/>. Acesso em: 24.jan.2022

DIAS, C. A. C. M.; RITA, J. S. Inserção da Astronomia como disciplina curricular do Ensino Médio. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, São Carlos (SP), n. 6, p. 55–65, 2008. DOI: 10.37156/RELEA/2008.06.055. Disponível em: <https://www.relea.ufscar.br/index.php/relea/article/view/121>. Acesso em: 1 ago. 2021.

DIVINO, C. P. **Da terra à lua em um cometa**: a ficção científica de Júlio Verne como potencial contribuição para o ensino de física. 2018. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Física, Curitiba, 2018.

DUNBAR, B. **Hermann Oberth**. Nasa, 2014. Disponível em: <https://www.nasa.gov/audience/foreducators/rocketry/home/hermann-oberth.html>. Acesso em: 10 de mai. 2021.

DUNBAR, B. **Konstantin E. Tsiolkovsky**. Nasa, 2010. Disponível em: <https://www.nasa.gov/audience/foreducators/rocketry/home/konstantin-tsiolkovsky.html>. Acesso em: 06 de mai. 2021.

EINSTEIN, A. **Notas autobiográficas**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1982.

ESTÁCIO, J. P. O ensino de ciências e a formação dos professores: considerações para uma aplicação qualitativa. In CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 12., 2015, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Edurece, 2015. p.23356 – 23362.

SENSOR BMP280. FilipeFlop, 2022. Disponível em: <
<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-pressao-e-temperatura-bmp280/>> . Acesso em:
 10. fev.2022.

FONSECA, M. V. S. et al. Uma abordagem didática para a pressão interna de foguetes de garrafa PET propulsionados pela reação química entre vinagre e bicarbonato de sódio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, 2018.

FRIGOTTO, G. **A Interdisciplinaridade como necessidade e como problema nas ciências sociais**. In: BIANCHETTI, L., JANTSCH, A. Interdisciplinaridade: para além da filosofia do sujeito. Petrópolis: Vozes. 1995a. p. 20- 62.

GALILEU, G. **Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano**. Tradução, introdução e notas de Pablo Rubén Mariconda. São Paulo: Discurso Editorial, 2001.

GARNER, R. **Robert H. Goddard**. Nasa, 2017. Disponível em:
https://www.nasa.gov/centers/goddard/about/history/dr_goddard.html. Acesso em: 10 de mai. 2021.

GATTI, B.A. *et al.* **Professores do Brasil: novos cenários de formação**. Brasília: UNESCO, 2019.

GAUER, G. **Debates epistemológicos entre empiristas e racionalistas-II**. ML História da Psicologia, 2007.

GHEDIN, E.; OLIVEIRA, E. S. de.; ALMEIDA, W. A. de. **Estágio com pesquisa**. Cortez Editora, 2018.

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

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química nova na escola**, v. 10, n. 10, p. 43-49, 1999.

GRADSHTEYN, I. S. RYZHIK, I. M. **Table of integrals, series, and products**. Academic press, 2014.

GRUBBA, L. S. Método Empírico-Indutivo: De Bacon aos Trabalhos Científicos em Direito. **Revista RIDB, Ano**, v. 1, 2012.

INVENSENSE. **Datasheet: MPU-6000/MPU-6050 product Specification**. Publicação Eletrônica. 2012. Disponível em: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2021.

ISKANDAR, J. I.; LEAL, M. R. Sobre positivismo e educação. **Revista Diálogo Educacional**, v. 3, n. 7, p. 89-94, 2002.

LAVOURAS, D. F. **Relatório da I Olimpíada Brasileira de Astronomia**. 1998. Disponível em: http://www.oba.org.br/sisglob/sisglob_arquivos/Nascimento%20da%20OBA.pdf. Acesso em: 01 ago. 2021.

LIMA JR, P.; OSTERMANN, F.; REZENDE, F. Análise dos condicionantes sociais da

evasão e retenção em cursos de graduação em Física à luz da sociologia de Bourdieu. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 37–60, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4218>. Acesso em: 30 jul. 2021.

LOPES, Wilson. Variação da aceleração da gravidade com a latitude e altitude. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 561-568, 2008.

MAHLER, W. F. C. **Projeto de Foguetes para Lançamento de nano Satélites**. 2013. 24 f. Trabalho de Iniciação Científica – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, São José dos Campos, 2013.

MARTINS, A. F. P. Ensino de ciências: desafios à formação docente. **Revista Educação em Questão**, v. 23, n. 9, p. 53-65, 2005.

MASON, S. F. **A History of the Science**. Tradução do próprio autor. 1. Ed. Editora: Collier Books Edition., 1962. 638 p. ISBN: 0020934009.

MELO, P. H. P. de. **O uso de atividades experimentais no Ensino de Física para estudo de indução eletromagnética**. 2021. 132 f. Trabalho de Dissertação de (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, 2021.

MÓDULO LEITOR SD. FilipeFlop, 2022. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-cartao-micro-sd/>>. Acesso em: 10. fev.2022.

MORIN, E. Educação e complexidade: **Os setes saberes e outros ensaios**. São Paulo: Cortez, 2002.

MOURÃO, R. R. F. **Astronáutica: do sonho à realidade**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 686 p.

NASA. **A Pictorial History of Rockets**. 2020. Tradução do próprio autor. Disponível em: <https://www.nasa.gov/stem-ed-resources/a-pictorial-history-of-rockets.html>. Acesso em: 25 de abr. 2021.

NEUFELD, M. J. The Three Heroes of Spaceflight: The Rise of the Tsiolkovsky-Goddard-Oberth Interpretation and Its Current Validity. Tradução livre do próprio autor. **Quest: The History of Spaceflight Quarterly**. v. 19, n. 4, p. 4–13, 2012.

NOGUEIRA, N. R. **Pedagogia dos projetos: uma jornada Interdisciplinar rumo ao desenvolvimento das múltiplas inteligências**. São Paulo: Érica, 2001.

NOGUEIRA, S.; PESSOA FILHO, J. B. **Astronáutica: Ensino fundamental e Médio**. Brasília: Mec, Seb; Mct; Aeb, 2009. 348 p. **Coleção Explorando o Ensino**, V.12. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

OBA, Olimpíada Brasileira de Astronomia. **Recorde Durante as Jornadas de Foguetes**. 2019. Disponível em: <http://www.oba.org.br/site/?p=conteudo&pag=conteudo&idconteudo=644>. Acesso em: 30 jul. 2021

PALMERIO, Ariovaldo Felix. **Introdução à tecnologia de foguetes**. 2nd ed, 2017.

PIRES, M. F. C. Reflexões sobre a interdisciplinaridade na perspectiva de integração entre as disciplinas dos cursos de graduação. **Revista do IV Circuito PROGRAD: As disciplinas de seu curso estão integradas?** UNESP. São Paulo, 1996.

POPPER, K. R. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 1993.

PÔRTO, C. S. **Os foguetes: História e Desenvolvimento**. 2012. Disponível em: https://educacaoespacial.files.wordpress.com/2010/10/os-foguetes-ii_revisado.pdf. Acesso em 25 de abr. 2021.

REED, N. T. **Hermann Oberth: German Father of Rocketry**. Space, 2013. Disponível em: <https://www.space.com/20063-hermann-oberth.html>. Acesso em: 14 de mai. 2021.

REGO, T. C. **Vygotsky: uma perspectiva histórico-cultural da educação**. Editora Vozes Limitada, 2013.

ROSA, C. W.; ROSA, Á. B. O ensino de ciências (Física) no Brasil: da história às novas orientações educacionais. **Revista Iberoamericana de Educación**, n.58/2, 2012.

RODRIGUES, H *et al.* A an exact solvable model of rocket dynamics in atmosphere. **International Journal of Mathematical Education in Science and Technology**, 40:4, 523-532, 2009. DOI: 10.1080/00207390802419560.

SILVA, B. V. C. A História e a Filosofia da Ciência no ensino médio: a visão dos futuros professores de física. **HOLOS**, v. 1, p. 155-167, 2011.

SILVA, Í. B.; TAVARES, O. A. O. Uma pedagogia multidisciplinar, interdisciplinar ou transdisciplinar para o ensino/aprendizagem da física. **HOLOS**, v. 1, p. 4-12, 2005.

SILVA, R. C. **O estado da arte das publicações sobre as olimpíadas de ciências no Brasil**. 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

SMILEY, J. **Easy PVC Rockets** (Createspace Independent Publishing Platform, 2005), v.1, pa.69

SOLER, D. R.; LEITE, Cr. Importância e justificativas para o ensino de astronomia: um olhar para as pesquisas da área. **Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, II**, p. 370-379, 2012.

SOUSA, R. F. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino de Ciências Naturais: Conhecimento e Ação Docente**. 2012. 152 f. Trabalho de Dissertação de (Mestrado em Educação) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Educação, Fortaleza, 2012.

TRAVER, A. G. **From Polis to Empire, the Ancient World, C. 800 B.C.-A.D. 500: A Biographical Dictionary**. Tradução do próprio autor. 1.ed. Portsmouth: Editora Greenwood Publishing Group. 2002. p. 128. ISBN 978-0-313-30942-7.

TULER, M. **Fundamentos de Topografia: Série Tekne**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

ULRICH, Walter. **Astronautics The Physics of Space Flight**. 2018.

WATERS, Jamie. Rocket Flight Path. **Undergraduate Journal of Mathematical Modeling: One+ Two**, v. 6, n. 1, p. 2, 2014.

APÊNDICE A – CÓDIGO COM ALTERAÇÕES

Essa é a versão do código com algumas modificações em relação ao código original (ver Anexo A). Basicamente, introduzimos a biblioteca SD.h, para ativar o módulo leitor SD e inserimos um contador de tempo, afim de plotar os gráficos de trajetória com uma maior facilidade, já que cronometrar o voo do minifoguete é uma tarefa difícil. O Sensor coleta 100 dados a cada segundo, ou seja, uma coleta por milissegundos, a alteração é feita mudando o valor que dentro da função delay.

```

#include <Adafruit_BMP280.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#define SEALEVELPRESSURE_HPA 1012

//declaração de variáveis
Adafruit_BMP280 bmp;
File data;
double tempoInicio = 0;
double tempoFim = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  bmp.begin(0x76);          //iniciando a comunicação I2C com o sensor BMP280
  pinMode(10, OUTPUT);      //declarando o pino 10 como saída
  SD.begin(4);              //iniciando a comunicação com o modulo SD
  data = SD.open("ROSE2.txt", FILE_WRITE);    //Abrindo um arquivo
  data.print("----- Iniciar Coleta -----");
  data.println(" ");
  data.close();
}

void loop() {

  tempoInicio = millis();

  data = SD.open("ROSE2.txt", FILE_WRITE);    //identificando o Arquivo
  MetData.txt e abrindo
  if (data){
    data.print(tempoInicio /100);
    data.print("\t");
    data.print((bmp.readAltitude(SEALEVELPRESSURE_HPA))-13); //registrando os
valores de Altitude
    data.print("\t");
    data.close();
  } else {
    Serial.println("Erro ao abrir o arquivo datalog.txt");
  }

  tempoFim = millis();
  delay(100 - (tempoFim - tempoInicio));
}

```

APÊNDICE B – DIARIOS DE BORDO

 ALFA SCORPII ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA	ALFA SCORPII – EQUIPE DE FOGUETEMODELISMO E TECNOLOGIA ASSOCIASSA AO GRUPO OBSERVACIONAL DE ASTRONOMIA (GOA/IFPI, campus Parnaíba) Redes Sociais: @alfascorpii_ifpi @astronomiagoa		
Diário de Bordo – 1º lançamento <i>Rose 1</i>			
Data: 24 de janeiro de 2022		Temperatura: 32º C	
Horário: 10 h às 11 h e 20 min		Clima: Céu Aberto	
Pressão Atmosférica: 1010 hPa		Status: Lançamento Abortado	
Descrição da Atividade			
A primeira tentativa de lançamento do minifoguete <i>Rose 1</i> foi abortada. O principal motivo da falha deu-se por dois fatores: (i) haste de fixação que mantem o foguete na posição de lançamento continha muito atrito ou (ii) o motor não suportou o peso adicionado no ajuste do compartimento de carga. Amanhã, 25 de janeiro, retornaremos aos lançamentos com uma nova haste de fixação capaz de sustentar o minifoguete.			
			
Fonte: arquivo pessoal			

 ALFA SCORPII ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA	ALFA SCORPII – EQUIPE DE FOGUETEMODELISMO E TECNOLOGIA ASSOCIADA AO GRUPO OBSERVACIONAL DE ASTRONOMIA (GOA/IFPI, <i>campus Parnaíba</i>) <u>Redes Sociais:</u> @alfascorpii_i fpi @astronomiagoa
Diário de Bordo – 2º lançamento <i>Rose 1</i>	
Data: 25 de janeiro de 2022	Temperatura: 30° C
Horário: 8 h às 10 h	Clima: Céu parcialmente nublado
Pressão Atmosférica: 1012 hPa	Status: Falha da Decolagem
Descrição da Atividade	
A segunda tentativa de lançamento do minifoguete <i>Rose 1</i> foi procedido de falha no momento da decolagem. Novamente o minifoguete não saiu de sua posição inicial, a haste metálica que sustenta ele é feito de um material como micro espaçamento, esses espaçamentos estão dificultando a saída do minifoguete. Temos que conseguir uma haste metálica nova e sem atritos. Mas, nessa tentativa de lançamento, conseguimos examinar alguns pontos positivos: o primeiro é em relação ao motor, como foi possível observar o motor funciona, ou seja, ele tem impulso para fazer o minifoguete levantar voo; e segundo, o sistema de acionamento do paraquedas também funcionou, mesmo esquecendo de colocar o antichama (bolinha de plástico) entre o motor e o paraquedas.	
	
Fonte: arquivo pessoal	

 ALFA SCORPII ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA	ALFA SCORPII – EQUIPE DE FOGUETEMODELISMO E TECNOLOGIA ASSOCIADA AO GRUPO OBSERVACIONAL DE ASTRONOMIA (GOA/IFPI, <i>campus Parnaíba</i>) <u>Redes Sociais:</u> @alfascorpii_ifpi @astronomiagoa
Diário de Bordo – 3º lançamento <i>Rose 1</i>	
Data: 28 de janeiro de 2022	Temperatura: 30° C
Horário: 11 h às 12 h	Clima: Céu nublado
Pressão Atmosférica: 1012 hPa	Status: Lançamento Concluído
Descrição da Atividade	
A terceira tentativa de lançamento do minifoguete <i>Rose 1</i> foi obtemos um voo de duração 4 segundos e Apogeu de 6,22 metros. Depois de alguns ajustes na estrutura do minifoguete, como introduzir os antichamas entre o motor e o paraquedas e fixar com cola a parte superior do estágio de carga que leva o sensor, lançamos ele dentro do IFPI, campus Parnaíba, utilizando uma haste metálica mais fina e com menos atrito (um vergalhão de ferro de aproximadamente 1,5 metros).	
	
Fonte: arquivo pessoal	



ALFA SCORPII – EQUIPE DE FOGUETEMODELISMO E TECNOLOGIA
ASSOCIADA AO GRUPO OBSERVACIONAL DE ASTRONOMIA (GOA/IFPI,
campus Parnaíba)

Redes Sociais:

@alfascorpii_ifpi

@astronomiagoa

Diário de Bordo – 1º lançamento *Rose 2*

Data: 03 de fevereiro de 2022	Temperatura: 32° C
Horário: 8 h às 9 h	Clima: Céu limpo
Pressão Atmosférica: 1011 hPa	Status: Lançamento Concluído

Descrição da Atividade

O primeiro lançamento do minifoguete *Rose 2* foi além das expectativas, visto os últimos lançamentos com o *Rose 1*. O foguete QUASAR, conseguiu sair da base de lançamento, mas com aproximadamente 3 metros de altitude o projétil foi desviado da sua trajetória ascendente. Inicialmente, achávamos que uma rajada de vento muito forte poderia ter causado um torque muito brusco e feito o foguete virar cerca de 90°. O protótipo caiu cerca de 30 metros do local de lançamento, como o paraquedas não abriu, o impactou destruiu o estágio que continha o sensor, quem embora violento o choque, não sofreu danos.



Fonte: arquivo pessoal

ANEXO A – CÓDIGO SEM ALTERAÇÕES

```
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>

#define BMP_SCK   (13)
#define BMP_MISO  (12)
#define BMP_MOSI  (11)
#define BMP_CS    (10)

Adafruit_BMP280 bmp; // I2C
//Adafruit_BMP280 bmp(BMP_CS); // hardware SPI
//Adafruit_BMP280 bmp(BMP_CS, BMP_MOSI, BMP_MISO, BMP_SCK);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(F("BMP280 test"));

  //if (!bmp.begin(BMP280_ADDRESS_ALT, BMP280_CHIPID)) {
  if (!bmp.begin()) {
    Serial.println(F("Could not find a valid BMP280 sensor, check wiring or
"
                    "try a different address!"));
    while (1) delay(10);
  }

  /* Default settings from datasheet. */
  bmp.setSampling(Adafruit_BMP280::MODE_NORMAL, /* Operating Mode. */
                 Adafruit_BMP280::SAMPLING_X2, /* Temp. oversampling */
                 Adafruit_BMP280::SAMPLING_X16 /* Pressure oversampling */
                 Adafruit_BMP280::      /* Filtering. */
                 Adafruit_BMP280::STANDBY_MS_500); /* Standby time. */
}

void loop() {
  Serial.print(F("Temperature = "));
  Serial.print(bmp.readTemperature());
  Serial.println(" *C");

  Serial.print(F("Pressure = "));
  Serial.print(bmp.readPressure());
  Serial.println(" Pa");

  Serial.print(F("Approx altitude = "));
  Serial.print(bmp.readAltitude(1013.25)); /* Adjusted to local forecast!
*/
  Serial.println(" m");

  Serial.println();
  delay(2000);
}
```