

DAWSON T. IZOLA

**MÉTODOS DE  
CÁLCULO PARA  
MINI - FOGUETES**



**FATEC - SP**

**GEP LENDA**



**DAWSON IZOLA**

**MÉTODOS DE  
CÁLCULO  
PARA  
MINI-FOGUETES**

**G.E.P. - LENDA - FATEC - SP**

**Grupo de Estudos e Projetos  
LENDIA PESQUISA EDUCATIVA**

*MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES*

CAPA: DAWSON T. IZOLA

DESENHOS: RICARDO ANDREASSA MORENO

IMPRESSÃO: GRÁFICA FATEC - SP

COMPOSIÇÃO: GEP LENDA

MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES  
IZOLA, DAWSON TADEU, 1968-

1ª EDIÇÃO - SÃO PAULO - SP

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO  
FATEC - SP

GRUPO DE ESTUDOS E PROJETOS  
LENDAS PESQUISA EDUCATIVA

MECÂNICA DE PRECISÃO

NOVEMBRO DE 1993

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO  
PRAÇA CORONEL FERNANDO PRESTES, 30  
MECÂNICA DE PRECISÃO - GEP LENDA  
BOM RETIRO - SÃO PAULO - SP  
CEP 011224 060



## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES.

### ÍNDICE

ASSUNTO	PÁG.
- HISTÓRIA DOS FOGUETES.....	17
- HISTÓRIA DOS MINI-FOGUETES.....	25
- PROPULSÃO A JATO.....	29
- EMPUXO.....	35
- VELOCIDADE.....	43
- ACELERAÇÃO.....	49
- ALCANCE VERTICAL.....	61
- POTÊNCIA.....	81
- CÁLCULO DA TUBEIRA.....	89
- CONSTRUÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....	95
- SEGURANÇA NO MANUSEIO DE MINI-FOGUETES.....	123
- COMBUSTÍVEIS.....	127
- MATERIAIS.....	139
- DICIONÁRIO TÉCNICO.....	163
- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	171

A minha companheira  
*Simone*,  
por sempre acreditar  
em mim.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

### AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. *Sebastião Cavicchioli* pelo incentivo, e por ter acreditado no nosso trabalho.
- Ao Centro Acadêmico por permitir a utilização do espaço.
- Ao ex-coordenador do curso de Mecânica de Precisão Prof. *Walter Paulette* por todo o apoio.
- À Representação Discente, por ter se dedicado aos interesses do G.E.P. Lenda.
- Ao Prof. *Paulo Gonçalves* por ter revisado os cálculos e conferido a parte de Física.
- Ao Prof. *Edivaldo Antônio Bulba* Coordenador Docente do G.E.P. Lenda.
- Ao Departamento de Ensino Geral pelo apoio na confecção dos originais desse manual.
- Aos funcionários dos diversos Departamentos que compõem a Fatec São Paulo e que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste manual.

Este manual somente pôde ser concluído pela colaboração destas pessoas.

O nosso muito obrigado  
G.E.P. Lenda

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

### PREFÁCIO

Agradeço primeiramente, antes de mais nada, às inúmeras referências elogiosas que o Dawson, somatizando o grupo Lenda, fez sobre minha interferência na história deste projeto de pesquisadores. E é ainda sobre o signo da representação que devolvo o gesto de delicadeza e gratidão a eles todos.

Estabelecer-se no bojo do CEETEPS, explicitamente na Fatec, um grupo de alunos do gabarito do Dawson, com toda essa garra, com toda essa perceiverança inabalável, constitui fato inusitado. Mais façanha jamais superada. Porque constitui a primeira vez que esta instituição de ensino tecnológico atende a dois quesitos indispensáveis, a fim de que possa atingir o grau universitário: prestação de serviço à comunidade pela inovação e pela pesquisa. No caso do nossos heróis do Lenda a coisa figura-se mais meritória. Pois a pesquisa vem seguida se surto incipiente de produção.

Parabéns Dawson! Parabéns componentes do Lenda! Vocês permeiam o número daqueles que levam o País, a civilização a sério. Que na trajetória dos sulcos deixados pelo seu vigoroso caminhar renovados seguidores se ponham a partir de agora.

Prof. Sebastião Cavicchioli

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

### PREFÁCIO

Agradeço primeiramente, antes de mais nada, às inúmeras referências elogiosas que o Dawson, somatizando o grupo Lenda, fez sobre minha interferência na história deste projeto de pesquisadores. E é ainda sobre o signo da representação que devolvo o gesto de delicadeza e gratidão a eles todos.

Estabelecer-se no bojo do CEETEPS, explicitamente na Fatec, um grupo de alunos do gabarito do Dawson, com toda essa garra, com toda essa perceiverança inabalável, constitui fato inusitado. Mais façanha jamais superada. Porque constitui a primeira vez que esta instituição de ensino tecnológico atende a dois quesitos indispensáveis, a fim de que possa atingir o grau universitário: prestação de serviço à comunidade pela inovação e pela pesquisa. No caso do nossos heróis do Lenda a coisa figura-se mais meritória. Pois a pesquisa vem seguida se surto incipiente de produção.

Parabéns Dawson! Parabéns componentes do Lenda! Vocês permeiam o número daqueles que levam o País, a civilização a sério. Que na trajetória dos sulcos deixados pelo seu vigoroso caminhar renovados seguidores se ponham a partir de agora.

Prof. Sebastião Cavicchioli



## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

### INTRODUÇÃO

Este manual se destina a estudantes do terceiro grau ou estudantes do segundo grau que já possuam algum conhecimento de Física e Cálculo.

A maioria dos conceitos deste livrete foram obtidos empiricamente, pela dedicação e perseverança dos componentes do Grupo Lenda.

A parte teórica, principalmente Física, foi revisada pelo Prof. Paulo Gonçalves, Professor de Física da FATEC - SP.

Os componentes do Grupo LENDA são Acadêmicos do curso de Mecânica de Precisão (Mecatrônica) da Fatec - SP. Os conhecimentos de Física, contidos neste manual, foram percebidos nos primeiros semestres do curso e os conhecimentos específicos, obtidos de literatura nas áreas de Astronáutica e Engenharia Mecânica.

Lembramos ainda aos leitores deste manual, que nós do Grupo Lenda nos colocamos à disposição para esclarecer, dentro do nosso entendimento, o seu conteúdo .

Agradecemos ainda a atenção de todos que se dispuseram a ler este livrete.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

### LENDA PESQUISA EDUCATIVA

O grupo de Estudos LENDA PESQUISA EDUCATIVA vem trabalhando com mini-foguetes há pelo menos 7 anos, tornando-se em 1989, uma associação reconhecida perante a legislação brasileira.

Após uma tentativa frustrada de existência na cidade de Osasco, o Grupo quase se extinguiu. Por mais que intensificássemos os nossos trabalhos não conseguíamos atender às solicitações de centenas de amigos espalhados por todo o Brasil.

No segundo semestre de 1991 estávamos decididos a parar, quando foi apresentado um seminário para a Disciplina HCT - História da Ciência e Tecnologia na FATEC - Faculdade de Tecnologia de São Paulo. O responsável pela cadeira de HCT Prof. Sebastião Cavicchioli, nos incentivou muito a trazer para a FATEC - SP o nosso Grupo.

Com os nossos ideais direcionados para a elaboração do projeto na FATEC, abandonamos todas as nossas atividades em Osasco.

Com apoio do prof. Cavicchioli, e do Centro Acadêmico da Fatec, passamos então a nos estruturar no Centro Paula Sousa - FATEC.

Agora com 12 meses de nova vida elaboramos novos projetos, e organizamos a apresentação de projetos de alunos na VIII SEMANA DA TECNOLOGIA da FATEC - SP.

Novos horizontes se abrem para o nosso Grupo, a Coordenadoria do curso de Mecânica de Precisão (MECATRÔNICA) está oferecendo todas as

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

condições de trabalho para que possamos realizar todos os nossos projetos, o Coordenador Prof. Walter Paulette, conseguiu suprir todas as nossas necessidades, quanto a laboratórios, equipamentos e espaço físico, somente nos restando o trabalho e a dedicação para concretizarmos a nossa proposta para 1993.

Neste período de trabalho conseguimos nos organizar muito, mas sabemos que ainda temos muito o que melhorar.

Aproveitamos para convidar aos amigos que compartilham dos nossos interesses para virem nos visitar à Praça Coronel Fernando Prestes, número 74 Edifício Paula Sousa, Centro Acadêmico, no Bairro Bom Retiro em frente à Estação Tiradentes do Metrô SP.

Obrigado por participar conosco

**DAWSON IZOLA**

Coordenador Discente do G.E.P. Lenda

outubro de 1993



# **MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES**

**MECÂNICA DE PRECISÃO - FATEC - SP**

**UNESP**

---

## HISTÓRIA DOS FOGUETES

---

Os historiadores acreditam que foram os chineses que inventaram o foguete, falam até na utilização dos foguetes como divertimento durante os festejos populares há mais de 2000 anos.

Segundo alguns historiadores, a maior contribuição aos foguetes aconteceu na China interior, os Gregos adicionavam sal marinho às flechas incendiárias no objetivo de provocar um efeito moral sobre o adversário, sendo que o sal marinho era responsável por uma chama mais viva, entretanto na China interior o sal marinho era um produto raro, devido a falta de vias de comunicação com o litoral, por esta razão os chineses trocaram o sal marinho pelo salitre, que coincidentemente funcionou como comburente, ou seja, fornecendo oxigênio à combustão.

O ano de 1232 é considerado como a data histórica da aparição dos foguetes, quando os chineses utilizaram a flecha de chamas voadoras para se defenderem dos mongóis.

Com a descoberta do foguete como arma de guerra, os exércitos derrotados por artilharia equipada com foguetes passaram também a adotar os

foguetes como arma de guerra, e com isto, em menos de uma década o foguete se expandiu por todo o mundo.

Na Itália, foguetes incendiários obtiveram alguma eficiência, talvez devido aos hindus que possivelmente foram os primeiros a adotarem uma longa vara presa ao corpo de foguetes, como estabilizador.

O inglês William Concreve, usando foguetes com um corpo de metal e varas estabilizadores medindo aproximadamente 8 vezes o tamanho do foguete, conseguiu um grande avanço com relação ao alcance, tais artefatos eram capazes de atingir de 3 a 5 quilômetros no seu apogeu.

Na guerra de 1812 os foguetes tipo Concreve foram usados contra os americanos em Baltimore.

## INVENÇÃO DA PÓLVORA

Alguns escritores ingleses costumam dizer que foi o Monge Franciscano Roger Bacon que em 1242, inventou a pólvora, algumas pesquisas feitas a partir do ponto de vista químico afirmam esta hipótese, é certo que o mais antigo texto sobre a pólvora é o da época de Bacon. Sabe-se também que foi Bacon que modificou a composição da pólvora, diminuindo o excesso de carvão, tornando-a de combustão mais rápida.

A utilização da pólvora como propulsor de foguetes, segundo uma lenda, foi também obra de

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

um Monge, *Berthold schwars*.

### OS FOGUETÕES

Em 1820 o árabe *Hassam Abrammah* publicou algumas receitas para a fabricação de pólvora e sua aplicação nas flechas chinesas.

Devido a facilidade de manuseio as flechas equipadas com foguetes passaram a fazer parte do arsenal de guerra, porém a precisão destes artefatos não era constante, podendo um foguete até mesmo retornar ao seu ponto de partida.

A melhoria na direção dos foguetes, somente iria acontecer muito tempo depois.

No século XIV, o foguetão se tornou um artefato comum nas frentes de batalha.

### O DECLÍNIO DOS FOGUETÕES

Os foguetões desapareceram bruscamente dos campos de batalha, durante cerca de 50 anos. Isto foi no século XV. As razões não são conhecidas, entretanto alguns historiadores optam pela hipótese de que os artesãos não conheciam, suficientemente, a arte de fabricar cartuchos resistentes, nem comprimir fortemente a pólvora, para que os artifícios assim obtidos, pudessem lutar com vantagem contra as novas armas de fogo.

O foguetão transformou-se, assim em um instrumento pirotécnico e de divertimento.

## O RETORNO DOS FOGUETÕES

No início do século XVII, os foguetões incendiários retornaram à guerra, por obra dos piratas.

Em 1707, Frezier, procurou dotar os foguetões com aletas estabilizadores.

Em 1749 um foguetão de 81 cm lançado verticalmente, alcançou 800 metros de altitude.

Os trabalhos de dois engenheiros militares russos, Alexandre Zasiadeo e Constantin Consyantinov, foram os mais significativos na evolução dos foguetões, efetuados em Petesburgo a partir de 1817.

## OS GRANDES GÊNIOS

### *Leonardo da Vinci*

O inventor *Leonardo da Vinci* dedicou boa parte do seu tempo ao estudo de dispositivos voadores, entre 1486 e 1514, projetou diversos objetos voadores, acredita-se até que ele próprio chegou a testar alguns de seus projetos, porém a

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

história ainda nada provou.

Acreditava Leonardo que algum dia o homem competiria vantajosamente com os pássaros, segundo ele um pássaro é um instrumento que funciona de acordo com as leis matemáticas.

Leonardo também era Engenheiro Bélico, e projetou uma roda movida a foguete que girava em torno de um eixo imaginário, teria o propósito de provocar pânico no inimigo.

### *Júlio Verne*

Júlio Verne foi sem dúvida o mais famoso escritor de ficção científica, destacando obras como: Vinte mil Léguas Submarinas; Ao Redor do Mundo em Oitenta Dias; e da Terra à Lua.

O que mais impressionou, era o cuidadoso aspecto técnico que Júlio Verne tratava em suas obras, os quarenta mil km por hora necessários para se escapar da gravidade terrestre foi mostrado com exatidão por Júlio Verne no livro Da Terra à Lua.

Devido a sua descrição realista, as obras de Verne, incentivaram grandes gênios a realmente fazerem pesquisas reais quanto ao aproveitamento dos foguetes como meio de transporte.

### *Konstantin Eduardovich Tsiolkowsky*

Tsiolkowsky é conhecido como o pai da astronáutica, é de origem pobre, nasceu na aldeia



## DAWSON IZOLA

de Izeheuskore, antiga União Soviética, em 1857. Com 21 anos se tornou professor.

Em 1883 começou a fazer estudos sobre a possibilidade dos vôos espaciais tripulados, vinte anos antes de voarem os primeiros aviões.

Chegou a conclusão que o motor foguete seria o ideal para viagens espaciais. Os combustíveis escolhidos por Tsiolkowsky são usados até hoje nos modernos foguetes e mísseis, prova da sua grande capacidade técnica.

Tsiolkowsky foi sempre um pesquisador teórico, que nunca experimentou projeto algum, mas deixou valiosos planos detalhados. Foi ele quem sugeriu que os foguetes tivessem estágios sobrepostos, para alcançar grandes velocidades, e também, que os foguetes deveriam resistir a altas temperaturas.

Tsiolkowsky morreu em 1935, antes de seus sonhos se tornarem realidade, mas será sempre lembrado por ser o primeiro a indicar o caminho do espaço.

### Robert Goddard

Começou projetando foguetes para as forças armadas dos Estados Unidos. Através dos seus teste práticos descobriu as limitações da pólvora, passou então a adotar combustíveis líquidos em seus protótipos.

No dia 16 de março de 1926, Goddard vez voar o ancestral de todos os foguetes modernos,

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

seu modelo era movido a gasolina e oxigênio líquido, este protótipo alcançou 56 metros de altura.

### *Herman Oberth*

Em 1923 Oberth contagiou profissionais e amadores que se preocupavam com o espaço, com um folheto de 92 páginas, intitulado, O Foguete no Espaço Interplanetário. Na Época da guerra ajudou a Alemanha na pesquisa sobre foguetes, em 1955 integrou a equipe Arsenal Redstone nos Estados Unidos.

### *Wernher Von Braun*

Inspirado nas obras de Herman Oberth, Von Braun mais um grupo de estudantes, construíram em 1930 o que acreditavam a ser revolução dos foguetes, o "MIRAK", este foguete tinha a câmara de combustão dentro do tanque de oxigênio líquido, e a gasolina dentro da vareta estabilizador, os dois foguetes da série "MIRAK" explodiram, porém Von Braun não desanimou com o fracasso, e com grande sucesso ele e o grupo VFR - Verein Fur Raumschiffahrt, construíram e testaram com êxito o "REPULSOR 1", no dia 14 de maio de 1931, este foguete alcançou 68 metros de altura.

Atrás de apoio financeiro Von Braun e os componentes do VFR passaram a trabalhar para o



## DAWSON IZOLA

governo alemão.

Em 1939 o foguete A3 de 7 metros de comprimento, alcançou 75 km de altura e percorreu 180 km de distância.

No dia 8 de setembro de 1944 o primeiro V2, míssil da segunda guerra mundial, chegou a Londres 5 minutos após ser lançado de Haia. O V2 foi o precursor dos modernos mísseis.

Apesar das suas idéias serem utilizadas para a guerra Von Braun apenas via o foguete como veículo espacial. Fez parte da equipe que colocou os primeiros homens na Lua e Faleceu em 1977 nos Estados Unidos.

---

## HISTÓRIA DOS MINI-FOGUETES

---

Na década de sessenta os Estados Unidos da América, sentiu a necessidade de estimular os jovens estudantes das escolas de 2º grau, a se interessarem pela Astronáutica. Visto que eles estavam entrando na chamada "Corrida Espacial" com a União Soviética.

A fim de mostrar a supremacia americana, o governo do Presidente J. F. Kennedy não mediu esforços para superar os avanços tecnológicos conseguidos pelos cientistas soviéticos. O programa para incentivo dos jovens era uma chance para aumentar as possibilidades de sucesso com relação aos resultados obtidos pela União Soviética.

O governo americano lançou no mercado kits educativos de mini-foguetes, para despertar o interesse dos jovens. Esta iniciativa funcionou com a força de uma avalanche, milhares de jovens, de diversas partes dos Estados Unidos, começaram a utilizar os mini-foguetes como "hobby". Esses jovens entusiasmados, passaram a estudar e

## DAWSON IZOLA

pesquisar sobre Engenharia Aeronáutica. Direccionaram assim os seus interesses para os foguetes.

Com o passar dos anos aqueles jovens que "brincaram" com mini-foguetes, depois de se aperfeiçoarem, passaram a projetar as grandes aeronaves do programa espacial americano. A maioria dos Engenheiros da NASA (Agência Espacial Americana), brincaram com mini-foguetes na sua infância.

Infelizmente nem tudo foi sucesso. Outros jovens da década de sessenta, menos informados, perderam a vida ou se mutilaram, tentando construir em casa mini-foguetes, sem nenhum conhecimento técnico, ou acompanhamento dos núcleos especializados.

### OS MINI-FOGUETES NO BRASIL

Na década de oitenta o governo brasileiro tentou também imprimir aos jovens brasileiros a epidemia do espaçomodelismo, esperando com este ato, despertar o interesse dos jovens para o espaço.

Foi criado em São José dos Campos o NAEE (Núcleo de Atividades Educativas Espaciais), para gerenciar e acompanhar o projeto e construção de kits de um mini-foguete.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

Em 1985 cursando o 1º ano do curso técnico de Processamento de Dados, tive a oportunidade de ler na extinta revista "Mecânica Popular" a reportagem; O PRIMEIRO MINI-FOGUETE EDUCATIVO DO BRASIL, o Sondinha, se não me engano, foi através desta matéria jornalística que me apaixonei por este assunto. De 1985 até hoje dedico a maioria do meu tempo para estudar e construir modelos experimentais de foguetes.

Espero que este manual também possa despertar no leitor o interesse pela técnica do vôo espacial.

**DAWSON IZOLA**

## PROPULSÃO A JATO

### MOTOR-FOGUETE

O motor-foguete é o motor mais antigo e simples que se tem conhecimento.

Nos motores de combustível sólido, como é o nosso caso, não existe nenhuma parte móvel.

### FUNCIONAMENTO

O foguete produz impulso com a queima do combustível e oxigênio dentro da câmara de combustão, com a queima o combustível aumenta de pressão expulsando os gases pela tubeira.

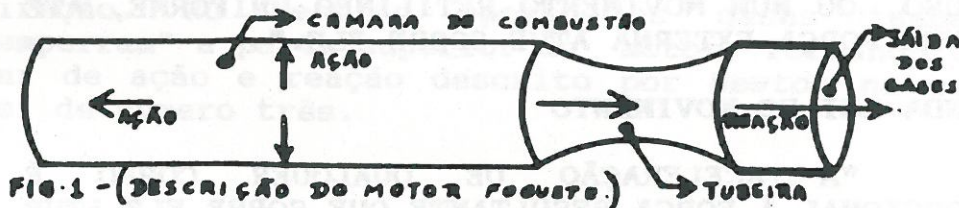


FIG. 1 - (DESCRIÇÃO DO MOTOR FOGUETE.)

## CARACTERÍSTICAS

- o combustível contém o oxigênio necessário à combustão.
- força de tração constante.
- construção bastante simples.
- custo baixo.

## MOTOR A JATO

A propulsão a jato é estudada por um ramo da Física denominado Mecânica.

As leis da Mecânica basicamente se resumem nas três leis do movimento descritas por Isaac Newton.

### PRIMEIRA LEI DO MOVIMENTO

"TODO CORPO PERMANECERÁ NO SEU ESTADO DE REPOUSO, OU NUM MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORME, ATÉ QUE UMA FORÇA EXTERNA ATUE SOBRE ELE."

### SEGUNDA LEI DO MOVIMENTO

"A ACELERAÇÃO DE QUALQUER CORPO É PROPORCIONAL À FORÇA RESULTANTE QUE SOBRE ELE ATUE E TERÁ A MESMA DIREÇÃO DESTA FORÇA."



## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

### TERCEIRA LEI DO MOVIMENTO

"PARA TODA FORÇA QUE ATUE SOBRE UM CORPO HAVERÁ SEMPRE UMA FORÇA DE REAÇÃO IGUAL E DE SENTIDO OPOSTO A ESSA."

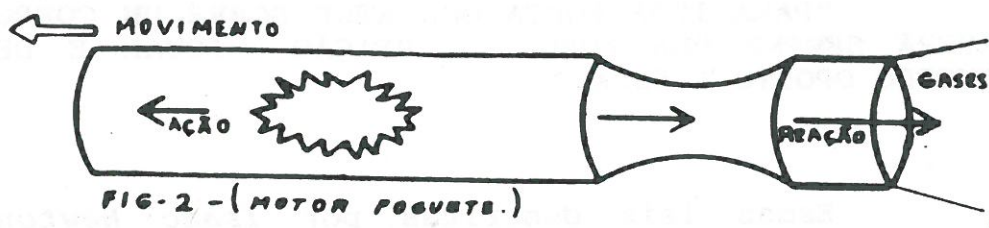
Essas leis descritas por Isaac Newton definem todo movimento de um corpo.

Das leis do movimento, a lei de ação e reação explica o movimento dos motores a jato ou simplesmente motor-foguete.

### COMBUSTÍVEL

Quando um determinado combustível entra em combustão, dentro de uma câmara de combustão, gera gases que rapidamente se expandem dentro dela. Esses gases são expulsos do motor em forma de jato contínuo. Como existe um orifício na parte inferior do motor os gases saem comprimidos nessa direção. No sentido oposto os gases também "empurram" a parte superior do motor, formando um par de ação e reação descrito por Newton na sua lei de número três.





Do somatório das forças decorrentes da expansão tem-se uma resultante no sentido oposto ao da ejeção dos gases que movimenta o conjunto motor e foguete.

Quando observamos um foguete funcionando em pleno vôo, imaginamos que ele sobe porque os gases da combustão se apóiam no ar atmosférico. Como vimos na terceira lei de Newton, este conceito é errado. Podemos observar experimentalmente que um foguete pode se movimentar, mesmo quando estiver fora da atmosfera ou dentro d'água, por exemplo.

A força propulsora do foguete parte exclusivamente de dentro da câmara de combustão com a queima do combustível.

O combustível em chama, passando do estado sólido para gasoso aumenta várias vezes o seu volume, por esta razão se observa uma pressão muito elevada no interior do motor-foguete,

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

resultando na ejeção dos gases.



FIG. 3 - (MOTOR)

Quanto maior for a velocidade com que os gases são expulsos do motor, maior será a velocidade do foguete. A velocidade limite é estipulada pela configuração do combustível.

DAWSON IZOLA

## EMPUXO

Empuxo é a força com que o foguete é "empurrado", ou seja é a força resultante, que tem o sentido oposto ao da ejeção dos gases.

Construímos e calibramos um medidor de empuxo, FIG. 4, capaz de medir o empuxo de motores a jato até de 2 kgf, ou 19,6 N (NEWTONS) de empuxo. Mais detalhes sobre este aparelho no capítulo CONSTRUÇÃO DE EQUIPAMENTOS.

$$1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N}$$

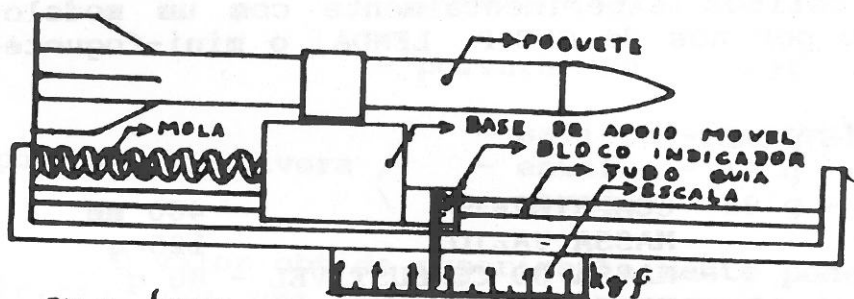


FIG. 4 - (MEDIDOR DE EMPUXO)

## DAWSON IZOLA

### FUNCIONAMENTO DO MEDIDOR DE EMPUXO.

1- COM A COMBUSTÃO, O FOGUETE EMPURRA A BASE MÓVEL, QUE POR SUA VEZ EMPURRA O BLOCO DE MADEIRA DO INDICADOR.

2- A BASE MÓVEL EXERCE UMA FORÇA CONTRÁRIA AO MOVIMENTO DO FOGUETE, PORQUE A BASE MÓVEL ESTÁ PRESA POR UMA MOLA AO SUPORTE DO CONJUNTO.

3- QUANDO O FOGUETE ATINGE O EMPUXO MÁXIMO A BASE DE APOIO MÓVEL RETORNA AO PONTO DE ORIGEM, PORÉM A MADEIRA COM O INDICADOR PERMANECE NO PONTO MÁXIMO. POSSIBILITANDO ASSIM A LEITURA DO VALOR MÁXIMO DE EMPUXO.

De posse do valor da força de empuxo podemos assim atribuir este número a outras definições físicas e assim estabelecemos outros valores pertinentes ao movimento de um foguete.

Para efeito de cálculo vamos utilizar os valores obtidos experimentalmente com um modelo produzido por nós do G.E.P. LENDA, o mini-foguete V2.

### CARACTERÍSTICAS:

- COMPRIMENTO	- 400 mm
- MASSA VAZIO	- 125 g
- MASSA DO COMBUSTÍVEL	- 80 g
- MASSA TOTAL	- 205 g

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

O teste do modelo V2 registrou 0,58 kgf de empuxo ou 5,69 N com um tempo de 3,2 s (segundos) de funcionamento do motor.

Portanto;

- 0,58 kgf de empuxo máximo
- 3,2 s de funcionamento

Estes dados acima correspondem a um combustível com as seguintes características:

- 80 gramas de massa total.

SENDO:

- 50 g de pólvora;
- 30 g de parafina.

### COMPOSIÇÃO DO COMBUSTÍVEL UTILIZADO:

- 80 g - 100%
- parafina 30 g - 37%
- pólvora 50 g - 63%

composição da pólvora	/ \	- salitre - 19 g - 38%
		- enxofre - 12 g - 24%
		- carvão - 19 g - 38%

O valor obtido experimentalmente pode ser verificado por uma composição da segunda lei de Newton.

## DAWSON IZOLA

### 2ª lei de Newton

$$F = m \times a \quad (01)$$

$$F = \frac{M_c \times V_c}{g} \quad (02)$$

ONDE:

- F é o empuxo em kgf.
- $M_c$  é a massa do combustível queimada por segundo. (kgf/s)
- $V_c$  é a velocidade de escapamento dos gases resultantes da queima do combustível. (m/s)
- g é a aceleração da gravidade. (9,81 m/s<sup>2</sup>)

O combustível utilizado pelo modelo V2 compõe-se de aproximadamente 50 gramas de pólvora e 30 gramas de parafina, totalizando 80 gramas.

Sabendo-se que o tempo de queima do combustível foi de 3,2 s, determinamos que a cada segundo são queimados 25 gramas de combustível.

$$\begin{array}{rcl} 80 \text{ g} & \text{-----} & 3,2 \text{ s} \\ X & \text{-----} & 1 \text{ s} \end{array}$$

$$3,2X = 80 \text{ g} \quad X = \frac{80 \text{ g}}{3,2}$$

$$X = 25 \text{ g/s}$$

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

Para ser utilizado na equação (02), o valor de 25 g deve ser convertido em quilogramas para que se possa trabalhar no S.I. (Sistema Internacional de Medidas).

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ kg} & \text{-----} & 1000 \text{ g} \\ X & \text{-----} & 25 \text{ g} \end{array}$$

$$1000X = 25$$

$$X = 0,025 \text{ kg}$$

A velocidade limite de escapamento dos gases produzidos através da queima do combustível é de 220 m/s.

OBS. ESTE VALOR DE 220m/s FOI DETERMINADO ATRAVÉS DE TESTES COM O MEDIDOR DE EMPUXO, PARA UM COMBUSTÍVEL COM A CONFIGURAÇÃO DESCRITA NA PÁGINA 37.

Portanto  $V_c = 220$  metros por segundo.

O valor da aceleração da gravidade (g), é o do local do experimento. Para efeito de cálculo adotaremos g como:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Substituindo os valores na equação (02).



TEREMOS:

$$F = \frac{Mc \times Vc}{g}$$

$$F = \frac{0,025 \text{ kg/s} \times 220 \text{ m/s}}{9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$F = 0,5697 \text{ kgf}$$

aproximadamente 0,56 kgf que teoricamente corresponde a:

5,5 N (NEWTONS)

Comparando com o valor obtido experimentalmente de 5,7 N, poderemos estabelecer o desvio percentual.

$$D = \left| \frac{F_{\text{teórico}} - F_{\text{experimental}}}{F_{\text{teórico}}} \right| \times 100 = (03)$$

$$D = \left| \frac{5,5 - 5,7}{5,5} \right| \times 100 = 3,6 \%$$

DESVIO DE 3,6 %

A diferença entre os valores obtidos teoricamente e experimentalmente pode apresentar

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

uma diferença alta. Isto pode ocorrer por vários fatores:

- 1- A VELOCIDADE DE ESCAPE DOS GASES DO COMBUSTÍVEL NÃO É EXATAMENTE 220 m/s, ESTA É APENAS A VELOCIDADE LIMITE, SOMENTE UTILIZADA PARA EFEITO DE CÁLCULO;
- 2- A QUEIMA DO COMBUSTÍVEL NÃO É UNIFORME, VARIANDO DE SEGUNDO A SEGUNDO;
- 3- O  $g$  (ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE) VARIA DE UM LOCAL PARA OUTRO.

Por estas razões adotaremos o valor de 5,7 N, obtido experimentalmente como o que mais se aproxima do real.

**DAWSON IZOLA**

---

**VELOCIDADE**

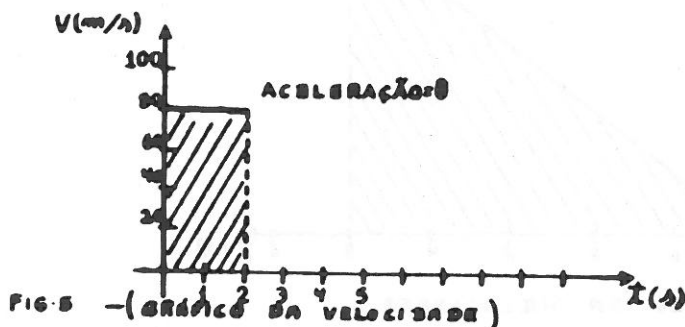

---

A velocidade média de um mini-foguete é o quociente do espaço percorrido pelo tempo decorrido.

$$V = \frac{d}{t} \quad (04)$$

ONDE:

- V é a velocidade média
- d é a distância percorrida
- t é o tempo total



A área do retângulo corresponde ao espaço percorrido, quando o móvel tem velocidade constante, portanto:

$$A = b \times h \rightarrow \text{área do retângulo}$$

$$A = 2 \times 80 \Rightarrow A = 160 \text{ m (metros)}$$

Quando a aceleração não é constante o espaço percorrido é representado pela área do triângulo, portanto:

$$A = \frac{b \times h}{2} \rightarrow \text{área do triângulo}$$

$$A = \frac{5 \times 80}{2} \Rightarrow A = 200 \text{ m}$$

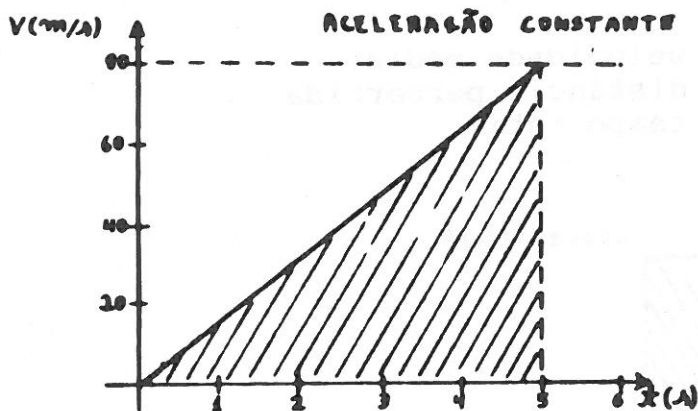


FIG-6 -(GRÁFICO DA VELOCIDADE)

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

Para se determinar a velocidade em um móvel em MRUA (Movimento Retilíneo Uniformemente Acelerado) é necessário que se determine antes a aceleração.

$$S = V_0 \times t + \frac{1}{2} \times a \times t^2 \quad (05)$$

ONDE:

- S é o espaço percorrido
- $V_0$  é a velocidade inicial
- t é o tempo gasto
- a é a aceleração

Mais uma vez é necessário que trabalhem no S.I. (mks). Todas as medidas devem estar em metros, quilogramas e segundos, senão vira salada algébrica.

SUBSTITUINDO NA EQUAÇÃO (05)

DADOS:

- S = 200 m
- $V_0$  = zero -> velocidade inicial
- t = 5 s
- a = ?

$$S = V_0 \times t + \frac{1}{2} \times a \times t^2$$

como  $V_0$  é zero teremos:

$$S = \frac{1}{2} \times a \times t^2$$

## DAWSON IZOLA

$$200 \text{ m} = \frac{1}{2} \times a \times (5)^2$$

$$\frac{2 \times 200 \text{ m}}{25 \text{ s}^2} = a$$

$$a = 16 \text{ m/s}^2$$

Com a aceleração determinamos a velocidade.

$$V = V_0 + a \times t \quad (06)$$

ONDE:

- V é a velocidade
- $V_0$  é a velocidade inicial
- a é a aceleração
- t é o tempo

DADOS:

- V = ?
- $V_0$  = zero (o móvel parte do repouso)
- a =  $16 \text{ m/s}^2$
- t = 5 s

SUBSTITUINDO NA EQUAÇÃO (06)

$$V = V_0 + a \times t$$

como  $V_0$  é zero, teremos:

$$V = a \times t$$



## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

$$V = 16 \frac{m}{s^2} \times 5 s$$

$$V = 80 m/s$$

multiplicando-se por 3,6 obtêm-se a velocidade em km/h.

$$V = 288 km/h$$

DAWSON IZOLA

---

## ACELERAÇÃO

---

Quando um corpo varia sua velocidade com o tempo, dizemos que o corpo está sofrendo uma aceleração.

No nosso caso determinaremos a aceleração pela segunda lei de Newton.

$$F = m \times a$$

ONDE:

- F é a força resultante
- m é a massa do corpo
- a é a aceleração

Quando determinamos F (força resultante) no medidor de empuxo, apenas consideramos o empuxo do motor.

O modelo em voo comporta-se um pouco diferente, por haver outras forças atuando no mini-foguete, como:

- o peso de modelo
- a resistência do ar

Para efeito de cálculo vamos desprezar a resistência do ar.

ENTÃO TEREMOS:



ONDE:  $F$  é o EMPUXO  
 $P$  é o PESO  
 $m$  é a MASSA DO MODELO  
 $g$  é a ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE

FIG. 7  
 (FORÇAS ATUANTES)

Portanto a força  $F_r$  (resultante), será a força de Empuxo menos a força Peso.

A força Peso é a força com que a terra atrai os corpos, portanto, no caso, é uma força contrária ao movimento do foguete. Obtém-se a força Peso multiplicando a massa do corpo pela aceleração da gravidade.

$P = m \times g$  - a unidade é N (NEWTONS)

ENTÃO:

$$F_r = F_e - F_p \quad (08)$$

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

ONDE:

- Fr é a força Resultante
- Fe é a força do Empuxo
- Fp é a força Peso

Para um foguete que sobe verticalmente teremos:

DADOS:

- empuxo = 5,69 N (aproximadamente 5,7 N)
- massa inicial = 0,205 kg
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

SUBSTITUINDO NA EQUAÇÃO (08)

Mais uma vez teremos que trabalhar com unidade iguais, neste caso em NEWTONS.

$$\begin{aligned} Fr &= Fe - Fp \\ Fr &= Fe - ( m \times g ) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fr &= 5,69 \text{ N} - ( 0,205 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 ) \\ Fr &= 5,69 \text{ N} - 2,01 \text{ N} \\ Fr &= 3,68 \text{ N} \end{aligned}$$

O valor de Fr significa que a força que "empurra" o foguete para cima é de 3,68 N.

ENTÃO A ACELERAÇÃO INICIAL SERÁ:

$$F = m \times a$$

$$a = \frac{F}{m} \quad (09)$$

SUBSTITUINDO VALORES

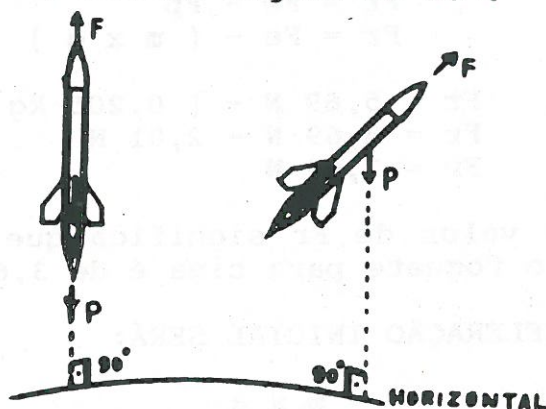
$$a = \frac{F_r}{m_{\text{inicial}}}$$

$$a = \frac{3,68}{0,205} \quad a = 17,95 \text{ m/s}^2$$

Quanto menor for a força Peso, maior será a força Resultante e maior a aceleração, conseqüentemente o modelo terá maior velocidade e maior alcance. Um artifício para diminuir a força Peso é lançar o modelo com um ângulo diferente de  $90^\circ$  com a horizontal. Na FIG. 8 podemos observar que a força peso aponta sempre para a terra, formando com a superfície ângulo de  $90^\circ$ .

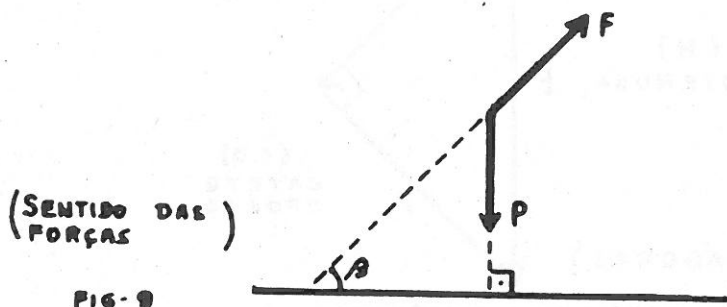
(DISPOSIÇÃO  
DE FORÇAS)

FIG. 8



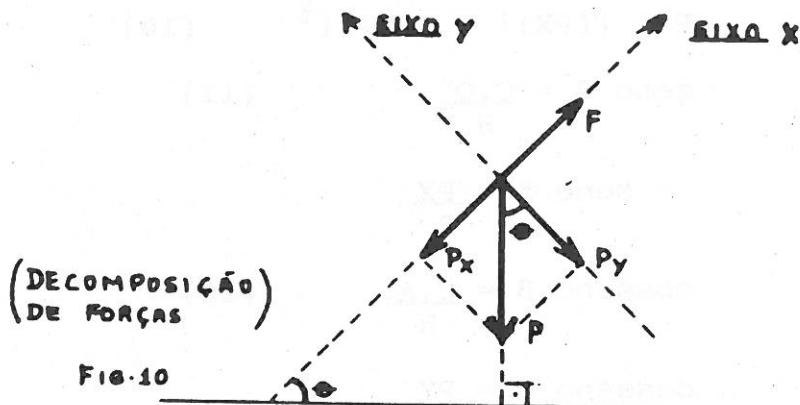
## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

ANALISANDO AS FORÇAS ISOLADAMENTE TEREMOS:



$\theta$  é o ângulo de lançamento.

Decompondo a força peso em X e Y teremos:



$P_x$  e  $P_y$  representam a força  $P$  no plano cartesiano.



Portanto:

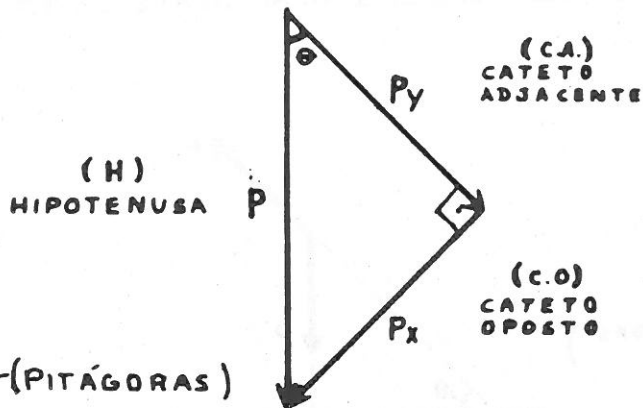


FIG. 11 - (PITÁGORAS)

ENTÃO TEREMOS NO TRIÂNGULO RETÂNGULO:

PITÁGORAS

$$P = ((PX)^2 + (PY)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$$\text{seno } B = \frac{\text{C.O.}}{H} \quad (11)$$

$$\text{seno } B = \frac{PX}{P}$$

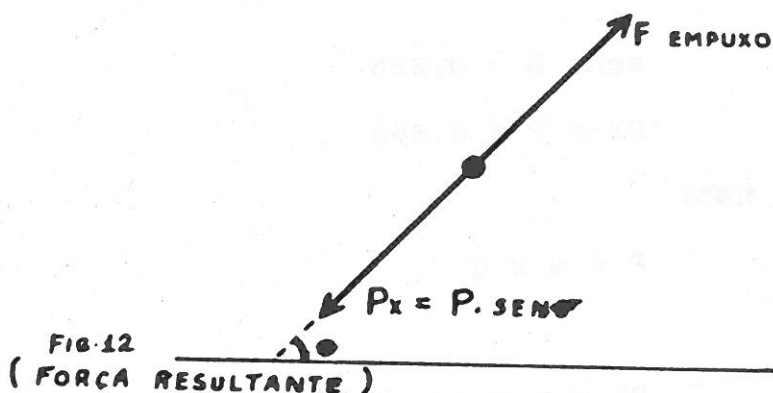
$$\text{cosseno } B = \frac{\text{C.A.}}{H} \quad (12)$$

$$\text{cosseno } B = \frac{PY}{P}$$

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

$$P \times \text{seno } B = PX \quad (13)$$

$$P \times \text{cosseno } B = PY \quad (14)$$



Na FIG. 12 podemos perceber que em um lançamento inclinado a força que se opõe à força de Empuxo é o PX. Com este fato podemos determinar o lançamento cujo ângulo torna PX de menor valor.

EXEMPLO PARA UM LANÇAMENTO COM  $B = 60^\circ$



**DAWSON IZOLA**

**SUBSTITUINDO NA EQUAÇÃO (13)**

$$P_X = P \times \text{seno } \beta$$

$$\text{PARA } \beta = 60^\circ$$

$$\text{seno } \beta = 0,866$$

$$P_X = P \times 0,866$$

**NA EQUAÇÃO (07) TEMOS:**

$$P = m \times g$$

**ENTÃO:**

$$P_X = m \times g \times 0,866$$

**PARA A MASSA INICIAL TEREMOS:**

**DADOS:**

- MASSA INICIAL = 0,205 kg
- SENO  $\beta$  = 0,866
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$$P_X = m \times g \times \text{sen } 60^\circ$$

$$P_X = 0,205 \times 9,81 \times 0,866$$

$$P_X = 1,74 \text{ N ou } 0,18 \text{ kgf}$$

$$P_Y = m \times g \times \cos 60^\circ$$

$$P_Y = 0,205 \times 9,81 \times 0,5$$

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

$$P_Y = 1,006 \text{ N ou } 0,10 \text{ kgf}$$

CONFIRMANDO COM A EQUAÇÃO (10)

$$P = ((P_X)^2 + (P_Y)^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$P = ((1,74)^2 + (1,006)^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$P = 2,01 \text{ N}$$

NA EQUAÇÃO (07)

$$P = m \times g$$

$$m = \frac{P}{g} \quad (15)$$

$$m = \frac{2,01}{9,81}$$

$$m = 0,205 \text{ kg} - \text{confirmando o valor da massa}$$

Podemos confirmar tanto teoricamente quanto experimentalmente que o ângulo que possibilita um maior alcance do modelo é o ângulo de  $45^\circ$  onde há um equilíbrio das componentes do peso. Portanto adotaremos  $\beta = 45^\circ$  para determinarmos a aceleração.

## DAWSON IZOLA

DA EQUAÇÃO (13)

$$PX = P \times \sin \beta$$

$$P = m \times g$$

$$PX = m \times g \times \sin 45^\circ$$

NO INÍCIO DA COMBUSTÃO:

$$- \text{MASSA} = 0,205 \text{ kg}$$

$$- g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$- \sin 45^\circ = 0,707$$

$$PX = 0,205 \times 9,81 \times 0,707$$

$$PX = 1,41 \text{ N ou } 0,15 \text{ kgf}$$

PORTANTO FR SERÁ NA EQUAÇÃO (08)

$$Fr = Fe - PX$$

DADOS:

$$- \text{EMPUXO} = 5,69 \text{ N}$$

$$Fr = 5,69 - 1,42$$

$$Fr = 4,27 \text{ N} - \text{no início do vôo}$$

SUBSTITUINDO NA EQUAÇÃO (09)

$$a = \frac{Fr}{m}$$

$$a = \frac{4,27}{0,205}$$

$$a = 20,83 \text{ m/s}^2$$

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

No final (término do combustível), a massa passa a ser de 0,125 kg , pois os 0,08 kg do combustível foram queimados.

NA EQUAÇÃO (13)

$$PX = P \times \text{sen } \beta$$

$$P = m \times g$$

$$PX = m \times g \times \text{sen } 45^\circ$$

$$PX = 0,125 \times 9,81 \times 0,707$$

$$PX = 0,87 \text{ N} \quad \text{ou} \quad 0,09 \text{ kgf}$$

ENTÃO TEREMOS NA EQUAÇÃO (08)

$$Fr = Fe - PX \quad (08)$$

$$Fr = 5,69 \text{ N} - 0,87 \text{ N}$$

$$Fr = 4,82 \text{ N}$$

NA EQUAÇÃO (09) TEREMOS A ACELERAÇÃO FINAL

$$a = \frac{Fr}{m}$$

$$a = \frac{4,82}{0,125}$$

$$a = 38,56 \text{ m/s}^2$$

## DAWSON IZOLA

ACELERAÇÃO INICIAL - 20,83 m/s<sup>2</sup>

ACELERAÇÃO FINAL - 38,56 m/s<sup>2</sup>

A aceleração de um foguete varia de mínimo a máximo ao longo do período de funcionamento do motor, isto porquê a massa vai diminuindo com a queima do combustível, e como a força de empuxo é constante, diminuindo a força resistiva (força Peso), o modelo aumenta a aceleração.

A determinação da aceleração do modelo ao longo da trajetória exige cálculo INTEGRAL e DIFERENCIAL. Para simplificarmos, adotaremos uma, aceleração média, que se aproxima da realidade.

ENTÃO TEREMOS:

$$a_m = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (16)$$

ONDE

- $a_1$  é a aceleração inicial
- $a_2$  é a aceleração final

$$a_m = \frac{20,83 + 38,56}{2}$$

$$a_m = 29,70 \text{ m/s}^2$$



---

ALCANCE VERTICAL

---

Entende-se por alcance vertical a altura máxima, com relação ao solo, que o modelo alcança, é conhecido também como apogeu.

De posse do valor da aceleração média, poderemos determinar a velocidade final ao término do combustível. O voo de um modelo de mini-foguete é caracterizado por dois estágios:

- 1. A VELOCIDADE PARTE DE ZERO E VAI ATÉ MÁXIMA, NO TEMPO EM QUE O MOTOR PERMANECE FUNCIONANDO.
- 2. APÓS O TÉRMINO DO COMBUSTÍVEL O MODELO AINDA PERCORRE UM ESPAÇO ASCENDENTE ATÉ ATINGIR O PONTO MAIS ALTO DA TRAJETÓRIA.

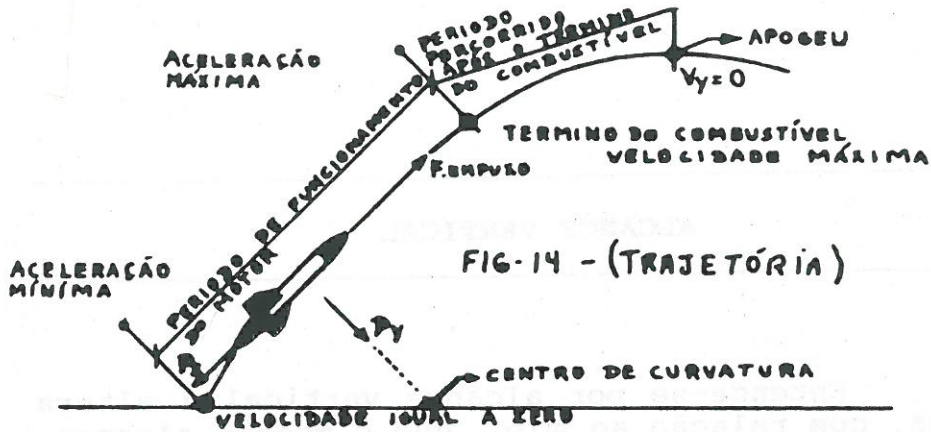


FIG-14 - (TRAJETÓRIA)

A força PY é responsável pela trajetória parabólica do modelo, apontando para o centro de curvatura do percurso.

A força PX é superada pela força de Empuxo.  $F_r = F_e - P_X$ .

### VELOCIDADE FINAL

A velocidade final do modelo acontece no momento exato em que o combustível termina. Sabendo que a velocidade inicial é zero, porque o modelo parte do repouso, podemos determinar a velocidade final utilizando a equação (06).

$$V_F = V_0 + a \times t \quad (06)$$

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

### DADOS:

- $V_0$  - velocidade inicial = zero
- $a$  - aceleração média =  $29,70 \text{ m/s}^2$
- $t$  - tempo de funcionamento do motor =  $3,2 \text{ s}$
- $V_F$  - velocidade final = ?

$$V_F = V_0 + a \times t$$

COMO  $V_0$  É ZERO TEREMOS:

$$V_F = a \times t$$

$$V_F = 29,70 \times 3,2$$

$$V_F = 95,04 \text{ m/s ou } 340,14 \text{ km/h}$$

Com a velocidade final podemos determinar, também pela equação do movimento, o espaço percorrido durante o período em que o motor permaneceu funcionando, denominado vôo ativo.

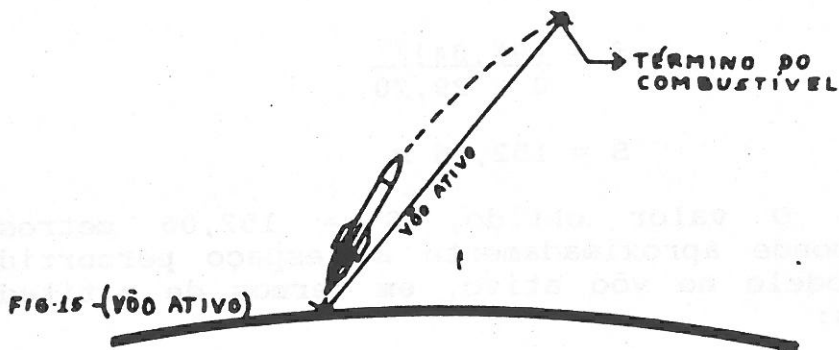


FIG-15 - (VÔO ATIVO)

## DAWSON IZOLA

UTILIZANDO A EQUAÇÃO

$$VF^2 = Vo^2 + 2 \times a \times S$$

ONDE:

- VF - velocidade final
- Vo - velocidade inicial
- a - aceleração média
- S - espaço percorrido

DADOS:

- VF = 95,04 m/s
- Vo = zero (parte do repouso)
- a<sub>m</sub> = 29,70 m/s<sup>2</sup>

$$VF^2 = Vo^2 + 2 \times a \times S$$

COMO Vo É ZERO TEREMOS:

$$\frac{VF^2}{2 \times a} = S$$

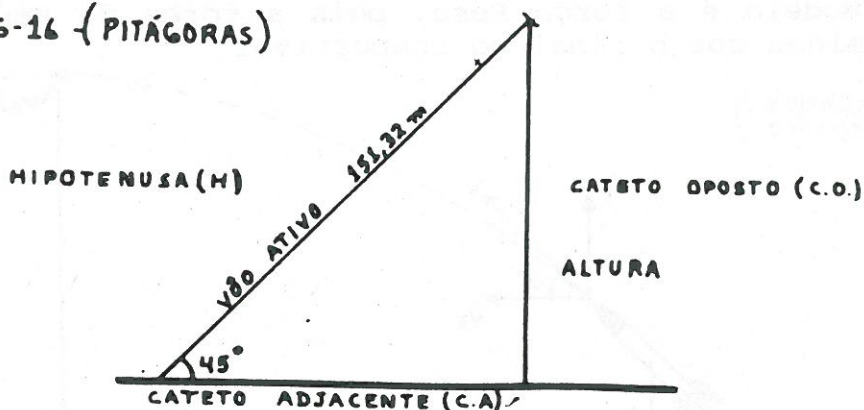
$$S = \frac{(95,04)^2}{2 \times 29,70}$$

$$S = 152,06 \text{ m}$$

O valor obtido, S = 152,06 metros, corresponde aproximadamente ao espaço percorrido pelo modelo no voo ativo, em termos de altitude teremos:

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

FIG-16 (PITÁGORAS)



UTILIZANDO A EQUAÇÃO (11)

$$\text{sen } \beta = \frac{\text{C.O.}}{H} \quad (11)$$

$$\text{sen } 45^\circ \times H = \text{C.O.}$$

$$0,707 \times 152,06 = \text{C.O.}$$

$$\text{ALTURA} = 107,52 \text{ m}$$

Após o término do combustível o modelo funciona como um projétil cujo valor da velocidade final no período de vôo ativo passa a ser o valor da velocidade inicial do projétil. Por estar inclinado, a velocidade, como o peso, tem também duas componentes X e Y, e a única força que atua

no modelo é a força Peso, pois a força de Empuxo terminou com o final do combustível.

(ALCANCE  
MÁXIMO)

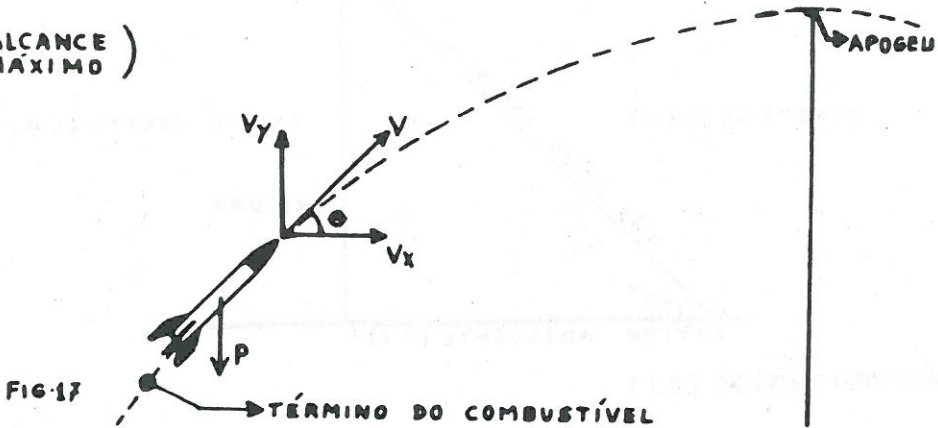
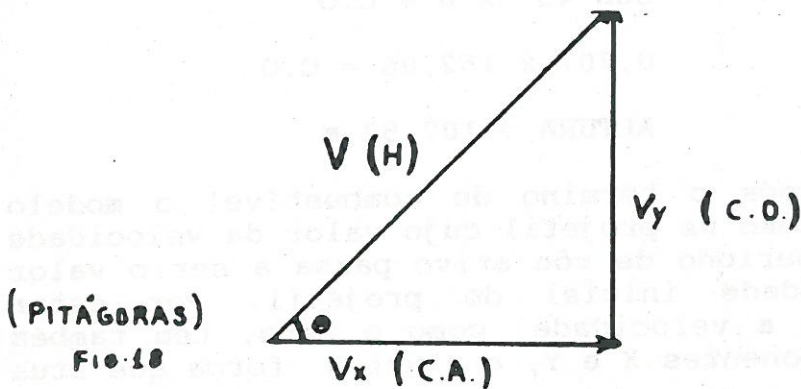


FIG. 17

TÉRMINO DO COMBUSTÍVEL

NO TRIÂNGULO RETÂNGULO TEREMOS:

PITÁGORAS: 
$$V_o = ((V_oX)^2 + (V_oY)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$



(PITÁGORAS)

FIG. 18

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

$$\text{sen } \beta = \frac{C.O}{H} \quad (11)$$

$$\text{sen } \beta = \frac{V_o Y}{V}$$

$$V_o Y = V \times \text{sen } \beta \quad (19)$$

$$\text{cos } \beta = \frac{C.A}{H} \quad (12)$$

$$\text{cos } \beta = \frac{V_o X}{V}$$

$$V_o X = V \times \text{cos } \beta \quad (20)$$

No voo ativo a velocidade final encontrada é de 95,04 m/s, esta velocidade passa a ser a velocidade inicial e o ângulo  $\beta$  é o próprio ângulo de lançamento  $45^\circ$  aproximadamente.

PORTANTO:

$$V_o = 95,04 \text{ m/s}$$

$$\beta = 45^\circ$$

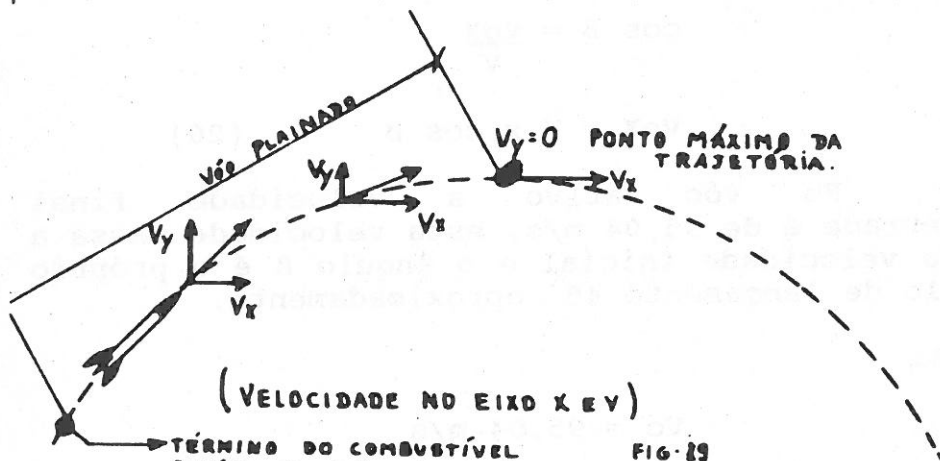
$$VX = 95,04 \times \text{cos } 45^\circ \Rightarrow VX = 67,20 \text{ m/s}$$

$$VY = 95,04 \times \text{sen } 45^\circ \Rightarrow VY = 67,20 \text{ m/s}$$



Os valores de  $V_X$  e  $V_Y$  são iguais porquê o valor do seno de  $45^\circ$  é igual ao valor do cosseno de  $45^\circ$ , ambos 0,707 aproximadamente.

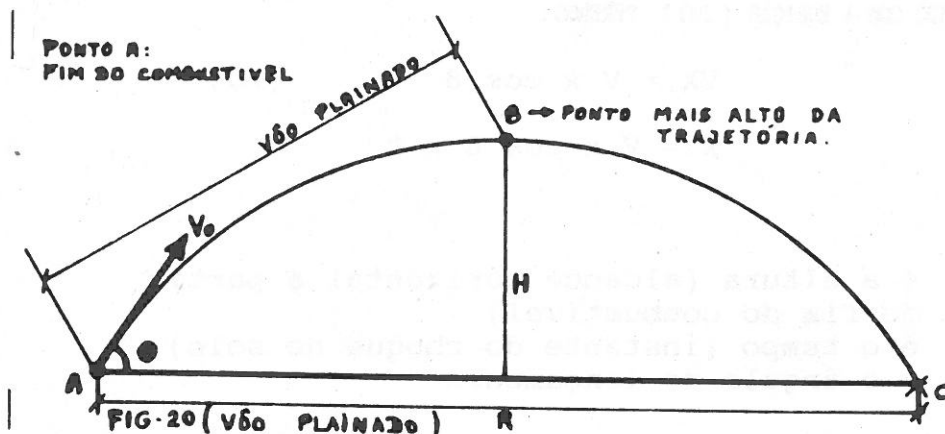
$V_X$  "puxa" o modelo para a direita e  $V_Y$  "puxa" o modelo para cima, portanto no ponto mais alto da trajetória, quando o modelo parar de subir, o valor de  $V_Y$  será zero. Existindo neste ponto apenas  $V_X$  que permanece constante ao longo da trajetória do modelo após o término do combustível.



Após o término do combustível o modelo passa a cair em queda livre, sempre desprezando a resistência do ar.

Analisando o vôo do modelo após o término do combustível, teremos um lançamento oblíquo.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES



Quando jogamos algum objeto para cima, podemos observar que o tempo que o objeto leva para subir é igual ao tempo que ele leva para descer. Assim se determinarmos na FIG. 20 o tempo que o modelo gasta para percorrer a trajetória de A até C poderemos determinar o valor do espaço percorrido de A até B, pois o tempo será a metade do tempo gasto de A até C.

NO LANÇAMENTO OBLÍQUO TERENOS:

MUV - (movimento uniformemente variado)

HORIZONTAL

$$X = V_0 X \times t \quad (21)$$

## DAWSON IZOLA

SUBSTITUINDO COM A EQUAÇÃO (20) TEREMOS:

$$VX = V \times \cos \beta \quad (20)$$

$$X = V \times \cos \beta \times t$$

ONDE:

X - é a altura (alcance horizontal a partir do fim do combustível)

t - é o tempo (instante do choque no solo)

$\beta$  - é o ângulo de lançamento

VERTICAL

$$Y = VY \times t - \frac{1}{2} \times g \times t^2 \quad (22)$$

SUBSTITUINDO COM A EQUAÇÃO (19) TEREMOS:

$$VY = V \times \sin \beta \quad (19)$$

$$Y = (V \times \sin \beta \times t) - \frac{1}{2} \times g \times t^2 \quad (23)$$

ONDE:

Y - é a coordenada no eixo y

V - é a velocidade inicial

t - é o tempo

g - é a aceleração da gravidade

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

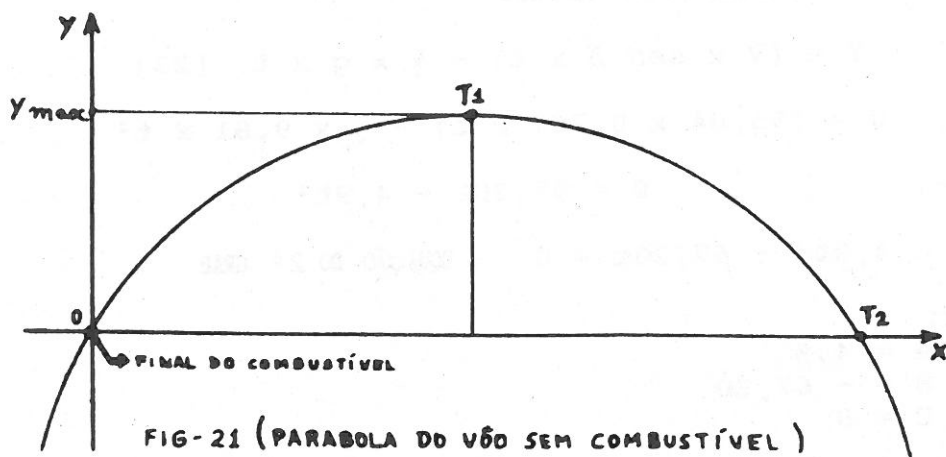


FIG-21 (PARABOLA DO VÔO SEM COMBUSTÍVEL)

O valor de  $Y$  varia de zero, ao término do combustível, até máximo, no ponto mais alto da trajetória e retorna a zero quando passa pelo eixo do  $X$ , isto quando traçamos um referencial onde o zero, tanto de  $X$  quanto de  $Y$ , passa pelo ponto exato do término do combustível.

Assim quando  $Y$  voltar a ser zero significa que o tempo é máximo na trajetória.

### DADOS:

- $Y$  - zero
- $V_0$  - 95,04 m/s
- $\beta$  - 45°
- $t$  - ?
- $g$  - 9,81 m/s<sup>2</sup>

# DAWSON IZOLA

SUBSTITUINDO NA EQUAÇÃO (23) TEREMOS:

$$Y = (V \times \text{sen } \beta \times t) - \frac{1}{2} \times g \times t^2 \quad (23)$$

$$0 = (95,04 \times 0,707 \times t) - \frac{1}{2} \times 9,81 \times t^2$$

$$0 = 67,20t - 4,9t^2$$

$$4,9t^2 - 67,20t = 0 \quad - \text{EQUAÇÃO DO 2º GRAU}$$

ONDE:

$$A = 4,9$$

$$B = - 67,20$$

$$C = 0$$

$$\Delta = B^2 - 4 \times A \times C$$

$$\Delta = (- 67,20)^2 - 4 \times 4,9 \times 0$$

$$\Delta = 4.515,84$$

$$t = \frac{- B \pm (\Delta)^{\frac{1}{2}}}{2 \times A} \quad (24)$$

$$t' = \frac{- B - (\Delta)^{\frac{1}{2}}}{2 \times A}$$

$$t' = \frac{+ 67,20 - (4.515,84)^{\frac{1}{2}}}{2 \times 4,9}$$

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

$$t' = \frac{67,20 - 67,20}{9,8} = 0 \text{ (zero)} \quad \text{IMPROVÁVEL}$$

$$t'' = \frac{-B + (\Delta)^{\frac{1}{2}}}{2 \times A}$$

$$t'' = \frac{67,20 + 67,20}{9,8} = \frac{134,40}{9,8}$$

$$t'' = 13,71 \text{ s}$$

Como em todas as equações do segundo grau, foram encontradas duas incógnitas, no nosso caso, dois valores para o tempo, isto porque o modelo passa duas vezes pelo eixo X, uma vez com o término do combustível e outra quando t for máximo.

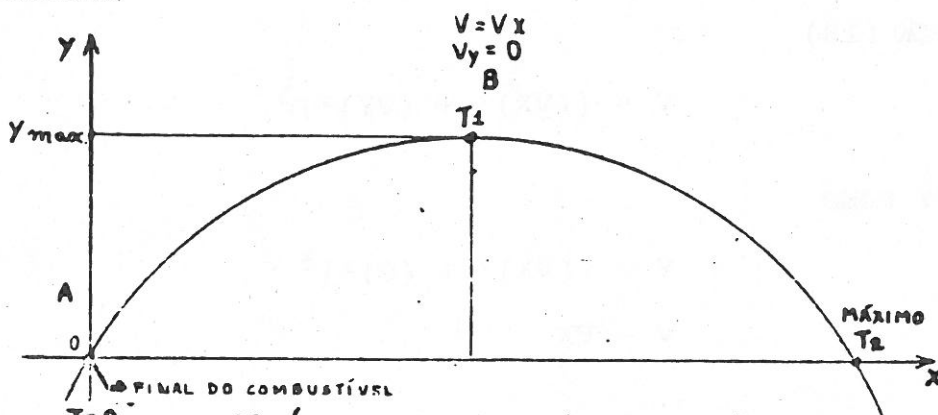


FIG-22 (TEMPO DE VÔO PLAINADO)

DAWSON IZOLA

Com o valor de  $t_2$  máximo podemos determinar a altura  $h$ .

$$t_2 = 13,71 \text{ s}$$

COMO  $t_1$  É A METADE DE  $t_2$

ENTÃO  $t_1$  É APROXIMADAMENTE 6,86 s

No ponto mais alto da trajetória, ponto B, o modelo não está subindo mais, isto implica que a velocidade no eixo Y é zero. Podemos então considerar que no ponto B a velocidade final é a velocidade  $V_X$ , porque  $V_Y$  é igual a zero.

NA EQUAÇÃO (18)

$$V = ((V_X)^2 + (V_Y)^2)^{\frac{1}{2}}$$

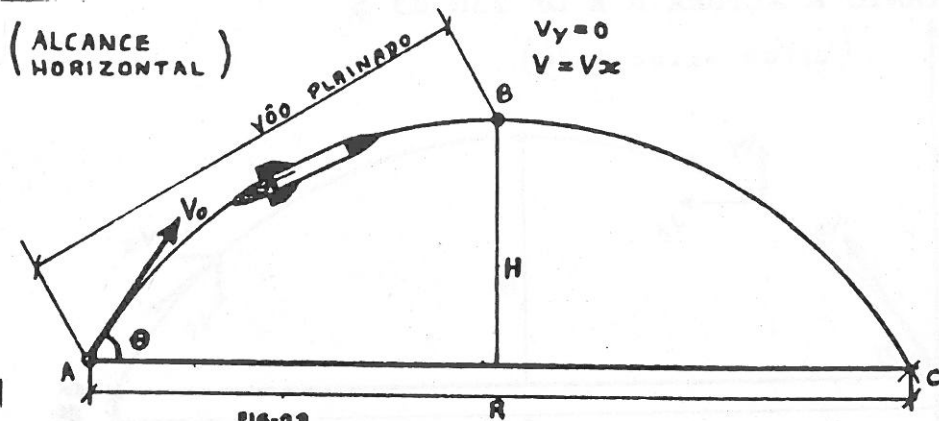
COMO  $V_Y$  É ZERO

$$V = ((V_X)^2 + (0)^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$V = V_X$$



## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES



DADOS:

$$\theta = 45^\circ$$

$$V_0 = 95,04 \text{ m/s}$$

$$V_F = V_X = (95,04 \times \cos 45^\circ) = 67,20 \text{ m/s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$t = 6,86 \text{ s} - \text{metade do tempo total } 13,71 \text{ s}$$

DA EQUAÇÃO (23) TEREMOS:

$$Y = (V_Y \times t) + \frac{1}{2} \times g \times t^2 \quad (23)$$

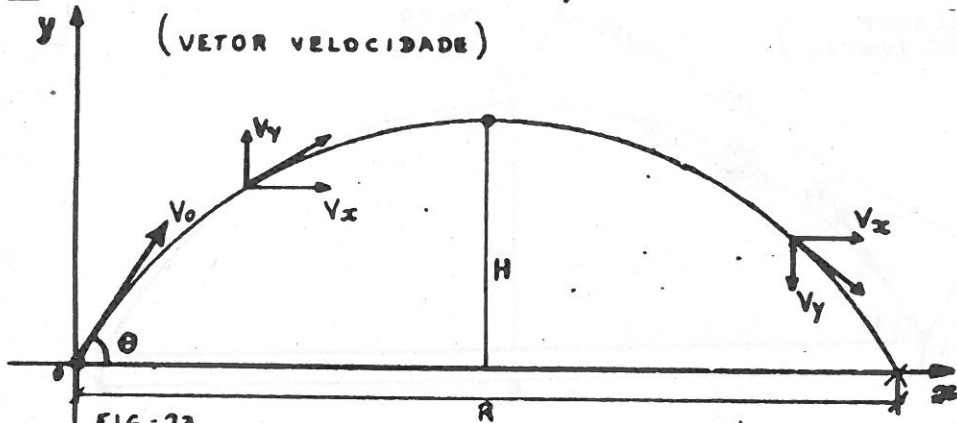
COMO  $V_Y$  É ZERO TEREMOS:

$$Y = \frac{1}{2} \times g \times t^2$$

$$Y = \frac{1}{2} \times 9,81 \times (6,86)^2$$

$$Y = 230,83 \text{ m}$$

PORTANTO A ALTURA  $h$  É DE 230,83 m



DA EQUAÇÃO (21) DETERMINA-SE O VALOR DE R

$$X = V_0 \times \cos \beta \times t \quad (21)$$

DADOS:

$$V_0 - 95,04 \text{ m/s}$$

$$\beta - 45^\circ$$

$$t - 13,71 \text{ s (tempo total)}$$

$$X - ?$$

$$X = V_0 \times \cos 45^\circ \times t$$

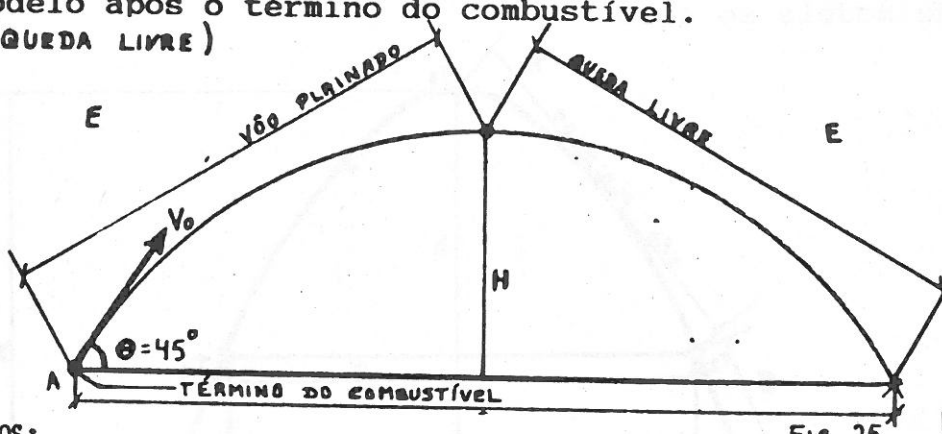
$$X = 95,04 \times 0,707 \times 13,71$$

$$X = 921,36 \text{ m}$$

PORTANTO O ALCANCE R É 921,36 m

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

Com os valores de X e Y podemos determinar o espaço ascendente percorrido pelo modelo após o término do combustível.  
(QUEDA LIVRE)



DADOS:

$$h = 230,83 \text{ m}$$

$$R = 921,36 \text{ m}$$

$$S = 460,68 \text{ m (metade do valor de R)}$$

$$E = ?$$

ASSIM NO TRIÂNGULO RETÂNGULO

$$E^2 = S^2 + h^2 \quad (25)$$

$$E^2 = (460,68)^2 + (230,83)^2$$

$$E = (265.508,5513)^{\frac{1}{2}}$$

$$E = 515,28 \text{ m}$$

Analisaremos agora todo o percurso do modelo, desde o momento em que o combustível se inflama ao seu término e posteriormente o retorno do modelo ao solo.

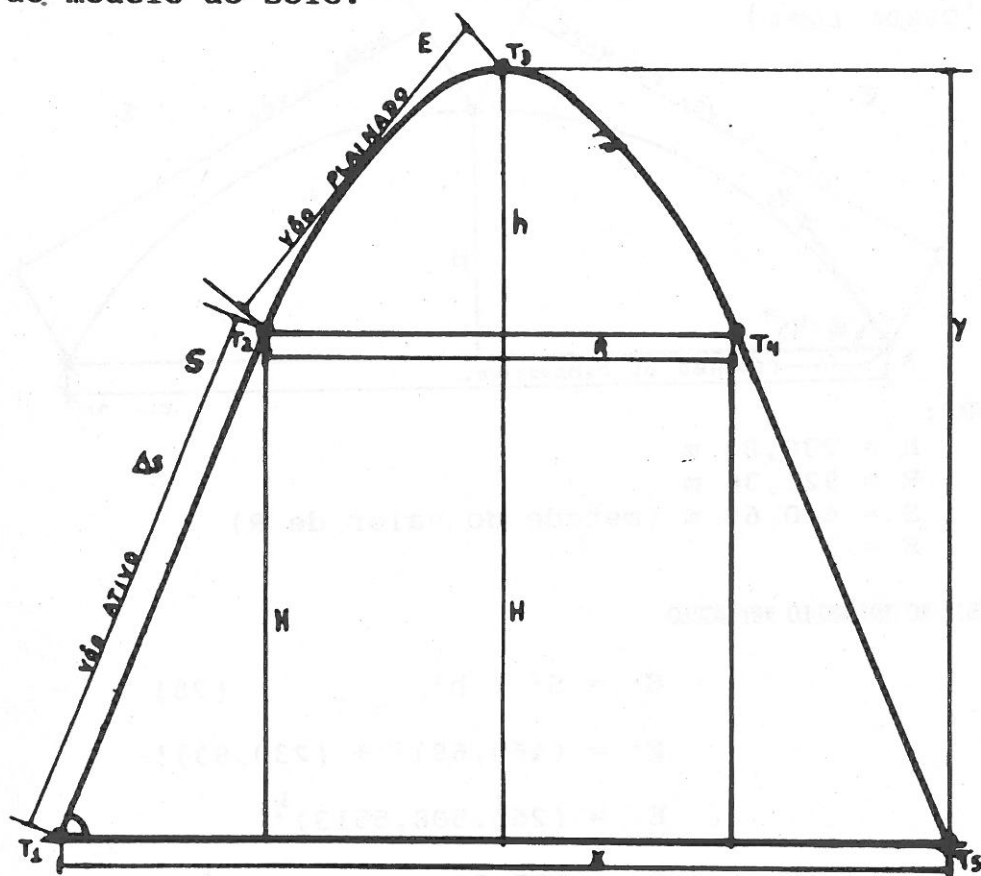


FIG-26 (TRAJETÓRIA COMPLETA DO VÔO)

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

$E = 515,28 \text{ m}$  - ESPAÇO PERCORRIDO ASCENDENTE APÓS O TÉRMINO DO COMBUSTÍVEL.

$S = 152,06 \text{ m}$  - ESPAÇO PERCORRIDO COM O MOTOR FUNCIONANDO.

$t_1 = \text{ZERO}$  - PARTE DO REPOUSO.

$t_2 = 3,2 \text{ s}$  - TEMPO DE FUNCIONAMENTO DO MOTOR.

$t_3 = 6,86 \text{ s}$  - TEMPO DO VÔO ASCENDENTE, DEPOIS DO FINAL DO COMBUSTÍVEL.

$t_4 = 13,71 \text{ s}$  - TEMPO DO VÔO ATÉ O RETORNO NO MESMO EIXO.

$t_5 = 20,11 \text{ s}$  - TEMPO TOTAL DESDE O FUNCIONAMENTO ATÉ A QUEDA.

$h = 230,83 \text{ m}$  - ALTURA NO LANÇAMENTO OBLÍQUO.

$H = 107,52 \text{ m}$  - ALTURA ALCANÇADA COM O FUNCIONAMENTO DO MOTOR.

$R = 921,36 \text{ m}$  - ALCANCE NO LANÇAMENTO OBLÍQUO.

$X = 1.136,4 \text{ m}$  - ALCANCE HORIZONTAL.

$Y = 338,35 \text{ m}$  - ALTURA TOTAL (APOGEU).

## DAWSON IZOLA

Há vários fatores que podem influenciar os resultados até agora apresentados, entre eles a velocidade e a direção do vento.

A cada lançamento com modelos variados, devem ser medidos o empuxo e o tempo de funcionamento do motor, para assim utilizar as equações apresentadas.

Outro fato importante é que os modelos de mini-foguetes, geralmente possuem para-quedas, neste caso, as equações são válidas até o momento em que o para-quedas é acionado, normalmente no ponto mais alto da trajetória.

---

POTÊNCIA

---

TRABALHO

Trabalho é o produto da força aplicada num móvel pelo espaço percorrido, pelo ponto de aplicação da força.

EXEMPLO:

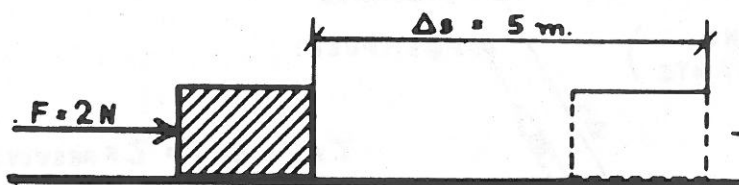


FIG. 27 (TRABALHO DA FORÇA)



$$TF = F \times S$$

(26)

ONDE:

TF - é o trabalho

F - é a força que provoca o movimento

S - é o espaço percorrido

DADOS:

$$F = 2 \text{ N}$$

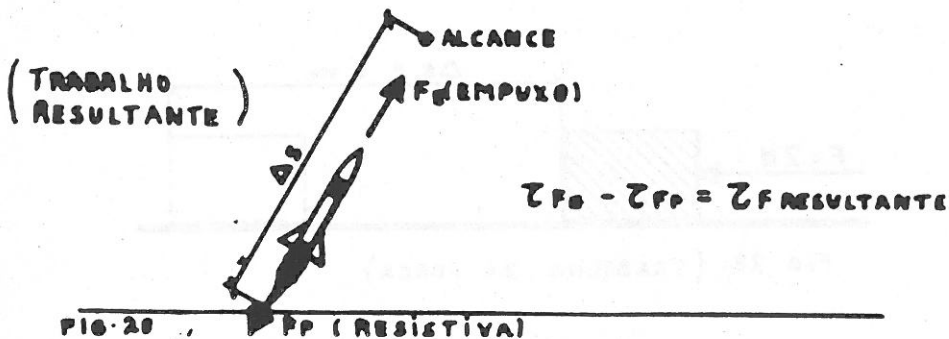
$$S = 5 \text{ m}$$

$$TF = F \times S$$

$$TF = 2 \times 5$$

$$TF = 10 \text{ J (JOULES)}$$

Quando a força de Empuxo vence a força Resistiva (força Peso) e eleva o mini-foguete a uma determinada altura, esta força realiza trabalho.



## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

ASSIM TEREMOS:

DADOS:

- força de Empuxo inicial = 5,69 N
- força de Empuxo final = 5,69 N
- força Peso inicial (PX) = 1,42 N
- força peso final (PX) = 0,87 N

Mais uma vez para escaparmos do cálculo diferencial e integral, utilizaremos uma média, que também se aproxima do real.

FORÇA PESO MÉDIA:

$$F_p = \frac{1.42 + 0.87}{2} = 1,15 \text{ N}$$

$$PX \text{ MÉDIO} = 1,15 \text{ N}$$

TRABALHO DA FORÇA DE EMPUXO:

DADOS:

- S - deslocamento = 151,32 m
- Fe - força de Empuxo = 5,69 N

$$TF = F \times S \quad (26)$$

$$TF = 5,69 \times 151,32 \Rightarrow TF = 861,01 \text{ J}$$

$$\text{TRABALHO DA FORÇA DE EMPUXO} = 861,01 \text{ J}$$

## DAWSON IZOLA

### TRABALHO DA FORÇA DE EMPUXO PX

$$T_{fp} = f \times d$$

$$T_{fp} = 1,15 \times 151,32$$

$$T_{fp} = 174,02 \text{ J}$$

### TRABALHO TOTAL

$$T_{fe} - T_{fp} = T_{\text{resultante}}$$

$$861,01 - 174,02 = 686,99 \text{ J}$$

$$\text{TRABALHO RESULTANTE} = 686,99 \text{ J}$$

Existe uma relação física que diz que: "A SOMA DOS TRABALHOS DE TODAS AS FORÇAS QUE AGEM NUM SISTEMA CORRESPONDEM À VARIAÇÃO DA ENERGIA CINÉTICA DO MESMO".

$$ST = \Delta EC$$

$$T_{fe} - T_{fp} = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (27)$$

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

ONDE:

- $T_{fe}$  e  $T_{fp}$  => Forças atuantes no corpo, são positivas quando estão no sentido do deslocamento, e são negativas quando são contrárias ao deslocamento.
- $m$  => massa média do corpo (inicial e final).
- $V$  => velocidade final.

### MASSA MÉDIA

$$m_{\text{média}} = \frac{m_{\text{inicial}} + m_{\text{final}}}{2}$$

$$m_{\text{média}} = \frac{0,205 + 0,125}{2} = 0,165 \text{ kg}$$

### ATRIBUINDO VALORES

$$T_{fe} - T_{fp} = \frac{1}{2} \times m \times V^2 \quad (27)$$

$$861,01 - 174,02 = \frac{1}{2} \times 0,165 \times V^2$$

$$686,99 = 0,0825 \times V^2$$

## DAWSON IZOLA

$$V^2 = \frac{686,99}{0,0825}$$

$$V = (8,327,1515)^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 91,25 \text{ m/s}$$

A velocidade final do mini-foguete encontrada através da variação da energia cinética é de 91,25 m/s, se compararmos com o valor obtido experimentalmente de 94,60 m/s teremos um desvio de aproximadamente 4%, o que podemos concluir que não é alto pois desconsideramos o trabalho da resistência do ar.

## POTÊNCIA

Potência é a razão entre o trabalho realizado por uma força e o tempo gasto para isso.

Assim, potência é o trabalho realizado por unidade de tempo. Ex. Se um motor gasta 10 segundos para levantar uma carga de 5 kg a uma altura de 2 metros com velocidade constante, qual a potência deste motor?

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

DADOS:

$$m = 5 \text{ kg}$$

$$h = 2 \text{ m}$$

$$t = 10 \text{ s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$Po = \frac{\text{trabalho do peso}}{\text{tempo}}$$

$$Po = \frac{m \times g \times h}{t} \quad (28)$$

$$Po = \frac{5 \times 9,81 \times 2}{10} = 9,8 \text{ WATTS}$$

$$\begin{aligned} 746 \text{ WATTS} &= 1 \text{ HP (HORSE-POWER)} \\ 9,8 \text{ WATTS} &= X \text{ HP} \end{aligned}$$

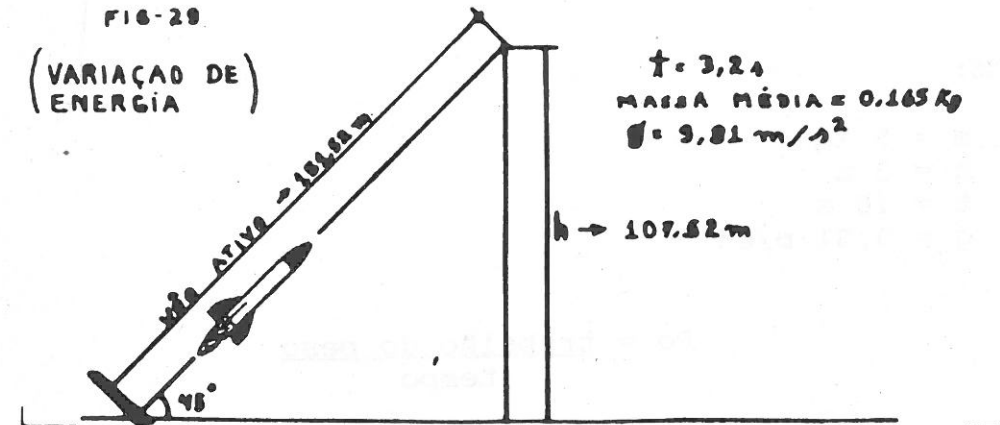
$$X = \frac{9,8}{746} = 0,013 \text{ HP}$$

**MOTOR DE 0,013 HP**

Para o nosso modelo também podemos calcular a potência do motor.

FIG-29

(VARIAÇÃO DE ENERGIA)



DADOS:

- $h = 107,52 \text{ m}$
- $t = 3,2 \text{ s}$
- $m_{\text{média}} = 0,165 \text{ kg}$
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$$P_o = \frac{m \times g \times h}{3,2} \quad (28)$$

$$P_o = \frac{0,165 \times 9,81 \times 107,52}{3,2}$$

$$P_o = 54,12 \text{ WATTS} \Rightarrow P_o = 0,07 \text{ HP}$$

Portanto a potência desenvolvida pelo motor para alcançar uma altura de 107 metros em 3,2 segundos foi de 0,07 HP.

---

## CÁLCULO DA TUBEIRA

---

Depois do combustível, o estreitamento da câmara de combustão é a parte mais crítica do modelo. É deste cálculo que depende o desempenho do foguete.

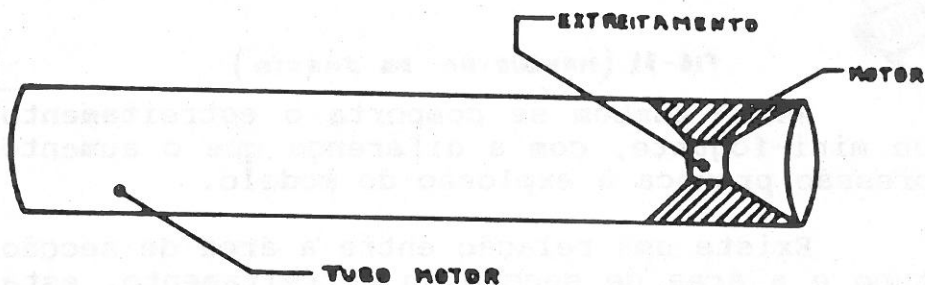


FIG. 20 (TUBEIRA)

O estreitamento é a parte que necessita de maior precisão em um projeto de mini-foguetes, a variação da medida do estreitamento deve ser da ordem dos décimos de milímetro, ou seja muito pequena.



## DAWSON IZOLA

Podemos fazer uma comparação com uma mangueira de jardim, a medida que vamos regulando o estrangulamento podemos perceber que o jato de água vai aumentando sua velocidade, até um certo limite, a partir desse ponto, a pressão aumenta porém o jato diminui a velocidade.



FIG-31 (MANGUEIRA DE JARDIM)

Assim também se comporta o estreitamento de um mini-foguete, com a diferença que o aumento de pressão provoca a explosão do modelo.

Existe uma relação entre a área de secção do tubo e a área de secção do estreitamento, esta relação é a velocidade.

Se um fluido se move dentro de um tubo, onde existe duas secções diferentes, esse mesmo fluido, se moverá com maior velocidade quando estiver passando pela área de menor secção.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

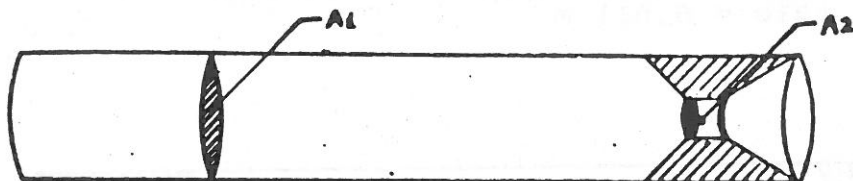


FIG-22 (ÁREA DA SECÇÃO TRANSVERSAL)

Por medidas de segurança a construção do estreitamento respeita alguns limites, como por exemplo a velocidade limite no estreitamento deve ser de MAC 2 - 680 m/s, como vimos no capítulo 2 a velocidade de ejeção dos gases do combustível utilizado neste projeto é de 220 m/s, com estes dados podemos determinar, pela EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE a área de secção do estreitamento.

### ÁREA DO TUBO

$$A = \pi \times R^2 \quad (29)$$

ONDE:

- A = área de secção do tubo
- $\pi$  = Pi  $\Rightarrow 3,141592...$
- R = raio do tubo

DADOS:

- diâmetro = 22 mm / 0,022 metros
- raio = 0,011 m

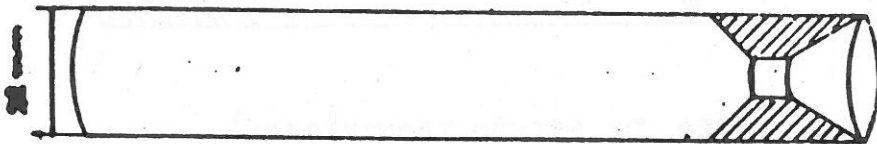


FIG. 33 (DIAMETRO)

$$A = \pi \times R^2 \quad (29)$$

$$A = 3,1415 \times (0,011)^2$$

$$A = 0,0004 \text{ m}^2$$

EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

O produto da velocidade  $V_1$  pela área  $A_1$  no ponto 1 é igual ao produto da velocidade  $V_2$  pela área  $A_2$ , quando a vazão é constante.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

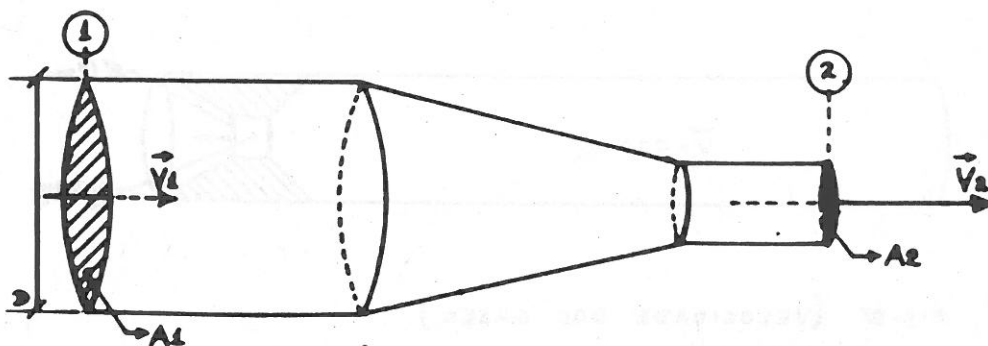


FIG-24 (EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE)

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 \quad (30)$$

DADOS:

- $A_1 = 0,0004 \text{ m}^2 / 3,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
- $V_1 = 220 \text{ m/s}$
- $V_2 = 680 \text{ m/s}$
- $A_2 = ?$  (estreitamento)

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$$

$$A_2 = \frac{A_1 \times V_1}{V_2}$$

$$A_2 = \frac{0,0004 \times 220}{680}$$

$$A_2 = 0,000122 \text{ m}^2$$

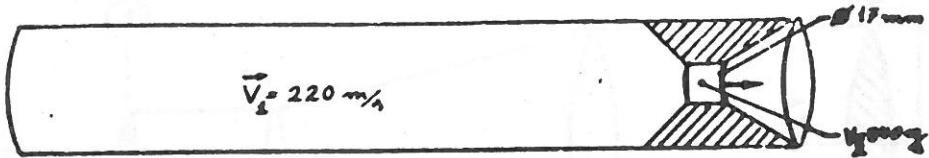


FIG-25 (VELOCIDADE DOS GASES)

APROVEITANDO A EQUAÇÃO (29)

$$A = \rho \times R^2$$

$$R = \left( A / \rho \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$R = (0,00012 / 3,1416)^{\frac{1}{2}}$$

$$R = 0,0063 \text{ m} / 6,26 \text{ mm}$$

DIÂMETRO DO ESTREITAMENTO = 12,52 mm

Mais uma vez é importante salientar que o estreitamento é o ponto mais crítico do projeto. De posse do valor do diâmetro podemos estipular a variação máxima. Sendo o diâmetro de 12,52 mm, na construção o valor deve estar entre 12,4 mm e 12,6 mm, fora deste valor poderá ocorrer complicações.

## **MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES**

10

---

### **CONSTRUÇÃO DE EQUIPAMENTOS**

---

**MEDIDOR DE EMPUXO**

**PAVIO ATIVO**

**TEODOLITO**

**PREVISÃO DO TEMPO**

Neste capítulo será mostrado alguns equipamentos desenvolvidos pelo G.E.P. LENDA.

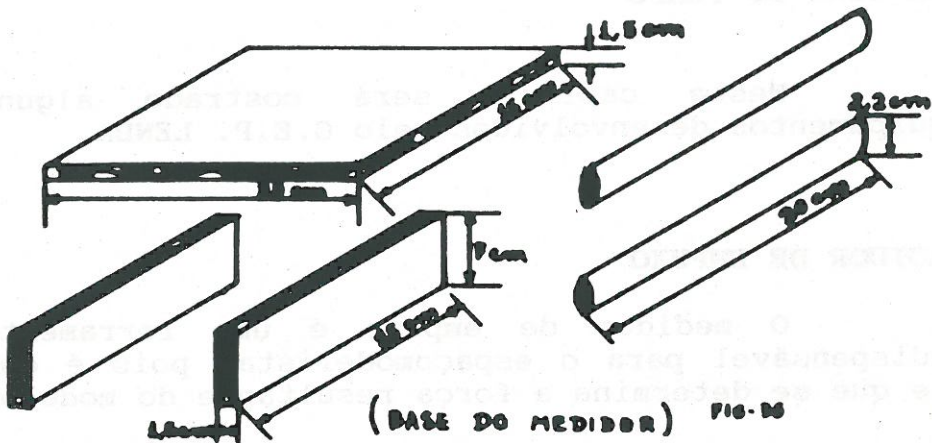
**MEDIDOR DE EMPUXO**

O medidor de empuxo é uma ferramenta indispensável para o espaçomodelista, pois é com ele que se determina a força resultante do modelo.

É com o medidor de empuxo que podemos verificar as alterações no estreitamento. Podemos perceber na prática, qual o resultado quando "apertamos" o estrangulamento, ou quando aumentamos a área de secção, e ainda determinar qual o estreitamento que pode proporcionar o maior empuxo.

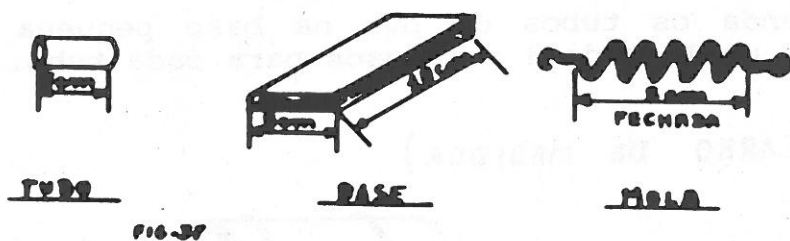
#### MATERIAL UTILIZADO

- base de madeira
- 2 suportes de madeira
- 2 cabos de vassoura



## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

- 3 partes de tubo de PVC de aproximadamente 2,2 cm de diâmetro interno, para encaixar no cabo de vassoura.
- base pequena de madeira.
- 1 mola um pouco dura ( diâmetro de 10 mm e 100 mm de comprimento ).



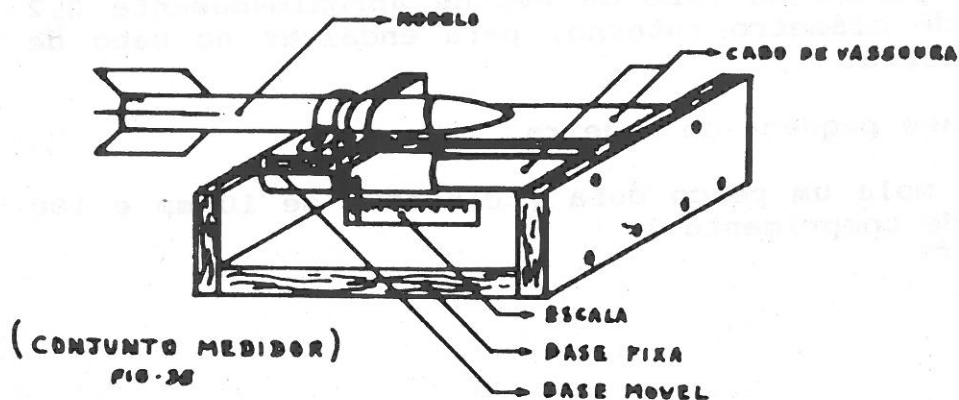
- parafusos.

### FERRAMENTAS

- furadeira elétrica .
- serra.
- chave de fenda.
- alicate.



**MONTAGEM**



1 - prenda os tubos de pvc na base pequena de madeira, utilizando 4 parafusos para cada tubo.

(CARRO DO MEDIDOR)

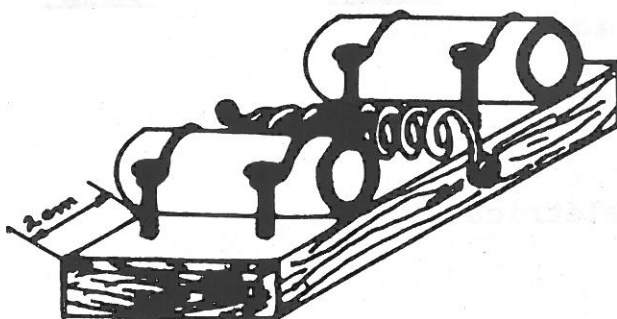


FIG-89

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

2 - prenda a mola no meio da base pequena, pela lateral com um parafuso.

3 - prenda os dois suportes laterais na base de madeira.

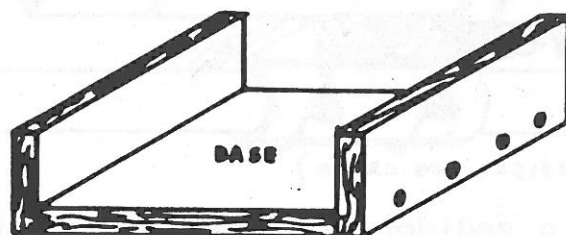


FIG. 40 (BASE)

4 - coloque os 2 cabos de vassoura cortados passando-os pelos tubos de PVC.

5 - coloque o terceiro tubo de PVC no primeiro cabo de vassoura.

6 - fixe o conjunto 4 no conjunto do item 3.

7 - fixe a mola na base, passando por baixo da base pequena.

8 - prenda no tubo solto de PVC um ponteiro, que poderá ser um arame de aço.

DAWSON IZOLA

9 - com a base apoiada marque o "zero" onde o ponteiro estiver indicando.

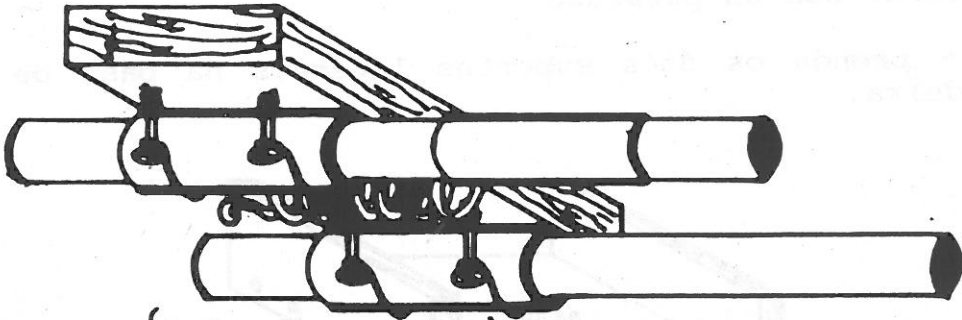


FIG-41 (DISPOSIÇÃO DO CARRO)

10 - coloque o medidor de empuxo na vertical, com o ponto fixo da mola apontando para cima.

11 - amarre um "peso" calibrado de 5 kgf na base móvel. Este "peso" poderá ser até mesmo uma lata de conserva cuja massa indicada seja de 5 kg.

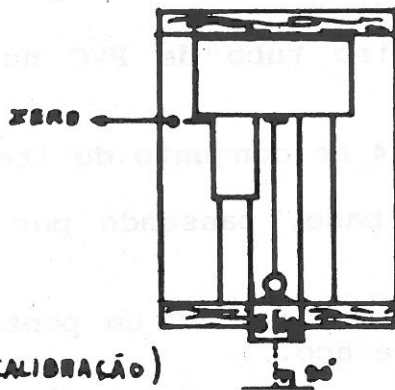


FIG-42 (CALIBRAÇÃO)

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

12 - segure o medidor no alto, observando que o "peso" de 5 kgf forme  $90^\circ$  com o solo.

Este procedimento fará com que a mola estique até uma certa distância, o ponto máximo indica 5 kgf, marque este ponto, onde o ponteiro estiver indicando.

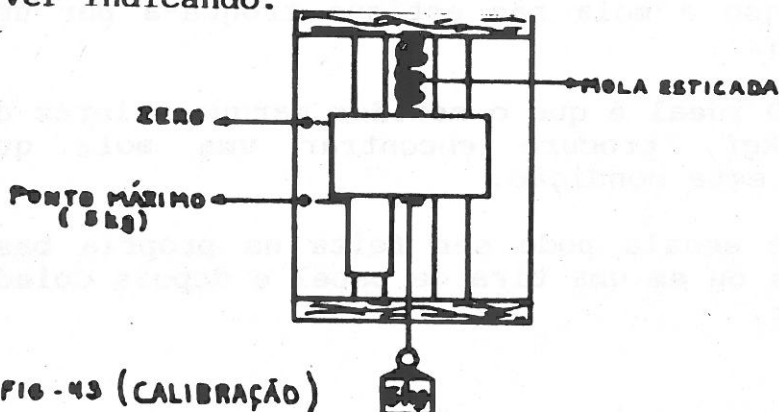


FIG-43 (CALIBRAÇÃO)

13 - de posse do ponto máximo e mínimo, resta apenas fazer as subdivisões.

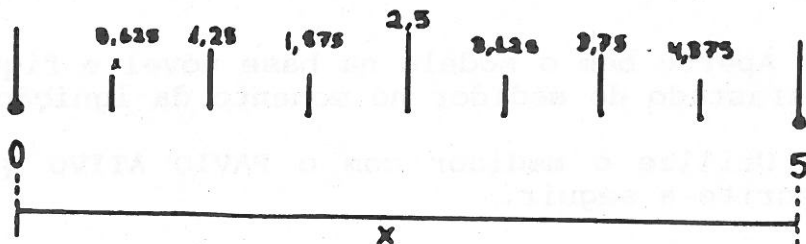


FIG-44 (ESCALA)

## DAWSON IZOLA

X DIVIDIDO POR 2 TEMOS 2,5 kgf  
X DIVIDIDO POR 4 TEMOS 1,25 kgf  
X DIVIDIDO POR 8 TEMOS 0,625 kgf

Com isto temos a escala, quanto mais divisões forem feitas mais precisa ficará a escala. Caso a mola não estique troque-a por uma mais fraca.

O ideal é que o medidor marque valores de 0 a 5 kgf, procure encontrar uma mola que satisfaça esta condição.

A escala pode ser feita na própria base de madeira ou em uma tira de papel e depois colada no medidor.

14 - faça 4 furos na base móvel, para fixar o mini-foguete.

Aperte bem o modelo na base móvel e fique sempre afastado do medidor no momento da ignição.

Utilize o medidor com o PAVIO ATIVO que será descrito a seguir.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

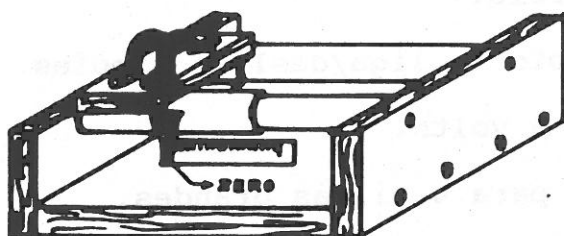


FIG-46 (INDICAÇÃO DO PONTO ZERO)

### PAVIO ATIVO

O pavio ativo é um item de segurança no manuseio de mini-foguetes, com este dispositivo você poderá fazer seus lançamentos a uma distância segura do modelo.

### MATERIAL

- 2 conexões macho/fêmea.
- 20 metros de fio duplo fino.
- 1 led vermelho.

## DAWSON IZOLA

- 1 led verde.
- 1 led amarelo.
- 2 interruptores liga/desliga simples.
- 1 relê de 6 volts.
- 1 suporte para 4 pilhas grandes.
- 1 suporte para 4 pilhas pequenas.
- 3 resistores de 100 ohms.
- 1 botão tipo campainha.
- 1 metro de fio de nicromo.
- caixa de madeira.

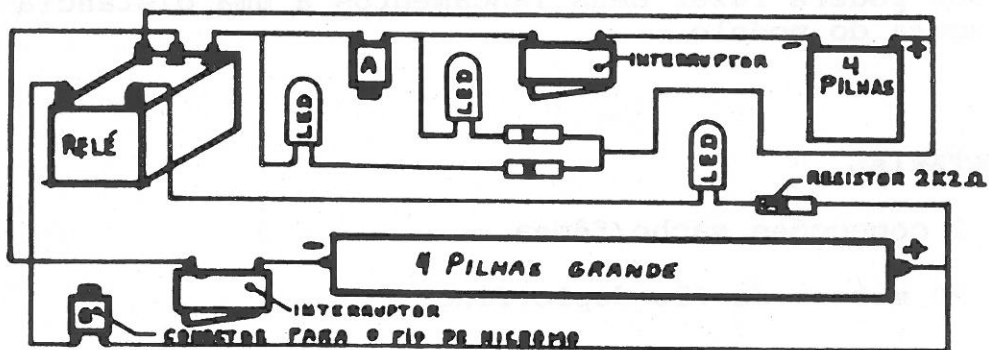


FIG-46 ( CIRCUITO DO PAVIO ATIVO )

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

### FUNCIONAMENTO

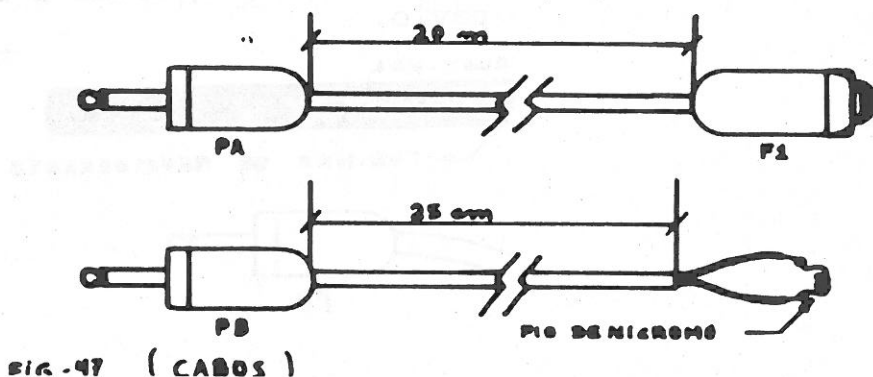
- quando se liga os dois interruptores, os leds amarelo e verde acendem.

- com o toque no botão, o relê se arma, o led verde apaga e o led vermelho acende, mandando tensão para o fio de nicromo que fica incandescente, acionando assim o pavio.

Use pilhas alcalinas para um melhor desempenho.

### PROCEDIMENTO PARA USO

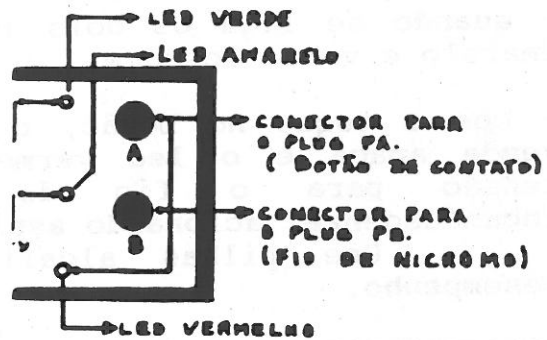
- enrole 10 cm de fio de nicromo em torno de um palito de dente. O fio de nicromo pode ser obtido quebrando-se um resistor de 680 ohms x 10 watts, o fio em torno do resistor é de nicromo.





## V IZOLA

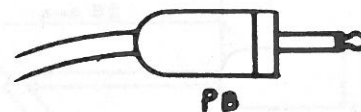
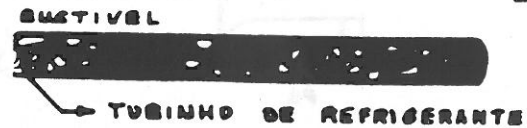
erole.



DE CONTROLE )

rito como se confecciona o

enrole o fio de nicromo e o  
pavio.



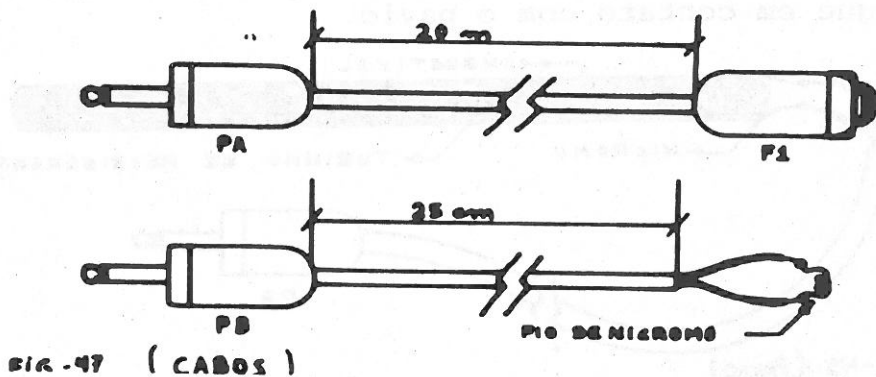
## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

### FUNCIONAMENTO

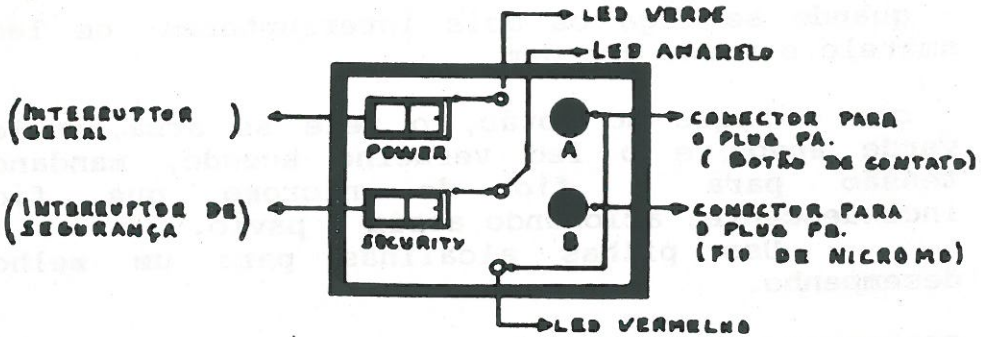
- quando se liga os dois interruptores, os leds amarelo e verde acendem.
  - com o toque no botão, o relê se arma, o led verde apaga e o led vermelho acende, mandando tensão para o fio de nicromo que fica incandescente, acionando assim o pavio.
- Use pilhas alcalinas para um melhor desempenho.

### PROCEDIMENTO PARA USO

- enrole 10 cm de fio de nicromo em torno de um palito de dente. O fio de nicromo pode ser obtido quebrando-se um resistor de 680 ohms x 10 watts, o fio em torno do resistor é de nicromo.



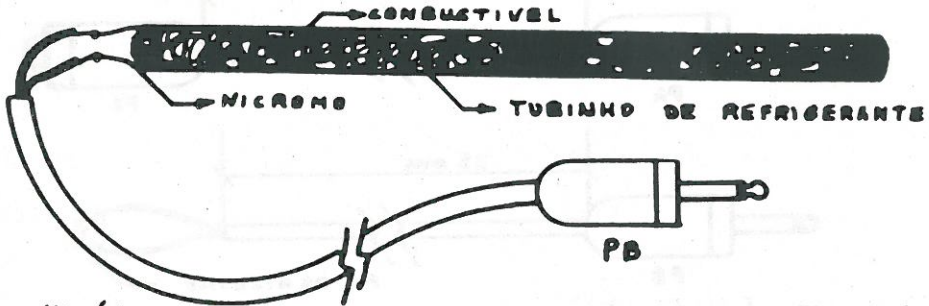
- faça um painel de controle.



**FIG -48 ( PAINEL DE CONTROLE )**

\* mais adiante será descrito como se confecciona o pavio "brazinha".

- para acionar o pavio enrole o fio de nicromo e o coloque em contato com o pavio.



**FIG-49 (PAVIO)**

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

- estique os 20 metros de fio com o botão campainha. Certifique que pessoas desavisadas não estejam próxima ao foguete, faça a contagem regressiva e acione o botão, em aproximadamente 10 segundos o pavio se inflama. Caso aconteça alguma falha na ignição, espere 10 minutos antes de se aproximar do modelo para averiguações.

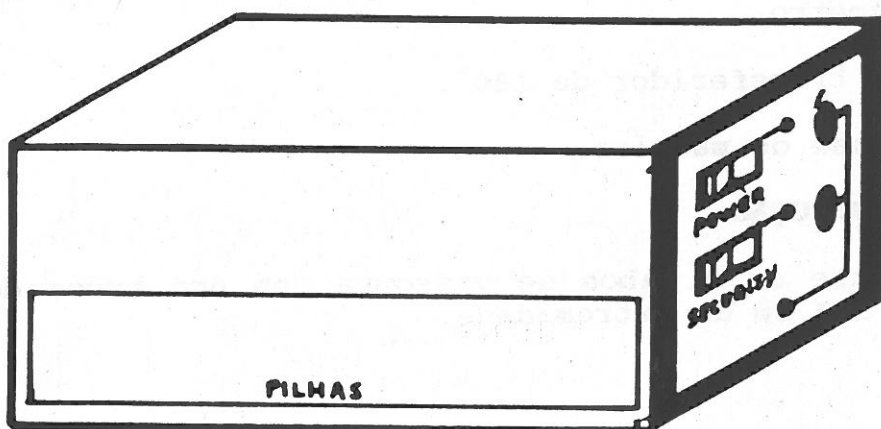


FIG-50 (PAVIO ATIVO)  
TEODOLITO

O objetivo do teodolito é comparar teórico-experimentalmente o alcance do modelo (apogeu).

## DAWSON IZOLA

### MATERIAL

- 3 cabos de vassoura com 1,5 metros de comprimento.
- 4 parafusos de 5 mm de diâmetro e 60 mm de comprimento, com porca.
- 1 tubo de PVC com 25 cm de comprimento e 3 cm de diâmetro.
- 1 transferidor de 180°.
- base de madeira.

### CONSTRUÇÃO

- fure os 3 cabos de vassoura com uma broca de 5 mm a 3 cm da extremidade.

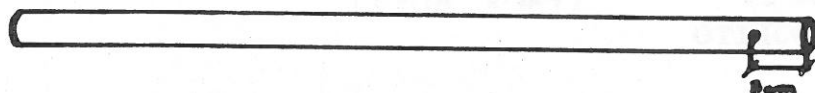


FIG-81 (CABO DE VASSOURA)

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

- corte uma madeira com as seguintes proporções:

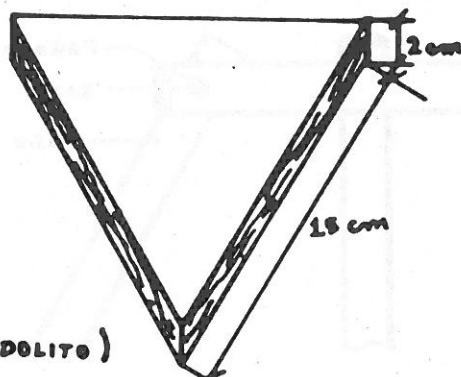


FIG-52 (BASE DO TEODOLITO)

- faça 3 entalhos na base.
- fure com broca de 5 mm.

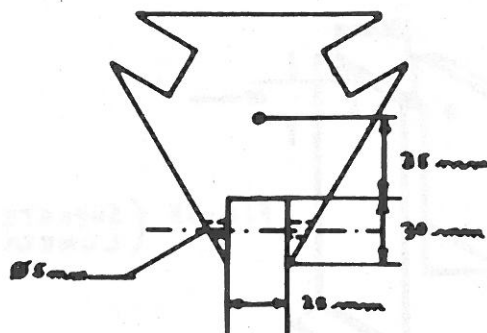


FIG-53 (ENCAIXE DOS CABOS DE VASSOURA)

- conecte os 3 cabos de vassoura com parafusos e porcas, não aperte muito para que os cabos tenham mobilidade.

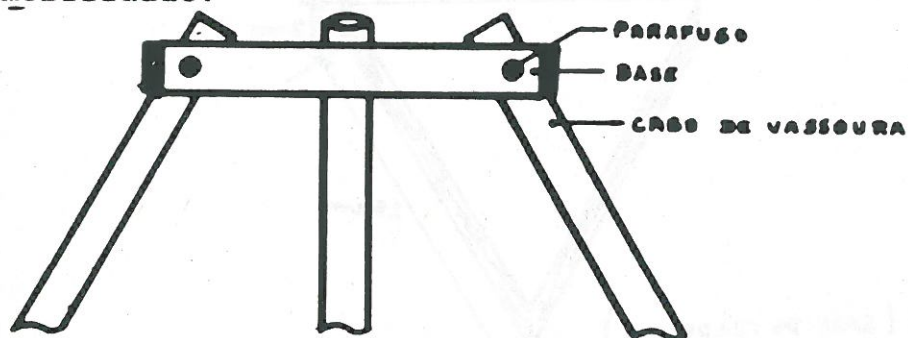


FIG-54 (DISPOSIÇÃO DA BASE)

- faça um entalho em um sarrafo com as seguintes proporções:

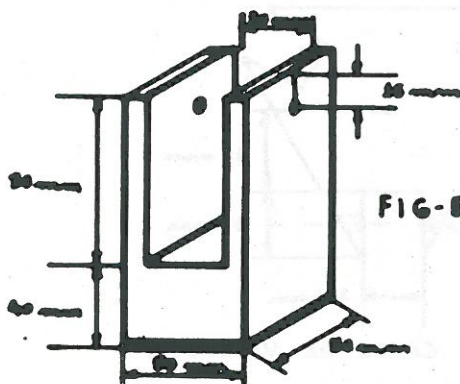


FIG-55 (SUPORTE DA LUNETA)



## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

- fure o sarrafo como indicado na figura.
- fure o tubo de PVC no meio.

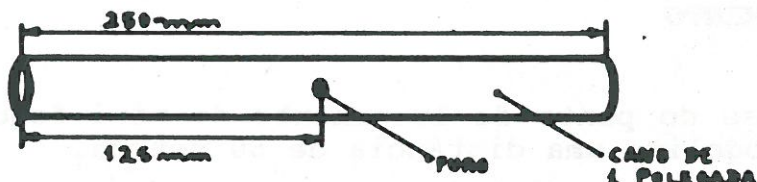
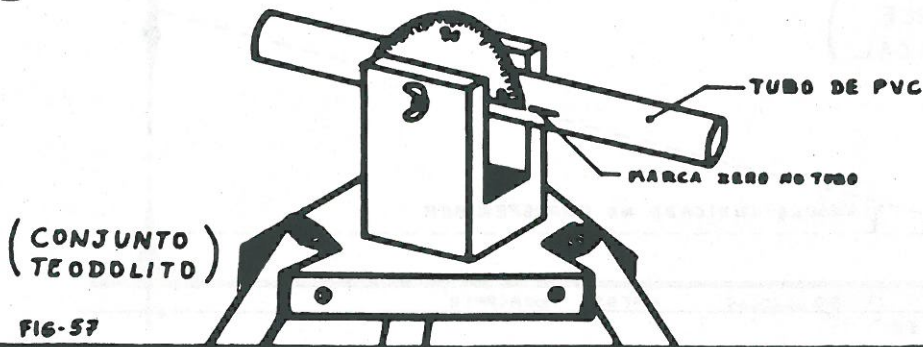


FIG-56 (LUNETTA)

- prenda o tubo no sarrafo com parafuso.
- cole o transferidor no sarrafo e marque o ângulo "zero" no tubo.





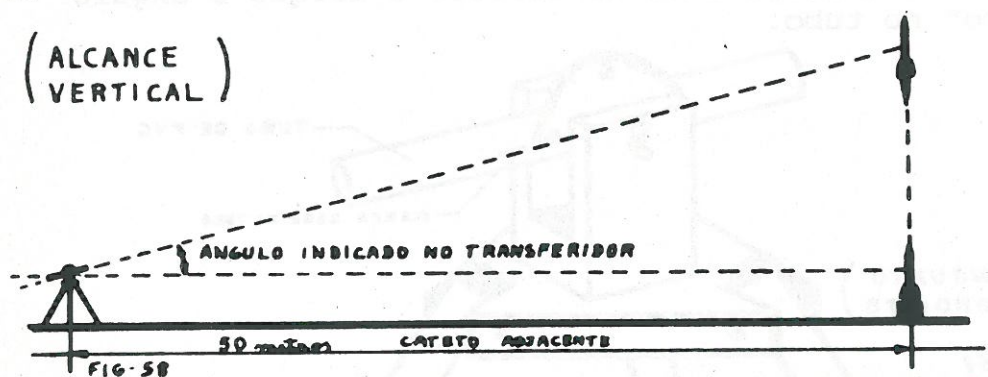
## DAWSON IZOLA

OBS. Para se marcar o ângulo "zero" no tubo, é necessário que o tubo esteja paralelo à base.

- prenda o conjunto do sarrafo no centro da base.

### FUNCIONAMENTO

- marca-se do ponto de lançamento do mini-foguete até o teodolito uma distância de 50 metros.
- no momento do lançamento um operador acompanha o voo do modelo com o tubo, inclinando-o para cima.
- no ponto mais alto da trajetória marca-se o ângulo indicado.



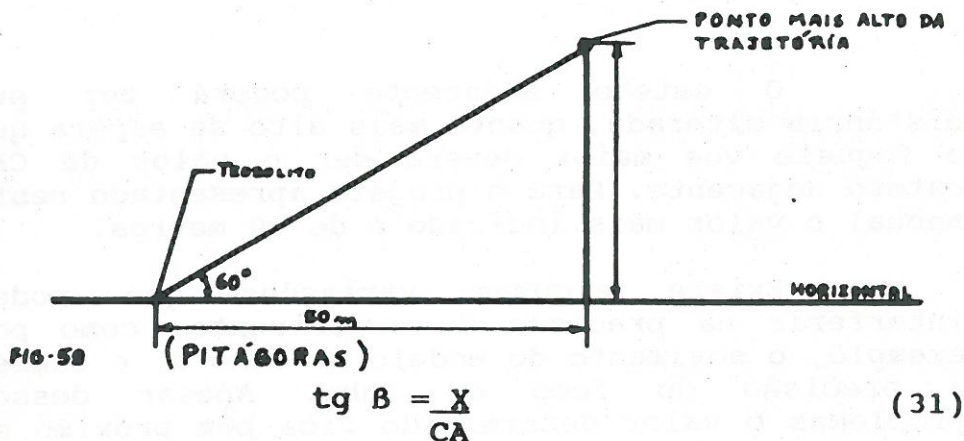
## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

Por Pitágoras determina-se a altura.

### EXEMPLO:

#### DADOS:

- cateto adjacente = 50 metros
- ângulo indicado no transferidor =  $60^\circ$



#### ONDE:

- $\text{tg } B$  = é o ângulo indicado no transferidor.
- CA = cateto adjacente.
- X = altura procurada.

ASSIM TEREMOS:

$$X = \operatorname{tg} \beta \times 50$$

$$X = \operatorname{tg} 60^{\circ} \times 50$$

$$X = 1,321 \times 50$$

$$X = 86,6 \text{ metros}$$

O cateto adjacente poderá ter sua distância alterada, quanto mais alto se espera que o foguete voe maior deverá ser o valor de CA-cateto adjacente. Para o projeto apresentado neste manual o valor mais indicado é de 50 metros.

Existe algumas variações que podem interferir na precisão do experimento, como por exemplo, o movimento do modelo no eixo X, e também a precisão do foco do tubo. Apesar desses problemas o valor determinado fica bem próximo do teórico, como podemos comprovar com a equação (3).

$$D = \frac{|\text{apogeu}_{\text{teórico}} - \text{apogeu}_{\text{experimental}}|}{\text{apogeu}_{\text{teórico}}} \times 100 = \%$$

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

ONDE:

- apogeu<sup>teórico</sup> é determinado no capítulo 7.
- apogeu<sup>experimental</sup> é o determinado com o teodolito.

OBS. O resultado é dado em desvio percentual. O desvio normal está abaixo de 10%.

### PREVISÃO DO TEMPO

A previsão do tempo é um estudo muito complexo, que envolve dezenas de fatores. Atualmente a Meteorologia - Ciência que estuda as condições do tempo, conta com diversos equipamentos, que envolvem a mais alta tecnologia. Mesmo assim, contando até com satélites artificiais, a Meteorologia ainda erra seus prognósticos. Portanto este pequeno equipamento que iremos apresentar, é apenas um dentre os muitos de que se utiliza a Meteorologia para prever o tempo. Por esta razão a porcentagem de acerto, no nosso caso é bem baixa, em torno de 30%.

O G.E.P. LENDA vem desenvolvendo atualmente um complexo sistema para análise meteorológica, que envolve inclusive micro-sondas, lançadas por foguetes e balões estratosféricos.

Aproveitando a pesquisa que estamos realizando, vamos apresentar aqui um higrômetro, que é um aparelho que mede a umidade relativa do ar. Através de uma tabela também aqui apresentada, o usuário será capaz de "supor" a condição do tempo com antecedência de algumas horas.

## HIGRÔMETRO

### MATERIAL

- 2 termômetros iguais.
- 1 cadarço de sapato.
- 1 recipiente para água.
- caixa de madeira.

### PROCEDIMENTO

- 1 - faça uma caixa de madeira.
- 2 - corte 10 cm de um cadarço.

# MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

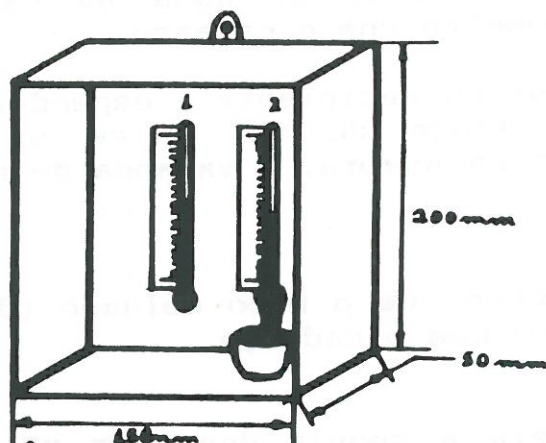


FIG-60 (HIGRÔMETRO)

3 - envolva o bulbo de um dos termômetros com a extremidade do cadarço e amarre.

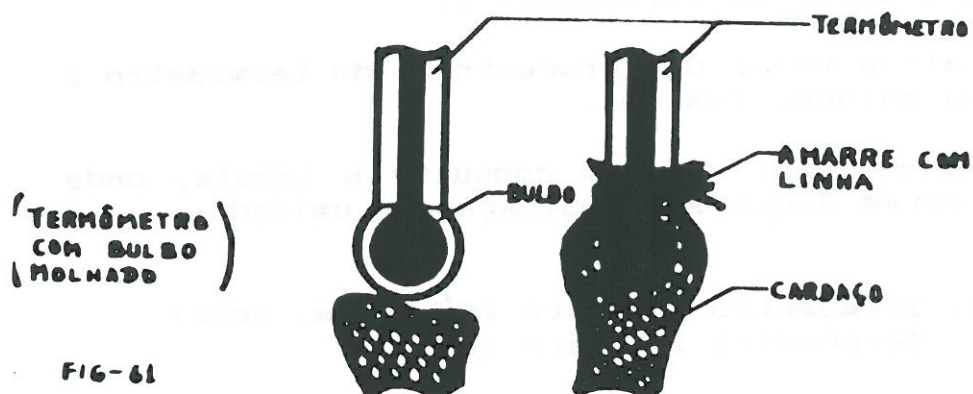


FIG-61

4 - Prenda os dois termômetros na caixa.



5 - cole o recipiente de água na caixa, logo abaixo do termômetro com o cadarço.

6 - coloque água no recipiente e dependure a caixa ao ar livre, longe do sol, em um ambiente arejado, sempre na sombra. A varanda de uma casa é um bom local.

OBS. O termômetro com o budo molhado (úmido) é o termômetro com o cadarço.

A tabela a seguir deve ser utilizada da seguinte maneira.

- pegue o valor do termômetro 1.
- subtraia o valor do termômetro 1 do termômetro 2 de bulbo molhado (úmido).
- com estes dois valores consulte a tabela, onde cruzar estes dados é a indicação da umidade.

Exemplo: Termômetro 1 indica 26° (term. seco)  
Termômetro 2 indica 20°

$$\text{Termômetro1} - \text{termômetro2} = 6^\circ$$

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

No caso do exemplo 6° corresponde à 57% de umidade, esta é a umidade relativa. Assim, por exemplo, o ar a 20° se saturado contém aproximadamente 18 g de vapor de água para cada metro cúbico de ar, e a sua umidade relativa é de 100%. Se o conteúdo de vapor for a metade, 9 g de vapor de água por metro cúbico, a umidade relativa é de 50%. Quando a umidade relativa é baixa classifica-se o ar como seco. Quanto mais alta for a umidade relativa mais o ar fica saturado e maior a probabilidade de chuva. O ar suporta uma certa quantidade de vapor de água por metro cúbico, quando esta quantidade atinge o limite de saturação acontece a chuva.

Como foi mencionado anteriormente, a umidade é apenas um dentre os muitos fatores que envolvem e modificam o tempo.

Utilizando somente o higrômetro teremos:

### PROBABILIDADE

- previsão para 6 horas = 30%
- previsão para 12 horas = 15%
- previsão para 24 horas = 5%



DAWSON IZOLA

TABELA

TERM SECO	DIFERENÇA EM GRAUS ENTRE O TERM. 1 E 2													
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9
2	92	83	75	67	59	52	43	36	27	20	-	-	-	-
4	93	85	77	70	63	56	48	41	34	28	15	-	-	-
6	94	87	80	73	66	60	54	47	41	35	23	11	-	-
8	94	87	81	74	68	62	56	50	45	39	28	17	-	-
10	94	88	82	76	71	65	60	54	49	44	34	23	14	-
12	94	89	84	78	73	68	63	58	53	48	38	30	21	12
14	95	90	84	79	74	69	65	60	55	51	41	33	24	16
16	95	90	85	81	76	71	67	62	58	54	45	37	29	21
18	95	90	86	82	78	73	69	65	61	57	49	42	35	27
20	96	91	87	82	78	74	70	66	62	58	51	44	36	30
22	96	92	87	83	79	75	72	68	64	60	53	46	40	34
24	96	92	88	85	81	77	74	70	66	63	56	49	43	37
26	96	92	89	85	81	77	74	71	67	64	57	51	45	39
28	96	92	89	85	82	78	75	72	68	65	59	53	47	42
30	96	93	89	86	82	79	76	73	70	67	61	55	50	44
32	96	93	90	86	83	80	77	74	71	68	62	56	51	48
34	97	93	90	87	84	81	77	74	71	69	63	58	53	48
36	97	93	90	87	84	81	78	75	72	70	64	59	54	50
38	97	94	90	87	84	81	79	76	73	70	65	60	56	51
40	97	94	91	88	85	82	79	76	74	71	66	61	57	52

CASO NÃO SEJA ENCONTRADA A TEMPERATURA, UTILIZE A QUE ESTIVER MAIS PRÓXIMA.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

TEREMOS 3 CONDIÇÕES:

- 1 - tempo bom (sol, nublado)
- 2 - tempo instável (sujeito a chuva)
- 3 - chuva (fina, garoa e forte)

Analisaremos a situação de acordo com os valores encontrados na tabela.

ASSIM SE:

- a unidade for menor ou igual a 60% o TEMPO SERÁ **BOM**.
- a unidade estiver entre 61% e 70% o tempo estará **INSTÁVEL**, ou seja sujeito a variações bruscas.
- a unidade for maior que 71% indicará **CHUVA**.

Normalmente a previsão para 6 horas tem grandes possibilidades de acerto, assim o usuário poderá saber se deve ou não fazer lançamentos de mini-foguetes ou aeromodelos nas próximas 6 horas.

DAWSON IZOLA

---

**SEGURANÇA NO MANUSEIO DE MINI-FOGUETES**

---

Antes de aprender a construção de um modelo experimental, é necessário que se entenda as normas fundamentais de segurança, porque apesar de ser um divertimento, o espaçomodelismo não é um robby qualquer. Devido ao uso de combustíveis altamente inflamáveis, que sendo mal administrados podem causar acidentes GRAVES, a atenção deve ser redobrada. Siga atentamente estes conselhos aqui expressos, e lembre-se sempre **"O ÚNICO RESPONSÁVEL PELA SUA INTEGRIDADE FÍSICA E DE SEUS COMPANHEIROS É VOCÊ MESMO"**, LEMBRE-SE SEMPRE DISSO.

**DEVERÃO OBSERVAR SEMPRE:**

I - RESERVE SEMPRE UM LOCAL PARA VOCÊ FABRICAR OS SEUS MODELOS, UM LOCAL QUE SEJA PRIVADO A VOCÊ. ISTO EVITARÁ QUE PESSOAS MENOS AVISADAS SE MACHUQUEM.

**II - OS MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DOS MODELOS, NUNCA DEVEM SER ALTERADOS. OS TESTES DESTES MATERIAIS FORAM APERFEIÇOADOS AO LONGO DE 5 ANOS, PARA QUE PREVALEÇA SEMPRE A SEGURANÇA EM PRIMEIRO PLANO.**

**III - PARA A MANIPULAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS DEVE-SE SEMPRE TRABALHAR EM LOCAL AREJADO E LONGE DE PRODUTOS INFLAMÁVEIS.**

**IV - LEMBRE-SE SEMPRE, O COMBUSTÍVEL DE UM MINI-FOGUETE MAL EMPREGADO PODE:**

- INCENDIAR UM CARRO;**
- INCENDIAR UMA CASA OU PRÉDIO;**
- DESTRUIR UMA MATA OU FLORESTA;**
- FERIR GRAVEMENTE UMA PESSOA.**

**V - NO MANUSEIO DE COMBUSTÍVEIS, DEVE-SE SEMPRE OBSERVAR AS INDICAÇÕES DESTES MANUAIS E AS SEGUIR NOS MÍNIMOS DETALHES. NUNCA FAÇA MUDANÇAS A SEU CRITÉRIO, POIS ERROS PODEM OCORRER E AS VEZES ISTO SIGNIFICA PERIGO À SUA INTEGRIDADE FÍSICA.**

**VI - O LANÇAMENTO DEVE SER FEITO EM UMA ÁREA DE NO MÍNIMO 1000 METROS QUADRADOS, LIVRES DE QUALQUER CONSTRUÇÃO, CASAS, PRÉDIOS, ETC. É IMPORTANTE OBSERVAR UMA ÁREA LIVRE PORQUE SE ALGUM PROBLEMA ACONTECER NO PROJETO, NINGUÉM SERÁ PREJUDICADO.**

## **MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES**

**VII - NO LANÇAMENTO O ESPAÇOMODELISTA, OU SEJA O LANÇADOR DO APARATO DEVE PERMANECER A MAIS DE 30 METROS DO MINI-FOGUETE, NO MOMENTO DA COMBUSTÃO INICIAL.**

**VIII - O LANÇAMENTO NUNCA DEVE SER FEITO PRÓXIMO A CONSTRUÇÕES, CARROS, AEROPORTOS, ESCOLAS, ETC.**

**IX - NUNCA USE OS MODELOS CONSTRUÍDOS POR VOCÊ PARA OUTROS FINS, SENÃO O DA EXPERIÊNCIA CIENTÍFICA E SEU ENTRETENIMENTO.**

**X - PODE LHE PARECER DESAGRADÁVEL LER ESTE MANUAL TODO ANTES DE CONSTRUIR SEU PRIMEIRO MODELO, MAS ISTO É DE FUNDAMENTAL IMPORTÂNCIA AO SEU APERFEIÇOAMENTO TÉCNICO, E LHE DESPERTARÁ UM GRANDE INTERESSE CIENTÍFICO**

DAWSON IZOLA

---

COMBUSTÍVEIS

---

A preparação do combustível é a parte mais delicada na construção de um foguete. Do combustível depende todo o sucesso ou fracasso do projeto.

Da configuração do combustível é que se determina a pressão interna que o tubo tem que suportar.

$$F = P_e \times A \quad (32)$$

ONDE:

- F = força
- $P_e$  = pressão
- A = área de saída (estreitamento)

Como temos a força resultante (força de empuxo) e temos a área do estreitamento, podemos determinar a pressão interna no tubo.



## DAWSON IZOLA

### DADOS:

- $F = 4,82 \text{ N}$
- $A = 0,00012 \text{ m}^2$
- $Pe = ?$

$$Pe = \frac{F}{A}$$

$$Pe = \frac{4,82 \text{ N}}{0,00012 \text{ m}^2}$$

$$Pe = 40166,67 \text{ N/m}^2$$

ou

$$Pe = 0,04017 \text{ N/mm}^2$$

Dizemos que um combustível está mais forte, quando diminuimos a razão de mistura, no nosso caso utilizamos a razão 3X1. Ou seja para cada 3 partes de pólvora (75%) adicionamos 1 parte de parafina (25%).

### EXEMPLO:

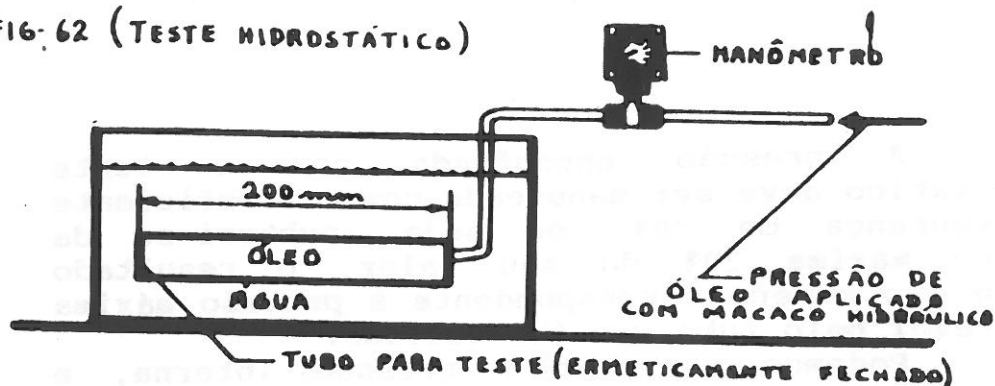
- 80 g de combustível
- 75% de pólvora negra = 60 g
- 25% de parafina = 20 g

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

Se por exemplo passamos a razão de mistura para 4X1, ou seja 4 partes de pólvora (80%) e uma parte de parafina (20%), estamos aumentando a pressão interna. Quando diminuimos a razão estamos conseqüentemente diminuindo a pressão interna.

Para se determinar a pressão limite que um tubo pode suportar, utiliza-se o teste hidrostático.

FIG. 62 (TESTE HIDROSTÁTICO)



### PROCEDIMENTO

- 1 - fecha-se as duas extremidades do tubo a ser testado.
- 2 - mergulha-se o tubo em um recipiente com água, (este procedimento evita a explosão do tubo).

3 - conecta-se o tubo em teste a um macaco hidráulico, provido de um manômetro (medidor de pressão).

4 - Bombear o óleo através da alavanca do macaco (vagarosamente).

5 - quando o tubo rachar anota-se a pressão imediata, indicada no manômetro no momento do rompimento do tubo.

A pressão encontrada com o teste hidrostático deve ser manuseada com um coeficiente de segurança de 20%, ou seja, subtrai-se da pressão máxima 20% do seu valor, o resultado obtido é o número correspondente à pressão máxima suportável pelo tubo que foi testado.

Podemos aumentar a pressão interna, e conseqüentemente o alcance do foguete, um dos recursos utilizados, além de aumentar a razão de mistura é de diminuir a área de secção do estreitamento. É importante salientar que quando a pressão interna é aumentada o risco de explosão aumenta muito, neste caso os cuidados deverão ser redobrados.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

O teste hidrostático é complicado para ser feito e pode ser até perigoso, devido a pressão imprimida no tubo, neste manual mostraremos um material que já foi submetido ao teste hidrostático, e aconselhamos que se utilize esse material com a mesma configuração do combustível e a respectiva área de estricção (estreitamento), esse cuidado evitará transtornos e principalmente acidentes.

O tubo que utilizamos será descrito mais adiante, no capítulo MATERIAIS, neste momento nos interessa a pressão máxima admissível.

### CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL

- MATERIAL : FENOLITE
- RESISTÊNCIA : A ÁREA MÍNIMA PARA COMBUSTÍVEIS COM RAZÃO 3X1 DEVE SER DE 28,27 mm<sup>2</sup>.

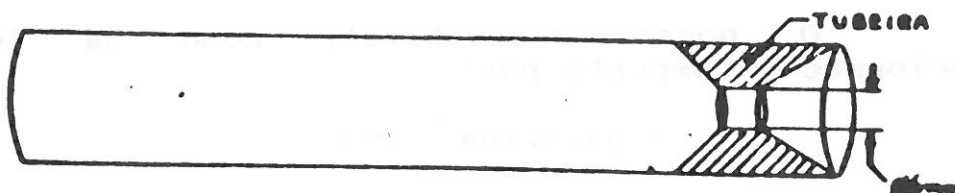


FIG-63 (TUBEIRA)

Para melhor estabilidade e visualização do modelo durante o voo, utilizamos como padrão para o material FENOLITE, combustível com razão de mistura 3X1 e diâmetro do estreitamento de 12,5 mm, como é demonstrado no capítulo 9.

Para se determinar o valor da pressão quando se altera a razão de mistura do combustível e área de estricção (estreitamento), deve-se novamente utilizar o medidor de empuxo, a força indicada dividida pela área é a pressão em  $N/mm^2$  (newtons para cada milímetro quadrado), isto se a área for utilizada em milímetros quadrados. Mais uma vez aconselhamos utilizarem a razão 3X1 e o diâmetro de 12,5 mm, estes valores foram exaustivamente testados e nunca se verificou problema algum.

## PREPARAÇÃO DO COMBUSTÍVEL

O nosso combustível, como já foi mencionado é composto por:

- parafina = 25%
  - enxofre
  - salitre
  - carvão
- | => 75%

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

Apesar destes produtos serem encontrados facilmente no mercado, são de difícil manipulação, por esta razão utilizaremos a pólvora negra (utilizada para caça), e a parafina (cera de vela).

### ATENÇÃO

- RESERVE UM LOCAL AREJADO PARA PREPARAR O COMBUSTÍVEL.
- CERTIFIQUE-SE QUE NÃO TEM PERTO FOGO E NEM MATERIAIS INFLAMÁVEIS.
- PROCURE NÃO ESTOCAR COMBUSTÍVEL, FAÇA SOMENTE A QUANTIDADE NECESSÁRIA PARA O LANÇAMENTO.
- A PÓLVORA É EXTREMAMENTE INFLAMÁVEL. SIGA CORRETAMENTE O PROCEDIMENTO AQUI INDICADO, E MANTENHA OS PRODUTOS DO COMBUSTÍVEL LONGE DO FOGO E DE CRIANÇAS.

A finalidade da parafina é de tornar o combustível compacto quando for acondicionado no motor. Qualquer ponto onde o combustível apresentar "bolhas" pode significar aumento de pressão, pois a área de queima do combustível aumenta.

No nosso projeto trabalhamos com um coeficiente de segurança alto, mas em outros projetos, quando estamos próximos do limite de pressão, estas bolhas podem provocar explosões.

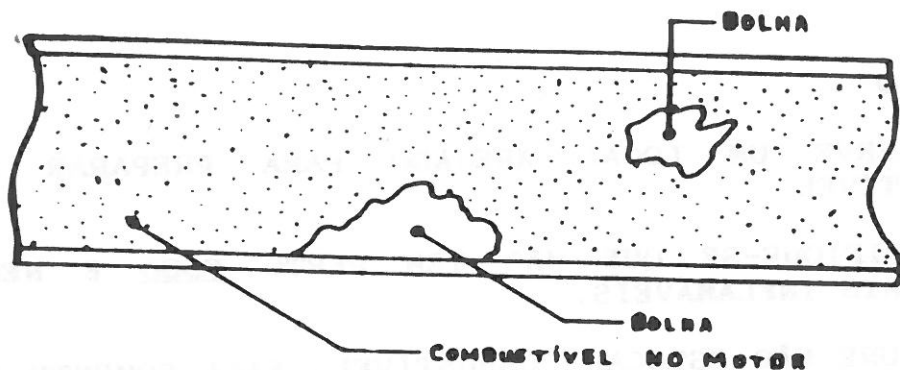


FIG-64 (COMBUSTÍVEL DEFEITUOSO)

#### PROCEDIMENTO

Vamos citar como exemplo a preparação de 200 gramas de combustível, que atenderá a necessidade de 2 lançamentos.

#### MATERIAL

- pólvora negra
- parafina

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

### QUANTIDADE

- pólvora = 150 g
- parafina = 50 g

Utilize uma balança precisa para medir a massa dos componentes, não faça a medida a "olho", isto poderá causar acidentes.

A parafina, normalmente é encontrada em tarugos, para ser adicionada à pólvora se faz necessário cortá-la em pequenos flocos, para isso utilizamos um ralador de queijo comum.

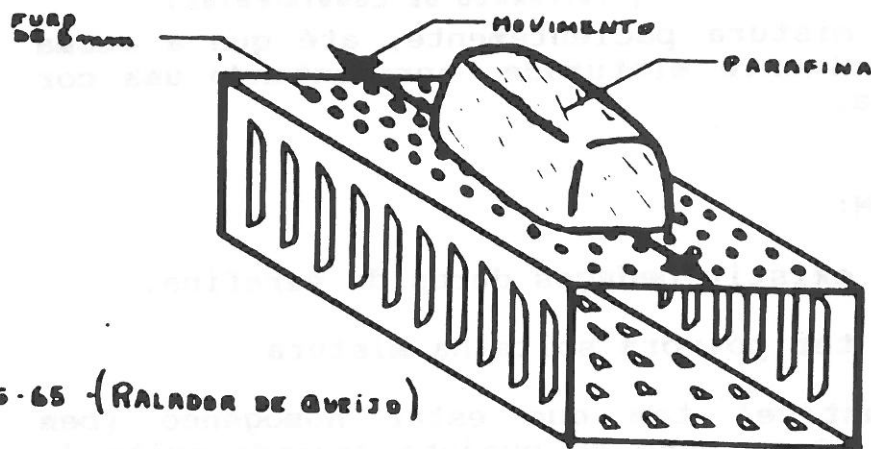
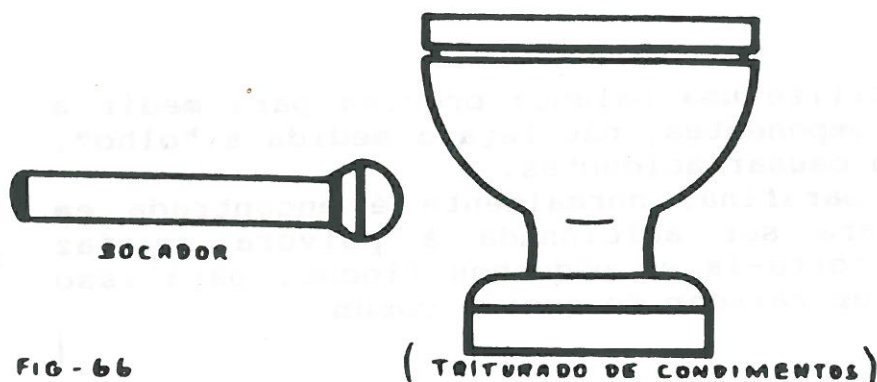


FIG-65 (RALADOR DE QUEIJO)

OBS. A parafina deve ser levada à balança após ter sido ralada.



- misture os 50 gramas de parafina junto com os 150 gramas de pólvora em um triturador de condimentos.



- socar a mistura pacientemente, até que a mesma esteja totalmente misturada, apresentando uma cor acinzentada.

**OBSERVE BEM:**

- não deve existir pedaços duros de parafina.
- não deve ter pólvora solta na mistura.
- o combustível tem que estar homogêneo (bem misturado). O sucesso do projeto depende muito do combustível.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

- não reutilize os materiais usados na confecção do combustível para outros fins, colher, ralador, triturador, etc.
- procure não guardar combustível pronto, se o fizer, guarde-o com muito cuidado, longe do fogo, materiais inflamáveis e principalmente crianças.

Apesar de apresentar riscos, o combustível quando manuseado com cuidado, é extremamente seguro. Esta segurança é diretamente proporcional à **RESPONSABILIDADE DO USUÁRIO.**



---

## MATERIAIS

---

Neste capítulo discutiremos apenas alguns aspectos da construção de um modelo de foguete, mais detalhes da construção de um mini-foguete estão no manual TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DE MINI-FOGUETES, publicado em 1989, que apesar de pouco conteúdo teórico, demonstra em detalhes a construção de um modelo.

Mesmo sendo sucinto o texto apresentado neste capítulo possibilitará a construção de um protótipo.

Após efetuarem os cálculos com relação ao combustível, o estrangulamento da tubeira, etc, devem ser dimensionados as ferramentas de construção.

Os materiais citados neste capítulo, serão descritos no capítulo 14, com endereços onde poderão ser encontrados.

## DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS

### FENOLITE

Tubo de resina fenólica, material termoeletrico com relativa resistência à temperatura, pressão e ao desgaste. Utilizado para o tubo-motor, tubo-guia e espoleta de retardo.

### RESINA DE POLIÉSTER

Polímero pastoso que solidifica com o uso de um catalisador, utilizado para a confecção da ogiva.

### MADEIRA Balsa

Madeira equatoriana de baixa densidade, utilizada para as aletas estabilizadores.

### EPÓXI

Resina EPÓXI, tem como características, alta resistência ao desgaste e à temperatura, utilizada para confecção da tubeira e da espoleta de retardo.

## **MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES**

### **AEROCOLA**

Cola para aeromodelismo de secagem rápida e pouco peso, utilizada para fixar as aletas e o tubo-guia.

### **FERRAMENTAS UTILIZADAS**

- serra de arco
- estilete
- jogo de formão
- esmeril
- furadeira.

### **CONSTRUÇÃO DE FERRAMENTAS**

#### **AFUNILADOR**

Esta ferramenta pode ser de madeira ou ferro, ambos devem ser torneados com as medidas indicadas, com variação máxima de 0,5 mm para não acarretar problemas no projeto.

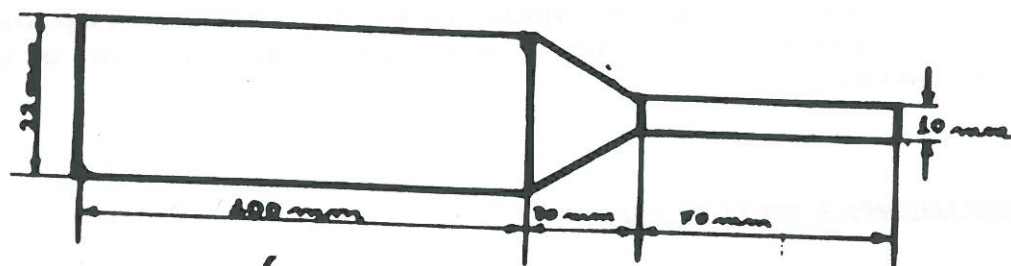


FIG-67 → (MOLDE PARA TUBOIRA)

MOLDE PARA A OGIVA

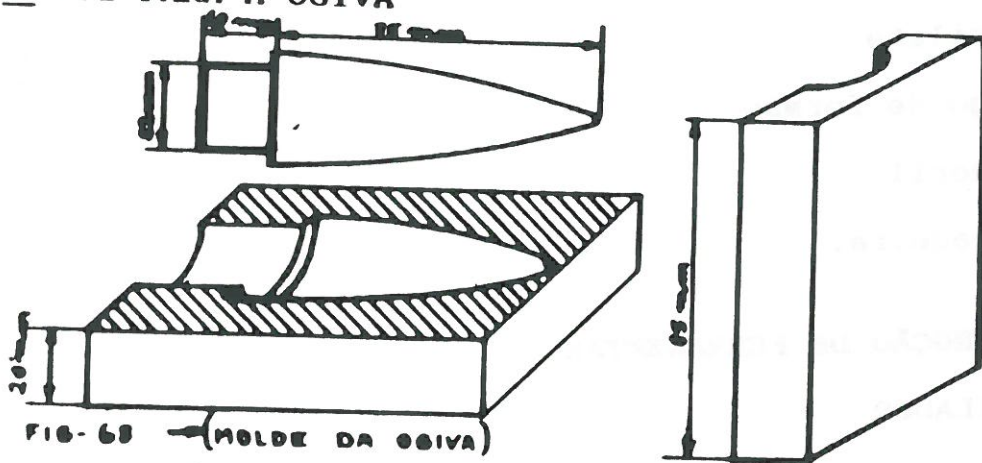


FIG-68 → (MOLDE DA OGIVA)

Fazer duas com muita paciência, utilizando um formão curvo muito bem afiado. Uma dica é fazer uma ogiva com EPÓXI (moldando), e depois ir marcando com um carbono na madeira.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

No local onde estiver a marca de carbono, retire o cavaco. Vale lembrar que tal ferramenta ou seja as duas partes do molde, demoram em média 3 dias para serem feitas, levando-se em consideração a pouca habilidade do ferramenteiro amador.

Estas ferramentas apresentadas correspondem à realidade do nosso projeto. Seguindo os itens de segurança elas podem ser alteradas.

### PROCEDIMENTO PARA CONSTRUÇÃO

#### TUBO-MOTOR

- Corte um tubo de fenolite com 300 mm de comprimento e 22 mm de diâmetro.

OBS. O TUBO DEVE SER DE PAREDE GROSSA, NO MÍNIMO 2mm, FOI COM UM TUBO NESSAS DIMENSÕES QUE FIZEMOS O TESTE HIDROSTÁTICO. É IMPORTANTE LEMBRAR QUE A PAREDE DO TUBO É ONDE SE ENCONTRA A ESPECIFICAÇÃO DE RESISTÊNCIA À PRESSÃO.



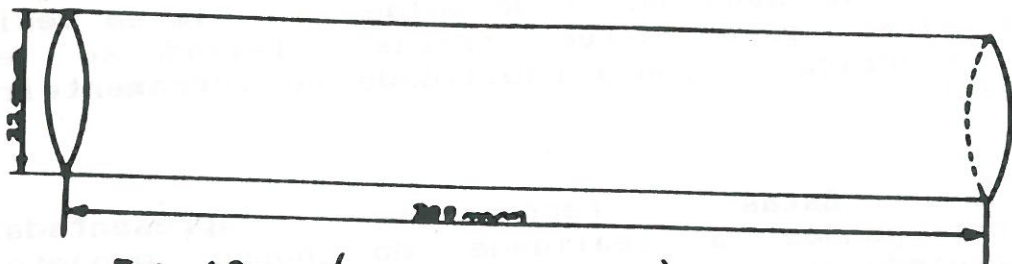


FIG- 69 → (TUBO DE FENOLITE)

**TUBO-GUIA**

- Corte 2 tubos de fenolite de 100 mm de comprimento e 3 mm de diâmetro.

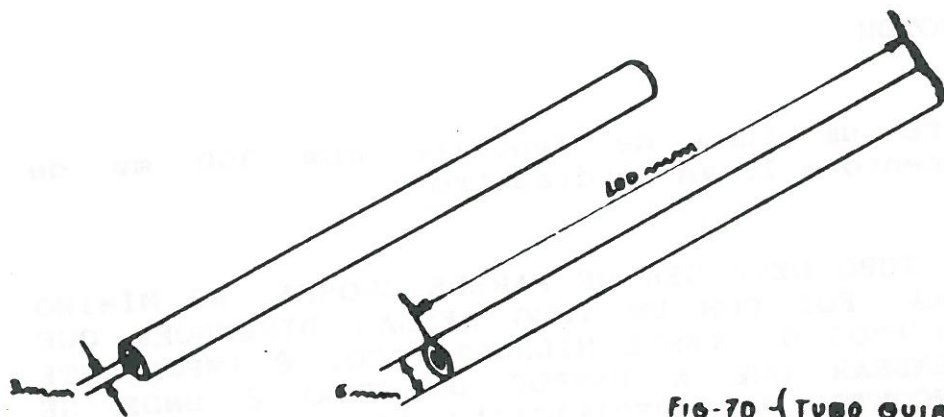
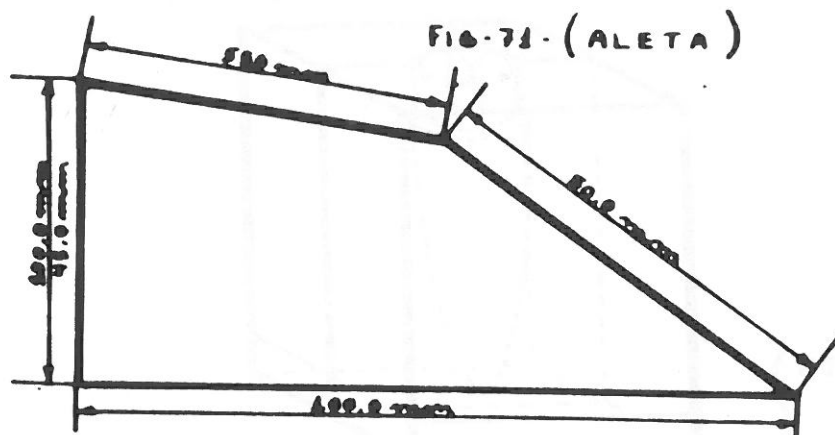


FIG-70 (TUBO GUIA)

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

### ALETAS

- Corte 4 aletas de madeira balsa conforme a figura abaixo.

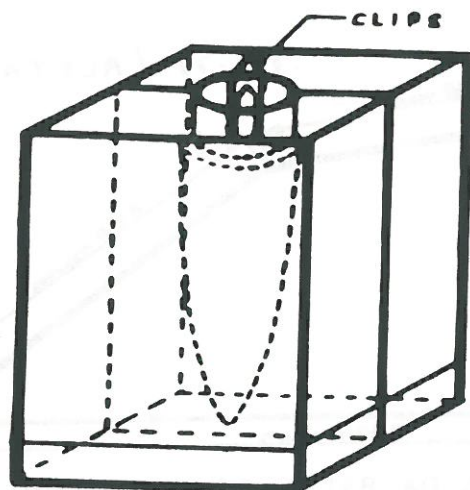


OBS. A ESPESSURA DA Balsa DEVE SER DE NO MÍNIMO DE 3 mm.

### OGIVA

- Passe cera na superfície interna do molde da ogiva.
- Feche o molde e misture 70 gramas de resina de poliéster com 20 gotas de catalisador.

- Coloque a resina dentro do molde.
- Quando a resina começar a endurecer, mergulhe um clipe na resina e segure até que o clipe não afunde mais.



(MOLDE DO)  
(BICO)  
FIG-72

O tempo de solidificação é de aproximadamente 20 minutos, podendo alterar devido a qualidade da resina.

- Após 25 minutos abra o molde e deixe a ogiva dependurada pelo clipe para secar.
- Lixe e retire as rebarbas.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

### TUBEIRA

- Molhe o interior do tubo.
- Introduza o molde "fêmea" no tubo como indica a figura.

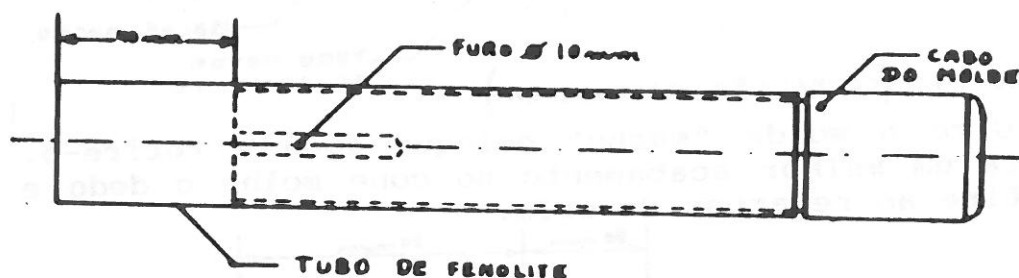


FIG - 73 (MOLDE MACHO)

- Coloque o molde macho e ponha pequenas quantidades de cola durepox.
- Ponha um pouco de água e aprofunde o molde "macho", mantendo o molde "fêmea" fixo.
- Coloque cola e gire o molde "macho" enquanto estiver apertando.
- Continue acrescentando cola epóxi até que o cone esteja pronto.

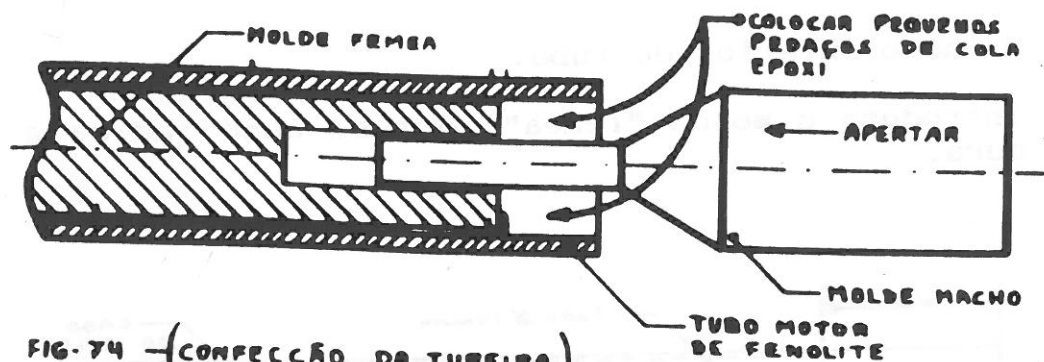


FIG-74 (CONFECCÃO DA TUBEIRA)

- Gire o molde "macho" coloque água e retire-o. Para um melhor acabamento no cone molhe o dedo e retire as rebarbas da cola.

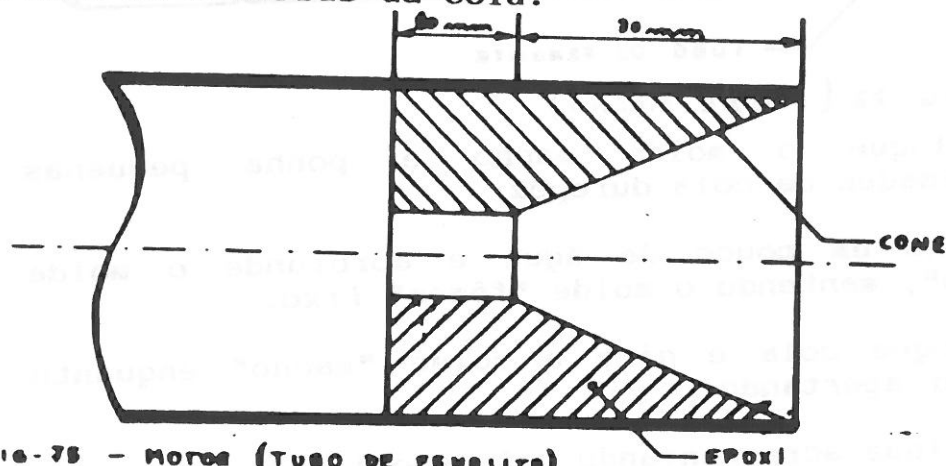


FIG-75 - MOTOR (TUBO DE FENOLITE)

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

O bom funcionamento do foguete depende da exatidão obtida na construção da tubeira.

- Limpe o molde para posteriores construções.

### ESTREITAMENTO SUPERIOR (ESPOLETA DE RETARDO)

- Corte um tubo de fenolite com 50 mm de comprimento e 22 mm de diâmetro.
- Molhe o tubo por dentro com água.
- Coloque o molde "fêmea" no tubo como indica a figura.

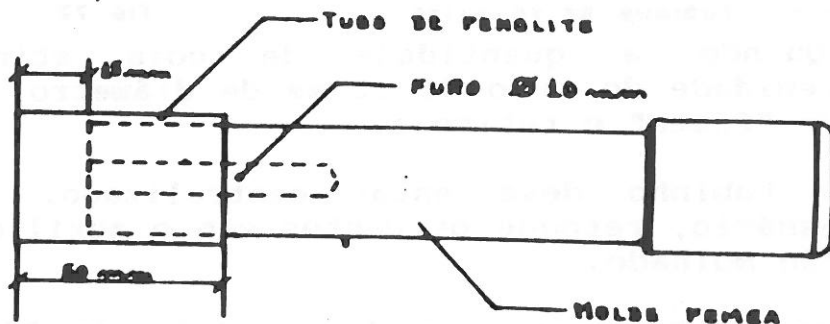


FIG- 76 - (ESTREITAMENTO SUPERIOR)

- Ponha o tubinho de fenolite com 100 mm de comprimento dentro do furo do molde "fêmea".
- Coloque cola epóxi em volta do tubinho.
- Tenha cuidado para não tampar o orifício do tubinho.

(CONFEÇÃO DO ESTREITAMENTO SUPERIOR)

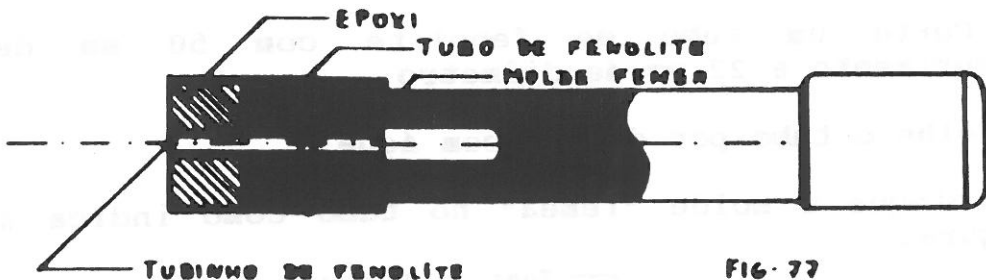


FIG. 77

- Quando a quantidade de cola atingir a extremidade do tubo de 22 mm de diâmetro, gire o molde "fêmea" e retire-o.
- O tubinho deve estar centralizado. Se for necessário, retoque os cantos com o auxílio de um bastão molhado.
- Espere 2 horas e quebre o tubo de 22 mm de diâmetro. Cuidado para não quebrar o tubinho. Esta peça será mencionada mais adiante como estreitamento superior.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

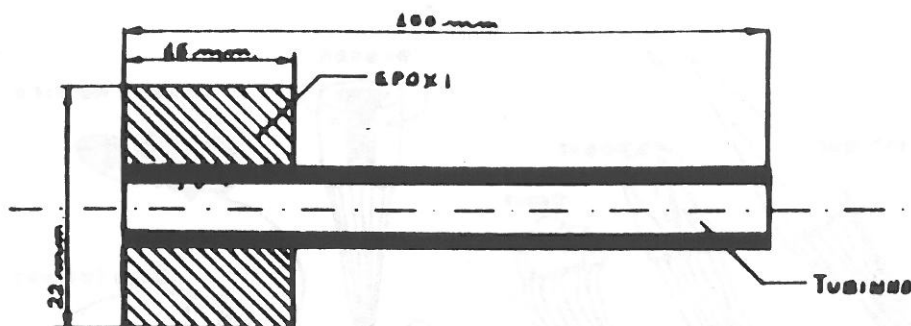


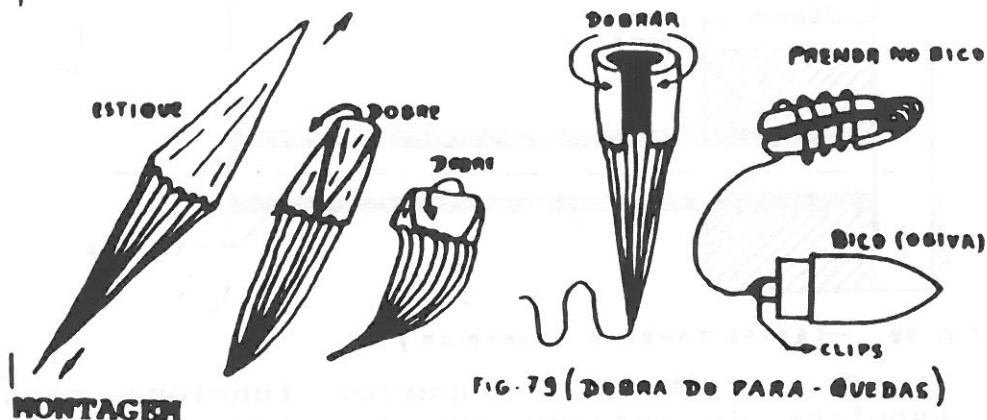
FIG. 78 — (ESTREITAMENTO SUPERIOR)

O estreitamento superior funciona como uma espoleta de retardo que se inflama com o término do combustível e "aguarda" o período de ascensão do modelo para depois ejetar o pára-quedas.

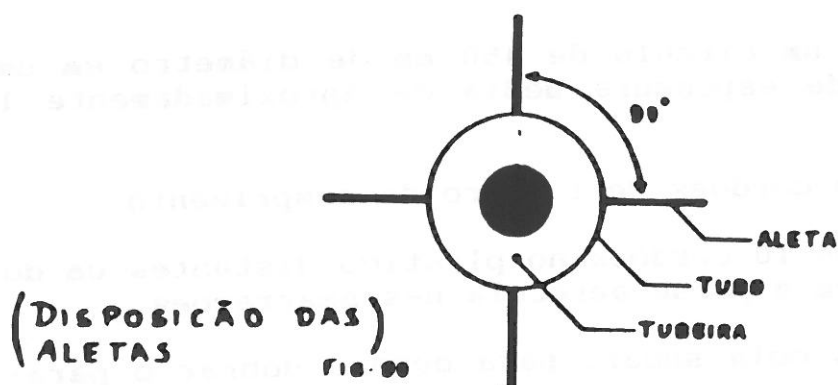
### PÁRA-QUEDAS

- Recorte um círculo de 450 mm de diâmetro em um plástico de espessura média de aproximadamente 1 mm.
- Corte 10 cordões de 1 metro de comprimento.
- Amarre os 10 cordões no plástico distantes um do outro 10 cm e passe aerocola nas amarrações.
- Espere a cola secar, para depois dobrar o pára-quedas.





- Cole as quatro aletas na extremidade onde se encontra a tubeira. Use aerocola.
- As aletas devem formar ângulo de  $90^\circ$  uma com a outra.



## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

- Cole e reforce com cola toda a extensão em contato com o tubo.
- Espere 12 horas para secar.
- Cole o tubinho de fenolite de 50 mm de comprimento, apoiado em uma aleta e no tubo-motor.

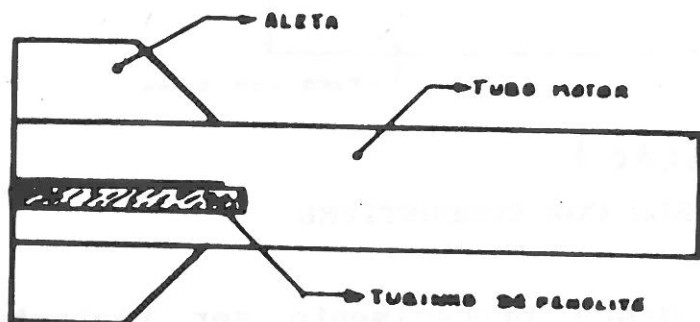


Fig. 01 (TUBO GUIA)

- Espere 12 horas para secar.
- Faça um furo de 3 mm de diâmetro passante a 70 mm da extremidade oposta à tubeira.
- Faça um furo a 30 mm da mesma extremidade, também com 3 mm de diâmetro.

OBS. OS FUROS A 70 mm DA EXTREMIDADE DEVEM ESTAR ALINHADOS UM COM O OUTRO, FORMANDO OS DOIS UMA RETA PARALELA À EXTREMIDADE DO FOGUETE.

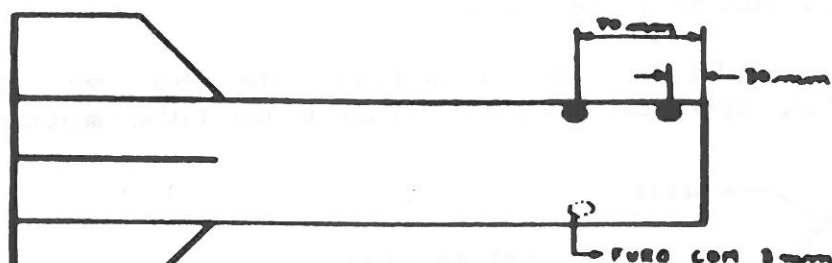


FIG. 02 (FURAÇÃO)

### CARREGANDO O MODELO COM COMBUSTÍVEL

Apesar deste procedimento ser bastante simples, é bom lembrar que estamos lidando com um composto altamente inflamável e explosivo, por isso devemos ser bastante cuidadosos e observar:

- FAÇA O CARREGAMENTO EM UM LOCAL AREJADO (AMBIENTE AMPLO).
- CERTIFIQUE QUE NÃO TENHA POR PERTO FOGO, (CIGARRO, FOGÃO, FORNO , ETC).

## **MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES**

### **PROCEDIMENTO**

#### **ESPOLETA DE RETARDO**

- Encha o tubinho do estreitamento superior, com combustível.
- Certifique que todo o orifício do tubinho esteja com combustível.
- Uma boa dica é colocar o combustível aos poucos e ir comprimindo com auxílio de um arame fino.

#### **MOTOR-FOGUETE**

- Tampe a tubeira com um algodão.
- Apóie o modelo em uma mesa ou no solo.
- Coloque uma colher de combustível e comprima com força, utilizando o molde "fênea".

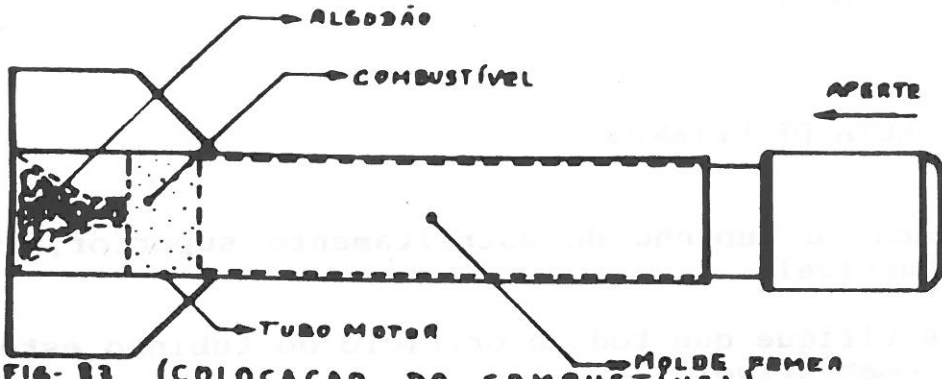
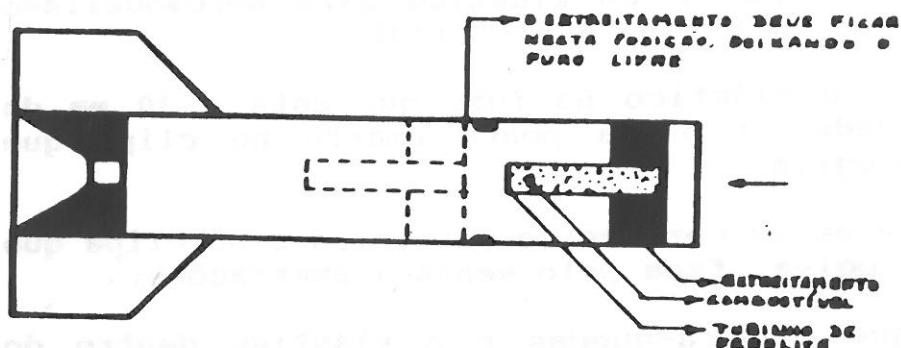


FIG- 83 (COLOCACAO DO COMBUSTÍVEL)

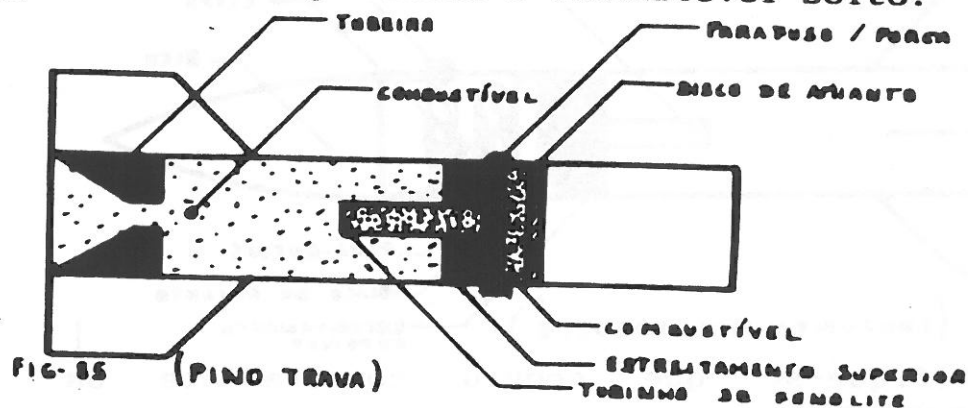
- Encha o tubo com combustível até a extremidade superior.
- Coloque o estreitamento superior com o tubinho voltado para baixo (o estreitamento já deve estar com o tubinho cheio de combustível).
- Aperte o estreitamento utilizando o molde "fêmea", até que o furo passante que está a 70 mm da extremidade apareça acima do estreitamento.
- Mesmo que esteja duro o movimento do estreitamento, comprima até que o mesmo atinja o furo passante.
- Este procedimento de comprimir o combustível, feito desta maneira não oferece nenhum risco.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

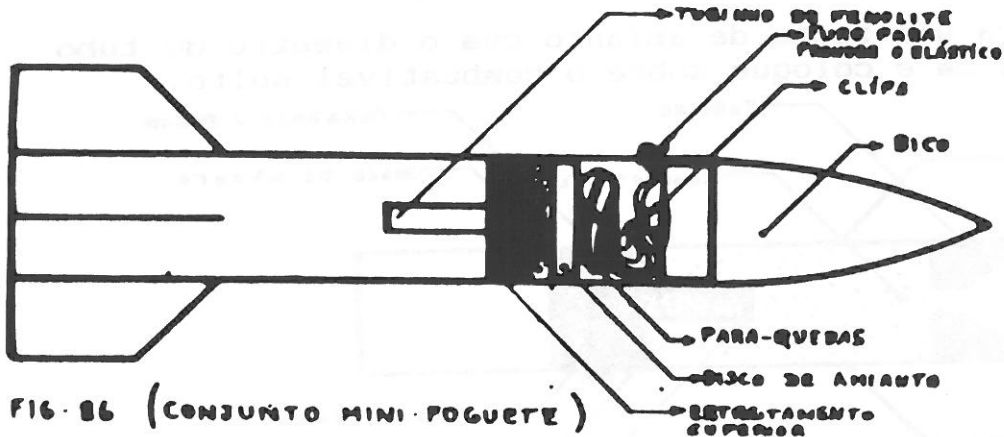
FIG-84 (AJUSTE DO EXTREITAMENTO)



- Passe um parafuso pelo orifício atarraxe a porca e aperte.
- Coloque duas colheres de combustível no tubo-motor.
- Faça uma bucha de amianto com o diâmetro do tubo de 22 mm e coloque sobre o combustível solto.



- Corte 30 cm de um elástico para aeromodelismo (utilizado em aviões a elástico).
- Amarre o elástico no furo que está a 30 mm da extremidade, a outra ponta amarre no clipe que está na ogiva.
- Amarre os 10 cordões do pára-quadras no clipe que está na ogiva, faça pelo menos 3 amarrações.
- Coloque o pára-quadras e o elástico dentro do modelo, feche com a ogiva.
- A ogiva deve entrar no tubo com um pouco de pressão, caso a ogiva esteja com folga, passe em volta do encaixe, algumas voltas de fita durex.



- Certifique-se que seguiu corretamente os procedimentos.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

### LANÇAMENTO

O lançamento é o ponto alto de todo o projeto, é com ele que verificamos tudo o que estudamos, e todos os conceitos físicos podem ser observados.

Este modelo aqui apresentado, é quase que inofensivo, por esta razão, mais uma vez aconselhamos não efetuarem mudanças na razão de mistura e na área do estreitamento, para que este modelo continue sendo inofensivo. A razão de mistura do projeto é de 3X1 e o diâmetro de 12,5 mm.

### OBSERVAÇÃO IMPORTANTE

Apesar do ângulo de lançamento ideal ser de  $45^\circ$  com a horizontal, aconselhamos que façam o lançamento com o modelo na vertical, formando ângulo de  $90^\circ$  com a horizontal, este ângulo faz com que o modelo tenha um alcance horizontal menor, mas evita que o modelo percorra grandes distâncias horizontais, fugindo dos cálculos previstos e atingindo locais que possam significar perigo ou danos a terceiros.



## PROCEDIMENTO

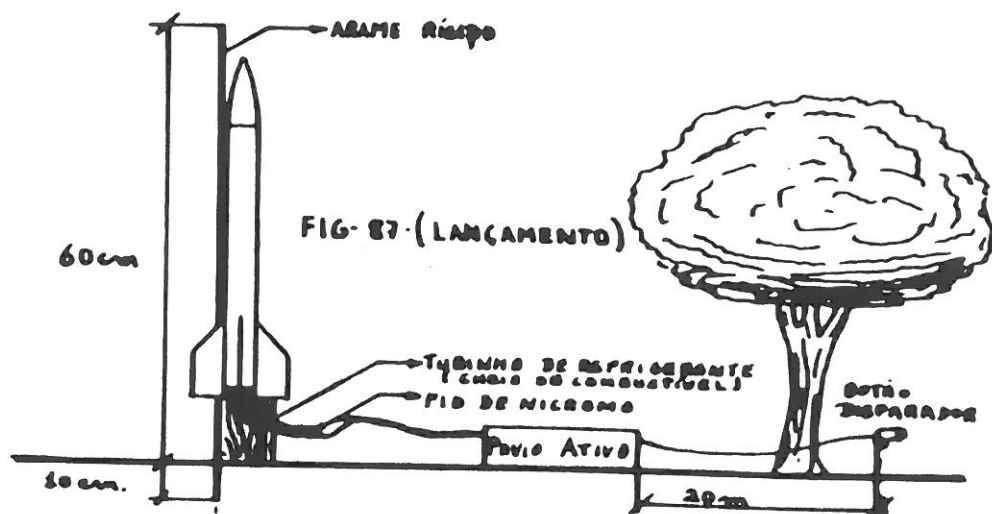
- Prepare um arame rígido de 3mm de diâmetro e 70 cm de comprimento.
- Encha 2 tubinhos de refrigerante com o combustível (soque o combustível a fim do mesmo preencher toda a extensão do tubinho de refrigerante).
- Reserve um local como indica o manual no capítulo 9.
- Aprofunde o arame rígido no solo (aproximadamente 10 cm).
- Centralize o canudinho de refrigerante com o combustível na tubeira, e encha de combustível em volta, aperte com o dedo afim de fixar o tubinho no motor.
- Enrole o fio de nicromo do PAVIO ATIVO em torno da extremidade do canudinho.
- Coloque o modelo passando o arame pelo tubo-guia.
- Desenrole o fio do pavio ativo, procure se proteger atrás de algum objeto, árvore, etc. Faça a contagem regressiva e acione o botão.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

Depois que o fio de nicromo se incandesce o pavio (tubinho de refrigerante) se inflama e aciona o foguete, o tempo entre o acionamento do botão do pavio ativo e a decolagem do foguete gira em torno de 30 segundos, certifique-se de que não tenha pessoas ou animais próximos do modelo no momento da decolagem.

Se todos os procedimentos deste manual forem seguidos corretamente este modelo deve alcançar entre 200 e 300 metros de altura.

Ao fazer mudanças no projeto inicial tenha consciência que você poderá estar colocando sua integridade física e de outras pessoas em risco.



# DAWSON IZOLA

The first of the two islands is a small, low, and flat island, about 100 feet high, and is covered with a dense growth of low-lying vegetation. The second island is a larger, more rugged island, about 200 feet high, and is covered with a dense growth of low-lying vegetation. The two islands are separated by a narrow channel, and are both surrounded by a shallow lagoon. The water in the lagoon is very shallow, and is covered with a dense growth of low-lying vegetation. The islands are both very small, and are both very low, and are both very flat. The islands are both very small, and are both very low, and are both very flat.



---

DICIONÁRIO TÉCNICO

---

Separamos aqui alguns verbetes utilizados neste manual, porém os seus significados estão diretamente relacionados aos propósitos deste manual, além deste aspecto, são também abordados endereços onde poderão ser encontrados os materiais citados neste manual.

**ARSENAL** - armamento, armas de guerra.

**AERODINÂMICA** - parte da Física que estuda os fluidos elásticos e a pressão do ar exterior, formato aerodinâmico: objeto, propriedades e características do ar.

**ALETAS** - asas estabilizadores, utilizadas para estabilizar o voo na atmosfera.

**APOGEU** - ponto máximo alcançado por um modelo em relação à superfície da terra.

**AFUNILAMENTO** - estreitamento que provoca a diferença de pressão do interior da câmara de combustão para o exterior do foguete.

**ACELERAÇÃO** - aumento ou diminuição de velocidade por unidade de tempo.

**AÇÃO E REAÇÃO** - terceira lei do movimento descrita por *Isaac Newton* - "a uma ação (força) em um sentido, corresponde uma reação (força) em sentido contrário com a mesma intensidade e força.

**ANIANO** - material resistente ao fogo, utilizado inclusive nas juntas do cabeçote de motores à explosão, encontrado em casas de Auto-peças.

**ATRITO** - fricção entre dois corpos em contato.

**ALTITUDE** - distância entre um ponto e o nível do mar.

**ASTRONÁUTICA** - ciência e técnica do vôo espacial.

**ATMOSFERA** - camada de ar que circunda o nosso planeta, e tem em média 30 km de altura.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

**BOMBA V2** - míssil alemão da segunda guerra mundial, ancestral dos modernos foguetes.

**BALSA** - madeira utilizada em modelismo, encontrada em casas para aeromodelismo.

**COMBUSTÃO** - ação de queimar, estado de um corpo que arde produzindo calor.

**COMBURENTE** - fornece oxigênio à combustão.

**CARVÃO** - carvão mineral, um dos produtos que forma a pólvora, combustível.

**CARGA ÚTIL** - chama-se carga útil o peso que o foguete pode levar além do combustível e da sua própria massa.

**CÂMARA DE COMBUSTÃO** - local onde se processa a queima do combustível.

**COLAS** - epóxi, aerocola e tenaz, epóxi e tenaz são encontradas em papelarias e supermercados, aerocola é encontrada em casas para aeromodelismo.

**DIÂMETRO** - é um segmento reta que passa pelo centro da circunferência unindo os seus limites externos.

**ENXOPRE** - produto que forma a pólvora.

**ESPAÇONODELISMO** - hobby ligado ao experimento de mini-foguetes.

**EXAUSTÃO** - saída dos gases, através da queima do combustível passando da câmara de combustão para o exterior.

**EMPUXO** - força resultante, proveniente da queima do combustível.

**FOGUETE** - veículo espacial que utiliza propulsão à reação e não tem explosivos como carga útil.

**FENOLITE** - tubo, usado para construir o tubomotor, encontrado em casas especializadas ou casas para produtos eletrotécnicos.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

**GRAVIDADE** - força de atração que um corpo exerce sobre outro, neste caso é a força de atração que a Terra exerce sobre os objetos que a circundam. O valor da aceleração da gravidade é de  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

**HOMOGENEO** - partes diferentes que estão solidamente unidas.

**INFLAMÁVEL** - substância que pode pegar fogo com facilidade.

**IMPULSO** - ação de impelir; força com que se impulsiona.

**MÍSSIL** - foguete com fins bélicos, sua carga útil é composta por explosivos.

**MOTOR FOGUETE** - formam o motor foguete a câmara de combustão, o estreitamento e a tubeira.



**MOTOR A JATO** - motor onde o movimento é obtido por reação.

**OXIDANTE** - produto capaz de fornecer oxigênio à combustão.

**PÓLVORA** - combustível utilizado em espaçomodelismo, encontrada em casas especializada em caça e pesca. SE FOR MANUSEADA POR MENORES DE IDADE, DEVEM SER ACOMPANHADOS POR UM ADULTO.

**POLIÉSTER** - resina utilizada junto com o catalisador na confecção do bico, encontrada em casas para surfistas.

**REAÇÃO** - ação e reação descritas por *Newton* na sua terceira lei da Mecânica.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

**SALITRE** - produto que forma a pólvora, juntamente com o carvão e o enxofre, o salitre funciona como comburente.

DAWSON IZOLA

---

CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

O GEP LENDA, hoje, após o apoio do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Sousa, vem caminhando a passos largos.

Com o reconhecimento do corpo docente da instituição FATEC, que muito vem nos auxiliando, professores como o ex-coordenador do departamento de Mecânica de Precisão (Mecatrônica), Prof. Walter Paullete que nos possibilita a existência enquanto grupo de pesquisa, professores como o prof. Paulo Gonçalves que com o seu vasto conhecimento em Física, conseguidos com mais de 20 anos de magistério, fez a revisão deste manual, e muitos outros professores dos diversos departamentos que estão, a todo momento, nos oferecendo os seus conhecimentos.

A nós do GEP LENDA somente resta o trabalho e a dedicação, para de alguma forma retribuirmos este carinho recebido de todos.

A partir de maio de 1994 estaremos trocando dados com a UNESP, que por sua vez os emitirá ao satélite brasileiro, estes dados serão retransmitidos para um centro meteorológico onde serão formados mapas sinóticos do território brasileiro.

Estamos bem próximos de alcançar a nossa meta para 1993, que consiste em:

- foguete para 5000 metros;
- foguete com ogiva anti-granizante;
- software para previsão do tempo;
- software para monitoramento de micro-sondas e foguetes estratosféricos.
- aparelhos meteorológico:
  - anemômetro;
  - biruta;
  - termômetro digital;
  - higrômetro digital;
  - barômetro digital;
- aparelhos para monitoramento de foguetes em vôo;
- balão para radio-sonda.
- micro-câmera para fotos com foguetes.

## MÉTODOS DE CÁLCULO PARA MINI-FOGUETES

Estes trabalhos serão expostos de 16 a 19 de novembro de 1993 na SEMANA DA TECNOLOGIA promovida pela FATEC - SP.

É bastante gratificante saber que existem jovens que se interessam pelo espaçomodelismo, mas ao mesmo tempo fico um pouco assustado, pensando que pessoas menos dignas podem fazer de veículos espaciais, veículos portadores de bombas e destruição.

O conhecimento expressado neste manual é quase que insignificante, se comparado com projetos mais audaciosos, mas tenham a certeza que os grandes mestres do espaço de hoje, partiram deste patamar quando iniciaram seus sonhos.

Talvez a maioria dos brasileiros não saibam, mas hoje era para o nosso país ser um dos grandes detentores de tecnologia espacial, somente não o é por ambição de alguns. Em 1965 o Brasil lançou com sucesso um foguete denominado SONDA, que alcançou altitude superior a 70 km, e anteriormente a equipe do Coronel Lage, havia construído o Felix, um foguete estratosférico que levaria ao espaço o primeiro ser vivo da América Latina.

Infelizmente alguns empresários menos escrupulosos, e o governo militar daquela época, "descobriram", que procedimentos parecidos são utilizados para foguetes espaciais e mísseis portadores de bombas.



Como já havia um motor foguete testado, do inofensivo SONDA, aproveitaram o projeto para equipar um míssil e daí para frente foi o caos na corrida espacial brasileira. Este míssil foi inclusive produzido em série e vendido a país do Oriente Médio. Esta atitude do nosso países levou a retaliações por parte dos países detentores de tecnologia espacial, com receio do Brasil produzir um míssil intercontinental com bomba nuclear, não permitiram mais troca de tecnologia, e o que era mais importante, o combustível que vinha de fora não mais chegou ao Brasil.

Esta atitude inconseqüente significou um atraso de mais de 25 anos. Hoje ainda somos incapazes de colocar em órbita um objeto irrisório de 1 kg de massa.

Espero que ao lerem este manual, continuem estudando e aperfeiçoando seus conhecimentos, mas que estes dotes sejam sempre utilizados para SONAR e NUNCA para DESTRUIR.



**CEETPS**  
Centro Estadual de Educação Tecnológica "Paula Souza"  
VINCULADO E ASSOCIADO À UNESP