

LABORATÓRIO DE ATIVIDADES ESPACIAIS

OTIMIZAÇÃO AERODINÂMICA DO MINI-FOGUETE SONDIRHA II

Relatório de Experimento RE-0589

Carlos H. Marchi

Sandro F. Hering

Bernardo M. Besozzi

Marcello Ciceroni

Florianópolis, maio de 1989

1 - INTRODUÇÃO

Este relatório engloba uma série de 10 lançamentos do mini-foguete Sondinha II (mf S-II) que foram realizados em dezembro de 1988 e maio de 1989.

Os objetivos do experimento foram: verificar o efeito da margem estática sobre a estabilidade do mf; e o efeito das dimensões e número de empenas sobre o arrasto aerodinâmico.

A avaliação da estabilidade foi efetuada visualmente e do arrasto através da cronometragem do tempo total de voo.

2 - PROTÓTIPOS

Os protótipos (PT) do mf Sondinha II utilizados no experimento e os respectivos números dos seus lançamentos (LT) são:

- * LT-24 e LT-32: S-II PT-13
- * LT-25 e LT-33: S-II PT-14
- * LT-26 e LT-30: S-II PT-15
- * LT-27 e LT-31: S-II PT-16
- * LT-28: S-II PT-17
- * LT-29: S-II PT-18

3 - OBJETIVOS

Os objetivos do experimento eram:

- 1- verificar o efeito da margem estática sobre a estabilidade do mf S-II; e
- 2- verificar o efeito das dimensões e número de empenas sobre o arrasto aerodinâmico.

4 - LOCAL E DATA

O local e as datas em que se efetuaram os lançamentos foram

LOCAL: Ingleses, Florianópolis (SC)

DATAS: * 09.12.88 (LT-24 a LT-29)

* 23.05.89 (LT-30 a LT-33)

5 - EQUIPAMENTOS

Os equipamentos empregados no decorrer do experimento, além dos protótipos, já mencionados, do mf S-II, foram

- * sistema de ignição
- * 2 cronômetros
- * rampa de lançamento do mf S-II
- * 1 câmara fotográfica

6 - CARACTERÍSTICAS DOS PROTÓTIPOS

Na Tabela 1 apresentam-se as massas: estrutural (ms), de propelente (mp), e total (mt), dadas em gramas [g], de cada protótipo.

As dimensões padrões, principais, do mf Sondinha II, em milímetros [mm], são

- * diâmetro externo (D) = 20 mm
- * comprimento do tubo-motor = 62 mm

- * comprimento total = 307 mm
 - * CG (centro de gravidade; em relação a ogiva e com o mf carregado) = 208 mm
- e de suas empenas
- * a = 51 mm
 - * b = 28 mm
 - * s = 36 mm
 - * espessura = 1 mm
 - * número de empenas = 4

Tabela 1. Massa dos protótipos [g].

LT	ms	mp	mt
24	20.7	9.9	30.9
25	20.9	10.3	31.1
26	20.4	10.2	30.6
27	20.8	10.1	31.0
28	20.4	9.8	30.6
29	20.4	10.1	30.6
30	22.0	10.1	32.2
31	22.4	10.2	32.6
32	22.5	10.0	32.5
33	22.8	9.9	32.7

Os parâmetros a, b e s, que definem a geometria das empenas do S-II, são mostrados na Figura 1.

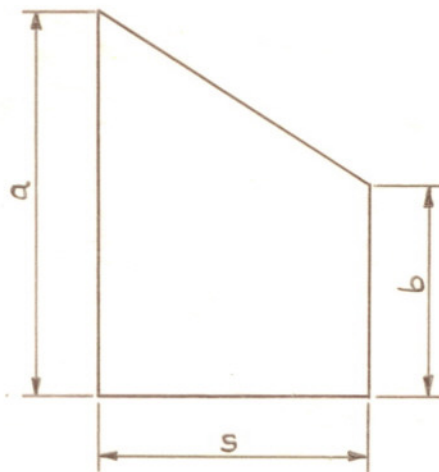


Figura 1. Geometria padrão das empenas do mf S-II.

- Os dados de um grão-propelente padrão do mf Sondinha II são
- * tipo: cilíndrico-tubular
 - * material: pólvora-negra
 - * diâmetro interno = 5 mm
 - * diâmetro externo = 13 mm
 - * comprimento tubular = 30 mm
 - * comprimento total = 45 mm
 - * volume = 5.38 cm³
 - * massa = 10.1 g
 - * massa específica = 1.88 g/cm³

7 - PROJETO DAS EMPENAS

O projeto das empenas foi executado seguindo o roteiro de cálculo da Ref. [1] e utilizando o programa Empena do LAE [2], em anexo.

As dimensões das empenas e a margem estática (E) correspondente a cada lançamento são apresentados na Tab. 2.

Tabela 2. Dimensões da empenas [mm] e margem estática (E).

LT	a	b	s	E
24	51	28	36	2.55
25	51	28	36	2.28
26	51	30.6	32	2.05
27	51	37	22	1.04
28	51	40	17	0.06
29	51	44	11	-2.09
30	51	30.6	32	2.05
31	51	37	22	1.04
32	51	38.9	19	0.51
33	51	34.7	25.5	1.49

Somente no LT-24 o mf S-II possuía 4 empenas, nos demais apenas 3; isso explica a diferença na margem estática entre os LT-24 e 25, já que as dimensões das empenas são as mesmas.

Os bordos de ataque e fuga das empenas foram lixados, ficando com a forma de um aerofólio, com o objetivo de diminuir o arrasto aerodinâmico.

A margem estática (E) é definida por

$$E = (CP - CG)/D \quad (1)$$

onde CP é o centro de pressão do mini-foguete. Utilizamos $D = 20$ mm.

8 - DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

8.1-OBSERVAÇÕES.

Nos dois dias em que se efetuaram os lançamentos havia ventos. Todos os lançamentos foram realizados com elevação de 90 graus. A rampa de lançamento empregada tinha 25 cm de comprimento.

8.2-RESULTADOS COLHIDOS.

O tempo total de voo (t_i), a distância horizontal percorrida (X) e observações sobre a estabilidade do mf, durante o voo, são apresentados na Tab. 3.

9 - CONCLUSÕES

O mf Sondinha II apresenta ótima estabilidade durante o voo para valores positivos, e mesmo nulo, de sua margem estática. A estabilidade do mf fica totalmente instável para margem estática negativa.

A margem estática calculada com o método descrito na Ref. [1] tem seu valor subestimado, já que para $E = 0.0$ e na presença de vento o mini-foguete apresentou ótima estabilidade durante o voo.

Com os dados obtidos não foi possível chegar a uma relação entre margem estática, arrasto aerodinâmico e tempo total de voo. Mas, é interessante citar

que, em 15 lançamentos anteriores do Sondinha II, efetuados pelo LAE, o máximo tempo de voo cronometrado foi de 10.4 s. Na série de 10 lançamentos apresentados neste relatório chegamos a obter 5 valores acima de 10.4 s, com o máximo de 12.6 s para $E = 1.0$.

Tabela 3. Resultados colhidos dos experimentos.

LT	ti	X	Obs. s/ a estabilidade
24	10.17	34	ótima
25	11.70	18	ótima
26	???	97	???
27	12.65	27	ótima
28	12.01	107	ótima
29	4.33	25	péssima, instável
30	---	---	insucesso no LT
31	9.54	45	ótima
32	11.30	35	ótima
33	10.71	30	ótima

No LT-26 não foi possível acompanhar a trajetória do mf, conseqüentemente não se obteve o tempo total de voo.

10 - REFERÊNCIAS

- [1] FARIA, L.J. "Calculando o Centro de Pressão de um Foguete". São José dos Campos, IAE, out. 1974. 13 p.
- [2] MARCHI, C.H. "Empena; software". Florianópolis, LAE, ago. 1988. 1 p.

```

program empena;

    (* dimensionamento de empenas para mini-foguetes sem redutores *)
    (* MARCHI - LAE - agosto de 1988 *)

label 10;

var
    n,a,b,s,m,l,d,x,cp,ln,xn,cg,
    cnan,cnaf,cnatb,cna,xft,xf,e,lt    :real;

procedure dados;
begin
    clrscr;
    write('Numero de empenas = ');readln(n);
    write('A = ');readln(a);
    write('B = ');readln(b);
    write('S = ');readln(s);
    write('Diametro de referencia = ');readln(d);
    write('Comprimento total do MF = ');readln(lt);
    write('Comprimento da ogiva = ');readln(ln);
    write('Centro de Gravidade = ');readln(cg);
end;

procedure calculos;
begin
    m := a - b;
    l := sqrt(sqr((a-b)/2) + sqr(s));
    cnan := 2.0;
    xn := 0.5 * ln;
    cnaf := (4 * n * sqr(s/d)) / (1 + sqrt(1 + sqr(2 * l / (a+b))));
    cnatb := (1 + (d/2)/(s + (d/2))) * cnaf;
    xf := lt - a;
    xft := xf + (m/3) * (a + 2 * b)/(a + b) + (1/6) * (a + b - a * b/(a + b));
    cna := cnan + cnatb;
    x := (cnan * xn + cnatb * xft) / cna;
    e := (x - cg) / d;
end;

procedure resultado;
begin
    ClrScr;
    GotoXY(10,10);write('Margem Estatica = ',e:10:3);
    read;
end;

begin (* programa principal *)
    10:
    dados;
    calculos;
    resultado;
    goto 10;
end.

```

(* Linguagem: Pascal *)

margin
estática

S-II caso	$E_c(N)$	$t_f(\Delta)$	$I_E(NM)$	C_d	$h_f(m)$	$H(m)$	$t_H(m)$	$t_I(\Delta)$	E Meter
LT-24	1	7.45	0.384	2.86	1.42	18.1	117	4.01	10.17 ^{2.55} SE-21/B7
LT-25	1	7.06	0.381	2.69	0.785	17.4	158	4.90	11.69 ^{2.28} SE-15/B7
LT-27	1	7.21	0.391	2.82	0.635	18.8	186	5.35	12.65 ^{1.04} SE-24/B7
LT-28	1	7.72	0.373	2.88	0.80	18.4	167	4.96	12.01 ^{0.06} SE-3/B8
LT-29	1	7.21	0.391	2.82	35	9.68	15.2	1.18	4.33 ^{-2.09} SE-24/B7
LT-31	1	7.06	0.381	2.69	1.61	16.0	104	3.84	9.55 ^{1.04} SE-15/B7
LT-32	1	6.86	0.408	2.80	0.94	18.2	147	4.72	11.30 ^{0.51} SE-20/B7
LT-33	1	7.45	0.384	2.86	1.175	17.3	131	4.38	10.70 ^{1.49} SE-21/B7