



*Testes estáticos de motores-foguete a propelente
sólido de espaçomodelos de 11 Set 2006*

Carlos Henrique Marchi

Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC)

Curitiba, 27 de setembro de 2006.

1 INTRODUÇÃO

Este relatório descreve três testes estáticos realizados em 11 de setembro de 2006, na Universidade Federal do Paraná, com motores-foguete de espaçomodelos a propelente sólido. Os objetivos eram: (1) testar um banco estático recém-construído, com aquisição digital de dados; (2) testar um sistema de ignição elétrico e ignitores; e (3) obter curvas de empuxo *versus* tempo e parâmetros de desempenho do motor-foguete do espaçomodelo Sondinha II.

2 DESCRIÇÃO DOS MOTORES-FOGUETE

A Figura 1 define os parâmetros que descrevem a geometria dos motores-foguete testados. Na Tabela 1 são apresentados os respectivos valores. Os valores de A são aproximados devido à dificuldade de sua medição. Os valores de C, D, E, F, I, K e L foram obtidos através de um paquímetro com precisão de 0,05 mm. Os valores de B, G, H e J foram calculados com base nas relações geométricas dos parâmetros anteriores, conforme mostrado na Figura 1. Os motores SE-1 e SE-3, fabricados pela Saber Eletrônica, foram obtidos em 1990. E o motor ITA-1, fabricado pela ITA Aeroespacial, foi obtido em 1986. O propelente dos motores é pólvora negra.

Tabela 1. Parâmetros geométricos dos motores-foguete, em milímetros (mm).

Motor	SE-1	SE-3	ITA-1
A	4,0	3,5	3,5
B	4,3	4,6	4,4
C	3,6	3,5	3,3
D	12,7	12,6	12,4
E	19,4	20,0	19,4
F	18,2	12,6	12,4
G	28,6	31,8	32,0
H	12,0	16,0	15,1
I	4,6	2,6	2,9
J	40,6	47,8	47,1
K	63,4	63,0	62,4
L	46,8	44,4	44,4

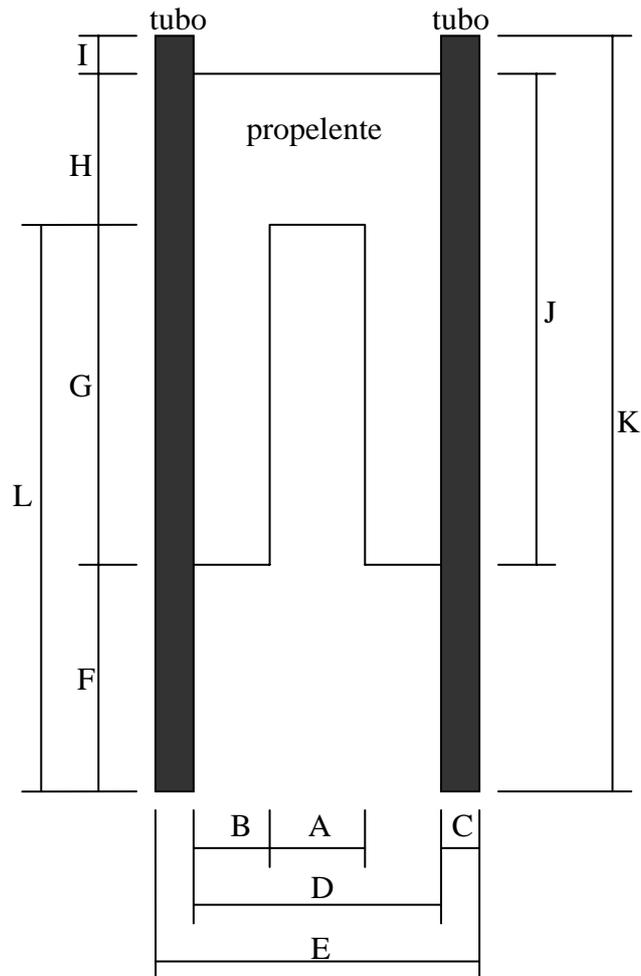


Figura 1. Definição dos parâmetros geométricos dos motores-foguete.

A Tabela 2 apresenta os seguintes parâmetros: M_o = massa total do motor antes da queima do propelente; M_f = massa total do motor depois da queima do propelente; M_p = massa de propelente; V = volume do grão-propelente; e ρ = massa específica do propelente. M_o e M_f foram medidos com uma balança cuja precisão é de 3 casas decimais, apresentando-se apenas duas na Tabela 2. Os demais parâmetros foram obtidos através das seguintes equações:

$$M_p = M_o - M_f \quad (1)$$

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H + \frac{\pi}{4} (D^2 - A^2) G \quad (2)$$

$$\rho = \frac{M_p}{V} \quad (3)$$

Tabela 2. Massas dos motores-foguete.

Motor	SE-1	SE-3	ITA-1
Mo (g)	14,40	17,23	16,41
Mf (g)	7,61	7,52	7,14
Mp (g)	6,79	9,71	9,27
V (cm ³)	4,78	5,66	5,38
ρ (g/cm ³)	1,42	1,72	1,72

3 DESCRIÇÃO DOS TESTES ESTÁTICOS

Os testes estáticos foram realizados no dia 11 de setembro de 2006, entre 13:30 e 14:25 h, no Laboratório de Máquinas Hidráulicas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba, PR. A temperatura ambiente era de 28 °C.

Foram empregados ignitores que acompanham o kit do espaçomodelo Sonda II, da Bandeirante. O sistema de ignição usado foi o Quest, que usa bateria de 9 V e cujo condutor elétrico tem cerca de 5 m de comprimento. O sistema de aquisição de dados utilizado foi o Spider 8 da HBM, com software Catman 4.5. A célula de carga empregada foi do tipo S2, de 50 N, da HBM, cuja precisão é de 0,025 N.

As Figuras 2 a 9 mostram fotografias obtidas durante os experimentos. Durante cada teste estático, obteve-se a força de empuxo do motor durante o tempo de queima do propelente, com frequência de 200 Hz; portanto a precisão no tempo é de 0,005 s. Os motores-foguete ficaram com seu eixo longitudinal na posição horizontal durante a queima, como mostra a Figura 5.

4 RESULTADOS

As Figuras 10 a 12 apresentam as curvas de empuxo *versus* tempo dos motores-foguete após o processamento dos resultados originais, obtidos pelo sistema de aquisição de dados. O início e fim da curva são definidos com o empuxo alcançando 10% do empuxo máximo, conforme Brown (1996).

Na Tabela 3 são apresentados os principais resultados, obtidos com o aplicativo computacional Curva_Empuxo 1.0, cuja listagem encontra-se no Apêndice deste relatório. Este aplicativo também foi usado na obtenção das curvas mostradas nas Figuras 10 a 12 cujos pontos são apresentados na Tabela 4.

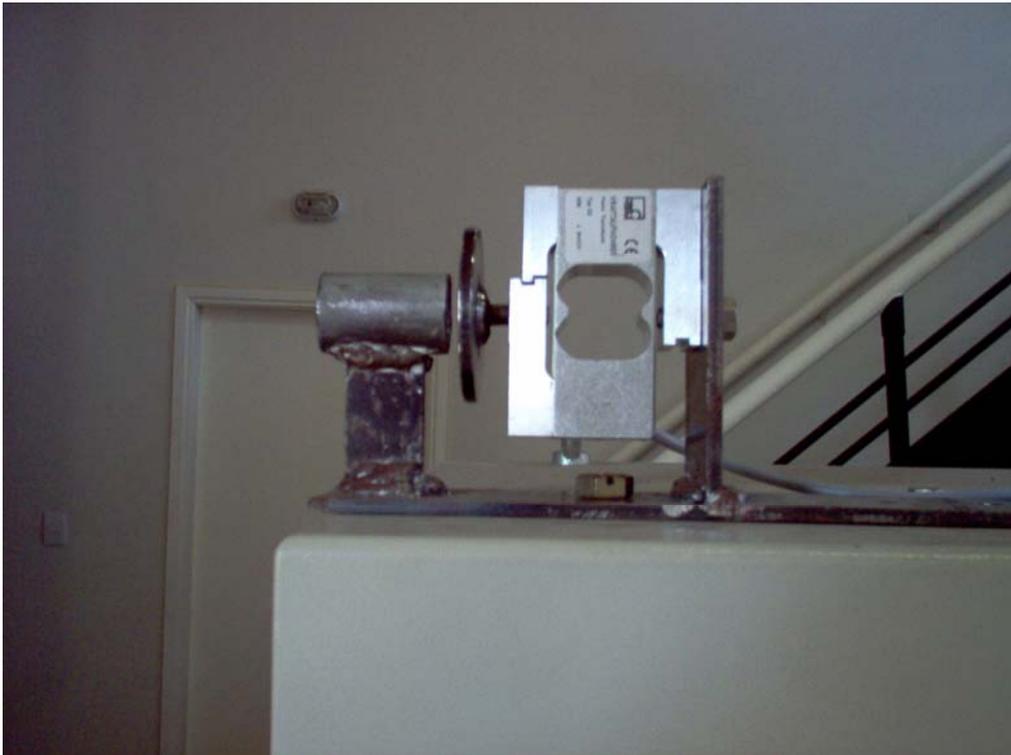


Figura 2. Foto com vista lateral da bancada experimental.



Figura 3. Foto com vista frontal da bancada experimental.



Figura 4. Foto com outra vista da bancada experimental.



Figura 5. Foto da bancada experimental com o motor SE-1 preparado para o teste estático, já com o ignitor.



Figura 6. Foto mostrando parte do sistema de aquisição de dados da bancada experimental.



Figura 7. Foto mostrando o motor SE-1 em funcionamento.



Figura 8. Foto mostrando o motor ITA-1 em funcionamento.



Figura 9. Foto mostrando o motor SE-3 em funcionamento.

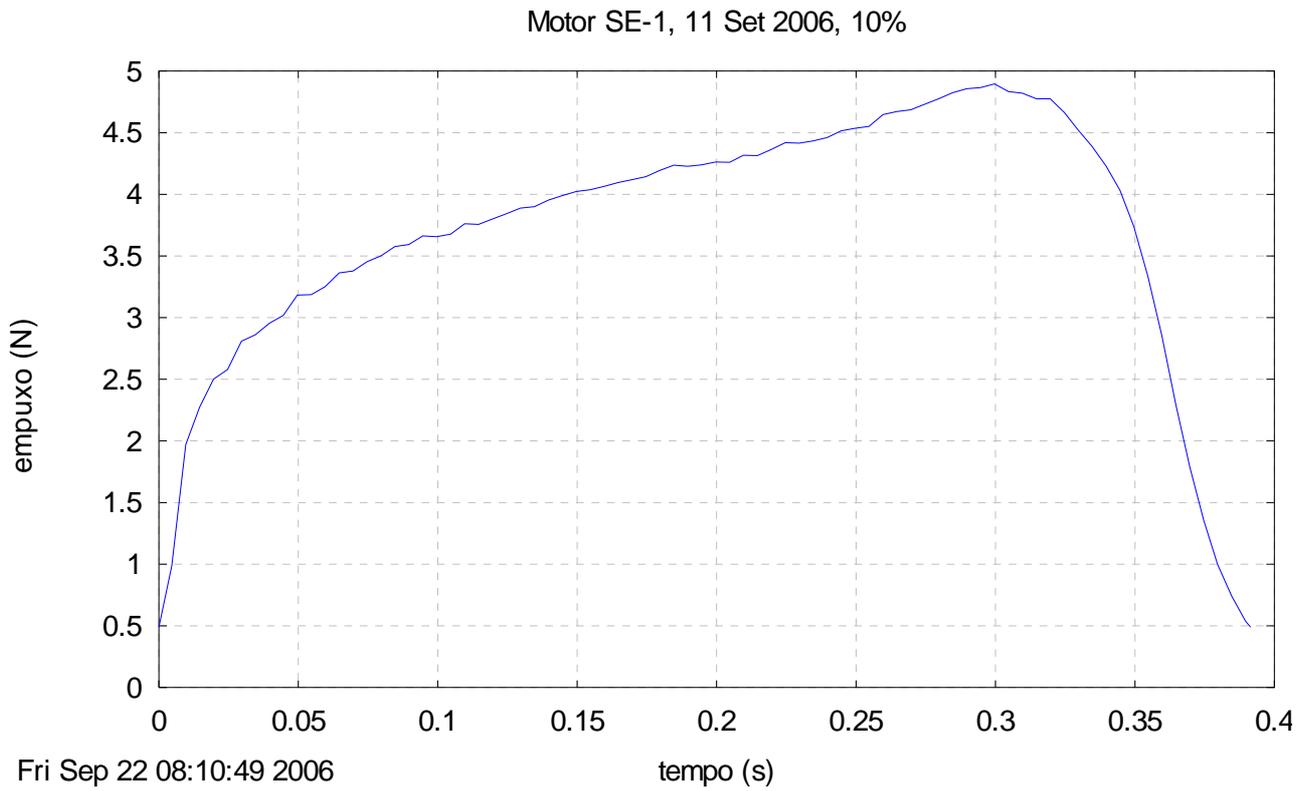


Figura 10. Curva empuxo *versus* tempo processada do motor-foguete SE-1.

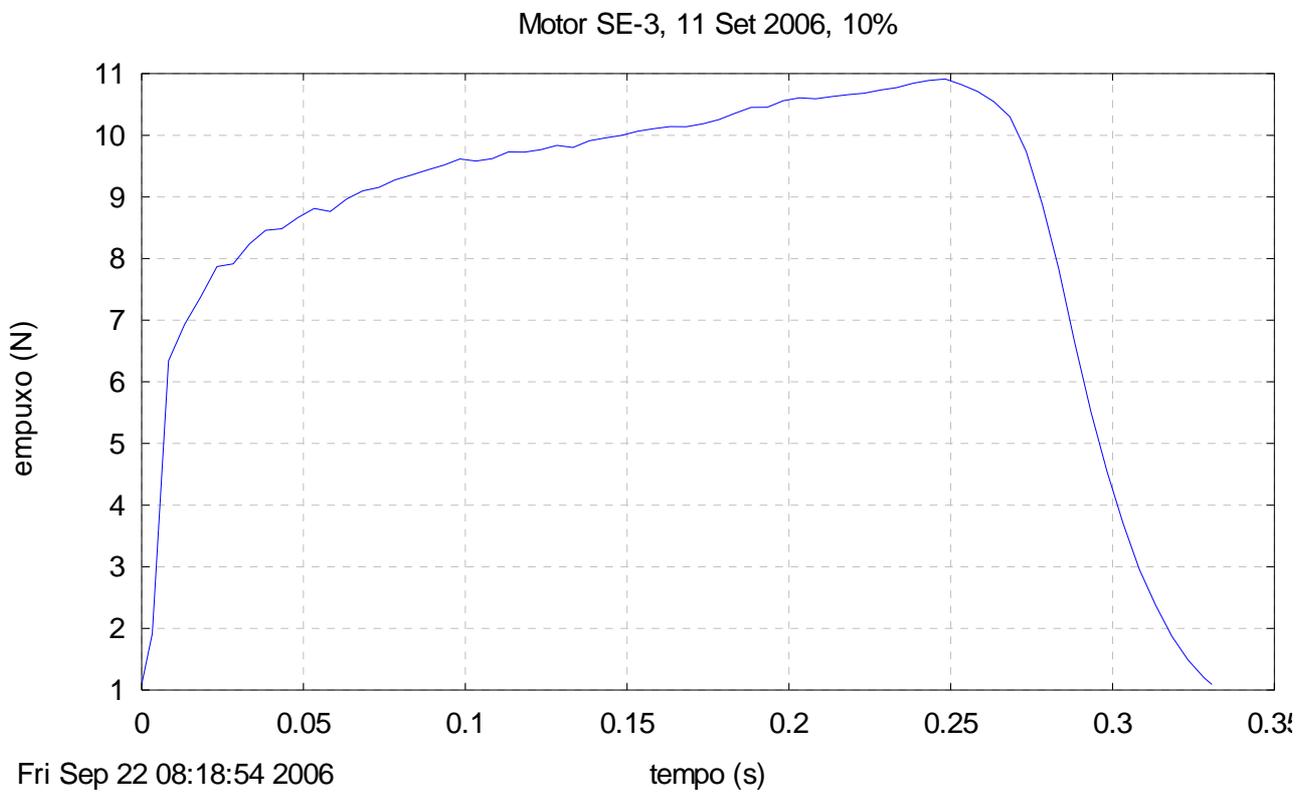


Figura 11. Curva empuxo *versus* tempo processada do motor-foguete SE-3.

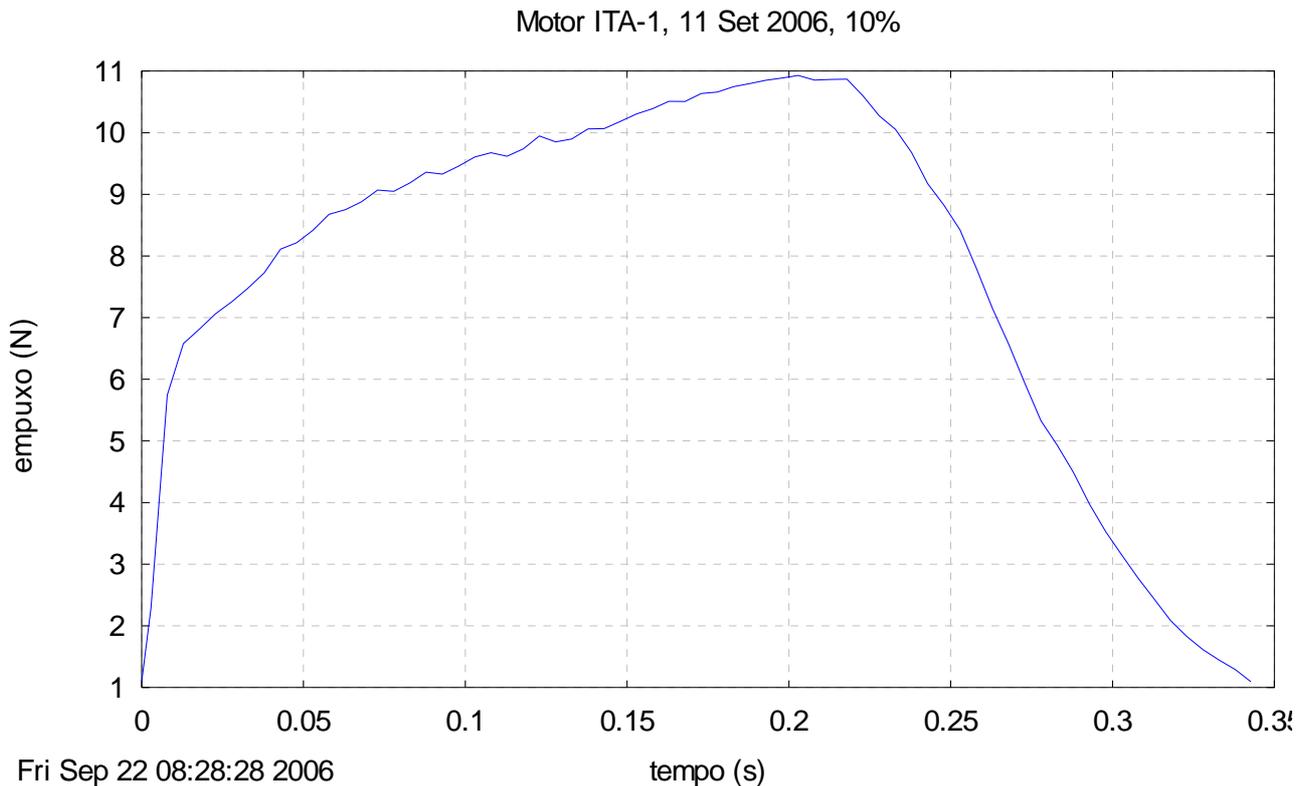


Figura 12. Curva empuxo *versus* tempo processada do motor-foguete ITA-1.

Tabela 3. Resultados dos motores-foguete.

Motor	SE-1	SE-3	ITA-1
tq (s)	0,39	0,33	0,34
E _{max} (N)	4,90	10,91	10,93
E _{med} (N)	3,70	8,62	7,85
E _{max} / E _{med}	1,32	1,27	1,39
f _m (kg/s)	0,0173	0,0294	0,0270
c (m/s)	213	294	290
I _s (s)	21,8	30,0	29,7
I _t (Ns)	1,45	2,85	2,69
classe	A4	B9	B8

O significado dos símbolos da Tabela 3 é o seguinte: tq = tempo de queima; E_{max} = empuxo máximo; E_{med} = empuxo médio; f_m = fluxo de massa do propelente; c = velocidade de ejeção efetiva média dos gases; I_s = impulso específico médio; I_t = impulso total; e classe = classificação do motor, conforme www.thrustcurve.org. Os valores de tq e E_{max} foram obtidos diretamente da curva empuxo *versus* tempo processada. Os demais parâmetros foram obtidos por meio das seguintes equações:

$$It = \int_0^{tq} E dt \quad (4)$$

$$fm = \frac{Mp}{tq} \quad (5)$$

$$c = \frac{It}{Mp} \quad (6)$$

$$Is = \frac{c}{g} \quad (7)$$

$$Emed = \frac{It}{tq} \quad (8)$$

Na Eq. (4), E representa o empuxo em um determinado instante de tempo t. Para cada curva de empuxo, esta equação foi integrada numericamente por meio da regra do trapézio (Kreyszig, 1999). Na Eq. (7), g é a aceleração local da gravidade; o valor usado foi 9,7876 m/s². As classes A e B de motores-foguete representam os seguintes intervalos de impulso total: A = 1,26 a 2,5 Ns; e B = 2,51 a 5,0 Ns. O segundo número da classe representa o empuxo médio arredondado para um número inteiro.

Tabela 4. Dados processados de tempo (s) *versus* empuxo (N) dos motores-foguete.

ponto	SE-1		SE-3		ITA-1	
1	0.000000E+00	4.896000E-01	0.000000E+00	1.091400E+00	0.000000E+00	1.092900E+00
2	4.631285E-03	9.870000E-01	3.303614E-03	1.914000E+00	2.896377E-03	2.292000E+00
3	9.631285E-03	1.971000E+00	8.303614E-03	6.342000E+00	7.896377E-03	5.745000E+00
4	1.463128E-02	2.274000E+00	1.330361E-02	6.933000E+00	1.289638E-02	6.579000E+00
5	1.963128E-02	2.502000E+00	1.830361E-02	7.383000E+00	1.789638E-02	6.816000E+00
6	2.463128E-02	2.580000E+00	2.330361E-02	7.869000E+00	2.289638E-02	7.065000E+00
7	2.963128E-02	2.808000E+00	2.830361E-02	7.914000E+00	2.789638E-02	7.260000E+00
8	3.463128E-02	2.862000E+00	3.330361E-02	8.235000E+00	3.289638E-02	7.479000E+00
9	3.963128E-02	2.955000E+00	3.830361E-02	8.457000E+00	3.789638E-02	7.728000E+00
10	4.463128E-02	3.018000E+00	4.330361E-02	8.484000E+00	4.289638E-02	8.112000E+00
11	4.963128E-02	3.183000E+00	4.830361E-02	8.667000E+00	4.789638E-02	8.214000E+00
12	5.463128E-02	3.186000E+00	5.330361E-02	8.814000E+00	5.289638E-02	8.418000E+00
13	5.963128E-02	3.252000E+00	5.830361E-02	8.763000E+00	5.789638E-02	8.676000E+00
14	6.463128E-02	3.363000E+00	6.330361E-02	8.967000E+00	6.289638E-02	8.751000E+00
15	6.963128E-02	3.378000E+00	6.830361E-02	9.099000E+00	6.789638E-02	8.877000E+00
16	7.463128E-02	3.453000E+00	7.330361E-02	9.156000E+00	7.289638E-02	9.069000E+00
17	7.963128E-02	3.501000E+00	7.830361E-02	9.276000E+00	7.789638E-02	9.048000E+00
18	8.463128E-02	3.576000E+00	8.330361E-02	9.354000E+00	8.289638E-02	9.186000E+00
19	8.963128E-02	3.594000E+00	8.830361E-02	9.438000E+00	8.789638E-02	9.360000E+00
20	9.463128E-02	3.663000E+00	9.330361E-02	9.516000E+00	9.289638E-02	9.327000E+00
21	9.963128E-02	3.657000E+00	9.830361E-02	9.615000E+00	9.789638E-02	9.459000E+00
22	1.046313E-01	3.678000E+00	1.033036E-01	9.582000E+00	1.028964E-01	9.606000E+00
23	1.096313E-01	3.762000E+00	1.083036E-01	9.621000E+00	1.078964E-01	9.675000E+00
24	1.146313E-01	3.756000E+00	1.133036E-01	9.729000E+00	1.128964E-01	9.618000E+00

25	1.196313E-01	3.801000E+00	1.183036E-01	9.726000E+00	1.178964E-01	9.738000E+00
26	1.246313E-01	3.843000E+00	1.233036E-01	9.765000E+00	1.228964E-01	9.948000E+00
27	1.296313E-01	3.888000E+00	1.283036E-01	9.837000E+00	1.278964E-01	9.852000E+00
28	1.346313E-01	3.900000E+00	1.333036E-01	9.801000E+00	1.328964E-01	9.897000E+00
29	1.396313E-01	3.954000E+00	1.383036E-01	9.912000E+00	1.378964E-01	1.006200E+01
30	1.446313E-01	3.990000E+00	1.433036E-01	9.957000E+00	1.428964E-01	1.006500E+01
31	1.496313E-01	4.023000E+00	1.483036E-01	9.999000E+00	1.478964E-01	1.018200E+01
32	1.546313E-01	4.038000E+00	1.533036E-01	1.006500E+01	1.528964E-01	1.030500E+01
33	1.596313E-01	4.065000E+00	1.583036E-01	1.010700E+01	1.578964E-01	1.038900E+01
34	1.646313E-01	4.095000E+00	1.633036E-01	1.014300E+01	1.628964E-01	1.050900E+01
35	1.696313E-01	4.119000E+00	1.683036E-01	1.014000E+01	1.678964E-01	1.050600E+01
36	1.746313E-01	4.143000E+00	1.733036E-01	1.018500E+01	1.728964E-01	1.063500E+01
37	1.796313E-01	4.194000E+00	1.783036E-01	1.025400E+01	1.778964E-01	1.065900E+01
38	1.846313E-01	4.236000E+00	1.833036E-01	1.035600E+01	1.828964E-01	1.074600E+01
39	1.896313E-01	4.227000E+00	1.883036E-01	1.045200E+01	1.878964E-01	1.079700E+01
40	1.946313E-01	4.239000E+00	1.933036E-01	1.045500E+01	1.928964E-01	1.085100E+01
41	1.996313E-01	4.263000E+00	1.983036E-01	1.056000E+01	1.978964E-01	1.088700E+01
42	2.046313E-01	4.260000E+00	2.033036E-01	1.060800E+01	2.028964E-01	1.092900E+01
43	2.096313E-01	4.317000E+00	2.083036E-01	1.059300E+01	2.078964E-01	1.050900E+01
44	2.146313E-01	4.314000E+00	2.133036E-01	1.062900E+01	2.128964E-01	1.086300E+01
45	2.196313E-01	4.365000E+00	2.183036E-01	1.065900E+01	2.178964E-01	1.086900E+01
46	2.246313E-01	4.419000E+00	2.233036E-01	1.068300E+01	2.228964E-01	1.059600E+01
47	2.296313E-01	4.416000E+00	2.283036E-01	1.073400E+01	2.278964E-01	1.027500E+01
48	2.346313E-01	4.434000E+00	2.333036E-01	1.077300E+01	2.328964E-01	1.005600E+01
49	2.396313E-01	4.461000E+00	2.383036E-01	1.084200E+01	2.378964E-01	9.678000E+00
50	2.446313E-01	4.515000E+00	2.433036E-01	1.089000E+01	2.428964E-01	9.174000E+00
51	2.496313E-01	4.536000E+00	2.483036E-01	1.091400E+01	2.478964E-01	8.823000E+00
52	2.546313E-01	4.551000E+00	2.533036E-01	1.082100E+01	2.528964E-01	8.421000E+00
53	2.596313E-01	4.647000E+00	2.583036E-01	1.071000E+01	2.578964E-01	7.803000E+00
54	2.646313E-01	4.671000E+00	2.633036E-01	1.054500E+01	2.628964E-01	7.146000E+00
55	2.696313E-01	4.686000E+00	2.683036E-01	1.029900E+01	2.678964E-01	6.570000E+00
56	2.746313E-01	4.731000E+00	2.733036E-01	9.738000E+00	2.728964E-01	5.931000E+00
57	2.796313E-01	4.776000E+00	2.783036E-01	8.880000E+00	2.778964E-01	5.325000E+00
58	2.846313E-01	4.824000E+00	2.833036E-01	7.845000E+00	2.828964E-01	4.929000E+00
59	2.896313E-01	4.857000E+00	2.883036E-01	6.642000E+00	2.878964E-01	4.491000E+00
60	2.946313E-01	4.866000E+00	2.933036E-01	5.517000E+00	2.928964E-01	3.969000E+00
61	2.996313E-01	4.896000E+00	2.983036E-01	4.548000E+00	2.978964E-01	3.528000E+00
62	3.046313E-01	4.833000E+00	3.033036E-01	3.696000E+00	3.028964E-01	3.144000E+00
63	3.096313E-01	4.821000E+00	3.083036E-01	2.958000E+00	3.078964E-01	2.775000E+00
64	3.146313E-01	4.776000E+00	3.133036E-01	2.379000E+00	3.128964E-01	2.433000E+00
65	3.196313E-01	4.776000E+00	3.183036E-01	1.872000E+00	3.178964E-01	2.085000E+00
66	3.246313E-01	4.665000E+00	3.233036E-01	1.491000E+00	3.228964E-01	1.830000E+00
67	3.296313E-01	4.521000E+00	3.283036E-01	1.197000E+00	3.278964E-01	1.614000E+00
68	3.346313E-01	4.389000E+00	3.306820E-01	1.091400E+00	3.328964E-01	1.446000E+00
69	3.396313E-01	4.230000E+00			3.378964E-01	1.290000E+00
70	3.446313E-01	4.032000E+00			3.427273E-01	1.092900E+00
71	3.496313E-01	3.738000E+00				
72	3.546313E-01	3.336000E+00				
73	3.596313E-01	2.853000E+00				
74	3.646313E-01	2.298000E+00				
75	3.696313E-01	1.791000E+00				
76	3.746313E-01	1.356000E+00				
77	3.796313E-01	9.990000E-01				
78	3.846313E-01	7.440000E-01				
79	3.896313E-01	5.370000E-01				
80	3.914685E-01	4.896000E-01				

5 DISCUSSÃO

Considerando-se o impulso total (I_t) do motor SE-3 como referência, por ter sido o que obteve o maior valor (2,85), o impulso total dos motores SE-1 e ITA-1 representa respectivamente 51% e 94% do motor SE-3. Ou seja, o impulso total dos motores SE-1 e ITA-1 difere para menos, respectivamente, 49% e 6% do motor SE-3. Portanto, pode-se considerar que os motores SE-3 e ITA-1 tiveram desempenho muito similar entre si, enquanto que o motor SE-1 difere muito dos demais.

Deve-se observar que tanto a massa específica (ρ) quanto a massa de propelente (M_p) do motor SE-1 difere muito dos outros dois motores. Os motores SE-3 e ITA-1 apresentaram $\rho = 1,72 \text{ g/cm}^3$, enquanto que o ρ do motor SE-1 era de 1,42, ou seja, difere para menos em 17% dos outros dois motores. A massa de propelente dos motores SE-1 e ITA-1 difere para menos, respectivamente, 30% e 5% do motor SE-3.

A baixa velocidade de ejeção dos gases deve ser devido à falta de tubeira e de fechamento da parte superior dos motores. Isso também explicaria o baixo impulso específico obtido, entre 22 e 30 s, para o propelente usado (pólvora negra). Para este mesmo propelente, os motores com tubeira e fechamento superior, do tipo A2 (Apogee), A3T (Estes), B6 (Estes), C6 (Estes) e E9 (Estes) apresentam impulso específico, respectivamente, de 84, 69, 79, 83 e 79 s. Isto é, o impulso específico dos motores Estes e Apogee é cerca de 2,3 a 2,8 vezes o do motor SE-3, que teve o melhor I_s (30) entre os 3 testados.

6 CONCLUSÃO

Uma possível explicação para as discrepâncias do impulso total entre os motores seria a soma das diferenças da massa específica e da massa de propelente em relação ao motor de referência (SE-3).

O banco estático, o sistema de ignição, os ignitores e o sistema de aquisição de dados funcionaram adequadamente.

7 AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Recursos Humanos PRH-24 da UFPR, financiado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), que disponibilizou recursos financeiros para a compra da célula de carga utilizada. Ao eng. Luciano K. Araki, que auxiliou nos testes, realizando a ignição dos motores. E ao prof. Marcos C. Campos, que auxiliou nos testes, operando e disponibilizando o sistema de aquisição de dados da HBM, forneceu o banco estático usado e permitiu utilizar o laboratório que coordena para a realização dos testes estáticos. A Basílio Baranoff que forneceu os motores-foguete usados nos testes estáticos.

8 REFERÊNCIAS

BROWN, C. D. **Spacecraft Propulsion**. Washington: AIAA, 1996.

KREYSZIG, E. **Advanced Engineering Mathematics**. 8 ed. New York: Wiley, 1999.

www.thrustcurve.org

APÊNDICE

Listagem do aplicativo CURVA_EMPUXO 1.0

```

Program curva_empuxo_lp0

! Carlos H. Marchi
! DEMEC/UFPR, Curitiba, PR
! versão 1.0: 11 Set 06
! última alteração: 22 Set 06

USE PORTLIB

implicit none

real*8  :: Emax, g, ta, t, tmax, Ea, E, Emin, M, &
         fator, t0, tf, tq, razao, It, c, Emed, Is, fm
integer :: ver, flag, fim, io, i
character*4  :: classe
character*50 :: nome1, nome2, nome3
character*70 :: dos, titulo

! leitura dos dados principais

ver = system("Notepad curva_empuxo_lp0.ent")

open(8,file="curva_empuxo_lp0.ent")

read(8,*) titulo
read(8,*) nome1
read(8,*) fator
read(8,*) M
read(8,*) g
read(8,*) nome2
read(8,*) nome3

fator = fator / 100

close(8)

flag = 0
Emax = 0.0d0

! determinação do empuxo máximo

open(8,file=trim(adjustl(nome1)))

do while ( flag == 0 )

    read(8,*,iostat=io) t, E

    if ( E >= Emax ) then
        Emax = E
        tmax = t
    end if
end do

```

```

    end if

    if ( io < 0 ) flag = 1
end do

close(8)

Emin = fator * Emax

! geração da curva de empuxo corrigida

ta    = 0.0d0
Ea    = 0.0d0
flag  = 0
fim   = 0
t0    = 1.0d+3
It    = 0.0d0

open(8,file=trim(adjustl(nome1)))

open(9,file=trim(adjustl(nome2)))

write(9,15) 0.0d0, Emin

15 format ( 2 ( 1pe15.6 ) )

do while ( flag == 0 )

    read(8,*) t, E

    if ( E >= Emin .and. Ea < Emin ) then
        t0 = ta + (t-ta)*(Emin-Ea)/(E-Ea)
        fim = 1
    end if

    if ( E <= Emin .and. Ea > Emin .and. fim == 1 ) then
        tf = ta + (t-ta)*(Emin-Ea)/(E-Ea)
        flag = 1
    end if

    if ( t > t0 .and. flag == 0 ) then
        write(9,15) t-t0, E
        if ( t > t0 .and. ta < t0 ) then
            It = It + (E+Emin)*(t-t0)/2
        else
            It = It + (E+Ea)*(t-ta)/2
        end if
    end if

    ta = t
    Ea = E

end do

close(8)

write(9,15) tf-t0, Emin

close(9)

It = It + (Emin+Ea)*(tf-ta)/2

tq = tf - t0

Emed = It / tq

c = It / M

Is = c / g

fm = M / tq

razao = Emax / Emed

if ( 0.000d0 < It .and. It <= 0.625d0 ) classe = '1/4A'
if ( 0.625d0 < It .and. It <= 1.250d0 ) classe = '1/2A'
if ( 1.250d0 < It .and. It <= 2.500d0 ) classe = 'A'
if ( 2.500d0 < It .and. It <= 5.000d0 ) classe = 'B'
if ( 5.000d0 < It .and. It <= 10.000d0 ) classe = 'C'

```

```

if ( 10.000d0 < It .and. It <= 20.000d0 ) classe = 'D'
if ( 20.000d0 < It .and. It <= 40.000d0 ) classe = 'E'
if ( 40.000d0 < It .and. It <= 80.000d0 ) classe = 'F'
if ( 80.000d0 < It .and. It <= 160.000d0 ) classe = 'G'
if ( 160.000d0 < It .and. It <= 320.000d0 ) classe = 'H'
if ( 320.000d0 < It .and. It <= 640.000d0 ) classe = 'I'

open(10,file=trim(adjustl(nome3)))

write(10,20) trim(adjustl(titulo)), Emax, tmax, tmax-t0, &
             Emin, t0, tf, tq, It, Emed, c, Is, fm, razao, &
             trim(adjustl(classe)), idnint(Emed)

20 format(/, " *** ", a, " ***", &
         //, lpe15.6, " = empuxo máximo (N)", &
         //, lpe15.6, " = tempo original do empuxo máximo (s)", &
         //, lpe15.6, " = tempo corrigido do empuxo máximo (s)", &
         //, lpe15.6, " = empuxo mínimo (N)", &
         //, lpe15.6, " = tempo original inicial (s)", &
         //, lpe15.6, " = tempo original final (s)", &
         //, lpe15.6, " = tempo de queima (s)", &
         //, lpe15.6, " = impulso total (Ns)", &
         //, lpe15.6, " = empuxo médio (N)", &
         //, lpe15.6, " = velocidade de exaustão efetiva média (m/s)", &
         //, lpe15.6, " = impulso específico médio (s)", &
         //, lpe15.6, " = fluxo de massa médio (kg/s)", &
         //, lpe15.6, " = razão empuxo máximo / empuxo médio", &
         //, "classificação do motor = ", a, i3 )

close(10)

dos = "Notepad " // trim(adjustl(nome3))
ver = system(dos)

dos = "Notepad " // trim(adjustl(nome2))
ver = system(dos)

open(9,file="curva_empuxo_lp0.gnu")
do i = 1, 6
  read(9,*)
end do
write(9,31) trim(adjustl(titulo))
31 format("set title ", a, "")
write(9,30) trim(adjustl(nome2))
30 format("plot ", a, " notitle")

ver = system("Wgnuplot curva_empuxo_lp0.gnu")

end program curva_empuxo_lp0

```